

# Fusariosis de la espiga en trigo Posibilidad de uso de modelos de predicción para optimizar el uso del control químico

Sebastián Mazzilli\*, Oswaldo Ernst\*, Carlos Pérez\*\*

## INTRODUCCIÓN

La fusariosis de espiga se ha convertido en una de las enfermedades más importantes en la producción de cereales de invierno debido a su marcado incremento en incidencia y severidad a nivel mundial en los últimos años. Estudios nacionales relativos a la frecuencia de la ocurrencia de la enfermedad en trigo, mostraron que entre los años 1915–1977 fue de un año cada 16 y entre los años 1914–1993, de un año cada 11, mientras que para el período 1990–2001 la enfermedad ha sido importante en cinco años, y no sólo para trigo sino también para cebada, lo que denota una frecuencia de ocurrencia creciente (Díaz *et al.*, 2002a).

En relación al periodo durante el cual el cultivo es susceptible a la infección, los trabajos son coincidentes en que el trigo es principalmente susceptible desde anthesis hasta grano pastoso suave (de Souza y Formento, 2003; Moschini *et al.*, 2003), siendo la anthesis el período más susceptible (Jo Sykes, 2003). El proceso de anthesis puede prolongarse por 4 días en una espiga, 12 días en una planta y 30 días en el cultivo, lo cual aumenta las posibilidades de que ocurra infección en un cultivo (Reis, 1989). Esta situación es aún más grave si se considera a las anteras senescentes como vía de entrada del hongo, ya que la permanencia de las mismas en la espiga aumentan el periodo susceptible del cultivo (de Souza y Formento, 2003).

Para el desarrollo de la fusariosis de la espiga es importante que al momento de mayor susceptibilidad de los cultivos ocurran condiciones climáticas que favorezcan



Diversificación de la floración.

la infección y el desarrollo de la enfermedad. Las condiciones ambientales imperantes a lo largo del ciclo del cultivo afectan en las distintas etapas del ciclo de la enfermedad: a) período pre-espigazón: inciden en la producción y maduración de las ascosporas (inóculo primario), b) período espigazón-floración y primeras etapas de llenado de grano: inciden en el proceso de infección, y c) período pos-infección: influyen en el desarrollo del patógeno dentro de la planta.

## CONTROL DE LA ENFERMEDAD

La combinación de las características epidemiológicas del patógeno, la baja resistencia genética en los materiales genéticos actuales y la fuerte influencia ambiental hacen que la forma más pertinente de disminuir los daños causados por esta enfermedad sea el manejo integrado,

incluyendo al control químico como una herramienta más que permite complementar otras medidas de manejo (Ramírez *et al.*, 2004). En este trabajo sólo se abordan aspectos referidos al control químico, con especial énfasis en el uso de modelos de predicción.

Mucho se ha discutido acerca de la efectividad del tratamiento químico. En primer lugar, se debe comprender que no sólo depende del principio activo, sino también del método y del momento de aplicación (Parry *et al.*, 1995; Homdork *et al.*, 2000). Para las condiciones de Uruguay, Díaz *et al.* (2002b) y Díaz (2003), mencionan que en una serie de años de experimentos, los tratamientos con dos aplicaciones de tebuconazol (la primera a inicio de floración y la segunda 7 días después de floración) fueron los más efectivos en disminuir los niveles de enfermedad. A partir del año 2000, cuando comenzó a evaluarse metconazol, se encontró reiteradamente para este producto una eficiencia igual

\* Ings. Agrs. Dpto. de Producción Vegetal EEMAC.

\*\* Ing. Agr. Dpto. de Protección Vegetal EEMAC.

o superior al tebuconazol, en especial con una única aplicación a inicio de floración. De la totalidad de ensayos de control de fusariosis de espiga llevados a cabo entre 1991 y 2002, Díaz (2004), resume que para las aplicaciones de tebuconazol la eficiencia promedio fue de 44%, variando entre 38 y 52%, mientras que para metconazol la eficiencia fue de 51%, con variaciones entre 21 y 65%.

La bibliografía internacional es coincidente con estos resultados, la elección de productos a utilizar no merece demasiada discusión (Menniti *et al.*, 2003; Pirgozliev *et al.*, 2002). Por otra parte existe abundante información que menciona productos con comportamientos no satisfactorios entre los que se encuentra kresoxim-metil, epoxiconazol y azoxystrobin (Menniti *et al.*, 2003; Pirgozliev *et al.*, 2002). Estos dos últimos, además de ser menos efectivos, elevaron los niveles de DON en algunos tratamientos, lo cual podría presentar un riesgo desde el punto de vista toxicológico (Menniti *et al.*, 2003).

En las condiciones de producción local, el control químico de la fusariosis de espiga ha presentado básicamente tres limitantes: la estructura de la espiga, el método de aplicación y el momento de aplicación, siendo esta última considerada la principal limitante. La estructura y fisiología de la espiga hacen que los productos fungicidas actúen de modo preventivo y no curativo, por lo cual deben ser aplicados inmediatamente antes de la ocurrencia de la infección. Es, principalmente por esta razón, que el control químico de la fusariosis de espiga ha mostrado resultados tan erráticos, con eficiencias de control de 30 a 90% (Díaz *et al.*, 2002a; Pereyra y Stewart, 2002). El uso de modelos de predicción de ocurrencia de condiciones ambientales favorables a la infección parece ser una alternativa promisoriosa para definir el momento óptimo de aplicación de fungicidas.

## MODELOS DE PREDICCIÓN

Según Moschini *et al.* (2003), la ocurrencia esporádica y espacialmente variable de condiciones ambientales favorables para la ocurrencia de la enfermedad justifica el desarrollo de sistemas de pronósticos de la enfermedad, con el objetivo de ayudar a decidir el control químico. En tal sen-



Condiciones óptimas para la infección

tido existen una serie de modelos generados que pretenden estimar índices de fusariosis de espiga que permitan identificar situaciones de riesgo y así poder mejorar la eficiencia de los tratamientos químicos. (Rossi *et al.* 2003; De Wolf *et al.*, 2002; Hooker *et al.*, 2002).

En Argentina, Moschini y Fortugno (1996), generaron un modelo a partir de la identificación en la localidad de Pergamino, Argentina, de los factores ambientales asociados a la incidencia de la fusariosis en trigo, cuantificando esta relación a través de una ecuación predictiva bivariada. Entre las combinaciones se encuentran: el número de días simultáneos con precipitaciones (precipitaciones mayores a 0,2 mm) y humedad relativa mayor a 83% (DPRH), y el número de períodos de dos días en el cual existe precipitaciones mayores a 0,2 mm y el %HR es mayor a 81% durante el primer día, y mayor a 78% (NPPRH) durante el segundo día. Otros parámetros incluidos en el modelo son: la sumatoria de temperatura por encima de 26°C (DDMAXT), y la sumatoria de temperatura por debajo de 9°C (DDMINT).

Entre los períodos de tiempo evaluados, el comprendido entre 8 días previo a floración (50% anteras expuestas) hasta alcanzar una suma térmica de 530 grados-día (base 0°C), fue el que logró mejor ajuste. Por otra parte, de los parámetros climáticos, las variables hídricas fueron las más importantes, entre éstas, la que establece períodos de 2 días, con registro de

lluvia y HR > 81% en el día 1, y HR = 78% en el día 2, logró explicar el 81% de la variación en incidencia.

Por otra parte, la variable térmica que mejor ajuste logró fue la que acumula diariamente el residual de las temperaturas mínimas y máximas consideradas (o sea, temperatura mínima < 9°C y temperatura máxima > 26°C). Esto considera que temperaturas por debajo de 9°C y por encima de 26°C detienen el crecimiento del patógeno. Como conclusión de uso de este modelo, los autores mencionan que para que existan condiciones severas de infección (incidencia mayor a 45%), deberían existir más de 4 períodos de 2 días con condiciones favorables.

Este modelo predictivo ha sido evaluado y ajustado para otros sitios del norte y sur de la región pampeana (Moschini *et al.*, 2001). Por su parte, se encontraron mejoras en el ajuste entre las observaciones y la predicción al aumentar la temperatura máxima de 26°C a 30°C. Este cambio, en general, es recomendado por los autores para localidades más cálidas que Pergamino y parece más adecuado a los requerimientos térmicos del hongo descritos por Andersen (1948).

Entre las principales limitantes de uso de este modelo se pueden citar los errores de estimación a valores de incidencia mayores a 80% (Moschini *et al.*, 2001), lo cual no parece ser preocupante ya que a esos valores de incidencia es probable que el cultivo esté seriamente afectado y no im-

porte demasiado el valor exacto de la estimación. Otra limitante es que dicho modelo fue generado con evaluaciones de incidencia (%I) y severidad (%S) en el tallo principal, y bajo las condiciones de producción nacional el tallo principal, en número, no representa más del 30% de los tallos totales. Una limitante adicional es que el uso de este modelo para la toma de decisión de control químico aún no está ajustado, y ha sido generalmente utilizado para segregar zonas de producción en la región triguera de Argentina de acuerdo a los valores de infección estimados por el modelo.

### USO DE MODELOS DE PREDICCIÓN EN URUGUAY

Es fundamental contar con un modelo que permita pronosticar períodos críticos para optimizar el uso de fungicidas, racionalizar recursos y minimizar el impacto ambiental de los sistemas de producción. Por este motivo en el país se están invirtiendo recursos para el desarrollo de un sistema que permita, en lo inmediato, optimizar la aplicación de fungicidas para el control de fusariosis de la espiga en el área triguera del país. El sistema en el que se está trabajando desde el año 2003 en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC) toma como base el modelo desarrollado por Moschini y Fortugno (1996), y actualmente se están llevando a cabo ensayos de validación del uso del modelo como predictor de períodos con condiciones predisponentes, al ser combinado con pronósticos climáticos.

La estrategia de investigación se basó en la comparación de diferentes momentos de aplicación del control químico definidos por diferentes criterios: 1) un tratamiento testigo sin aplicación de control químico (testigo), 2) aplicación del fungicida a inicios de floración (medida de manejo actualmente recomendada, Díaz *et al.* (2002), 3) aplicación de fungicida cuando el modelo de predicción predijo la ocurrencia de enfermedad, 4) aplicación de fungicida en cada momento que el modelo predijo ocurrencia de enfermedad.

La investigación fue llevada a cabo durante los años 2003 y 2004. Los cuatro tratamientos fueron evaluados en parcelas experimentales ubicadas en chacras de productores (2003) y en la EEMAC (2004).

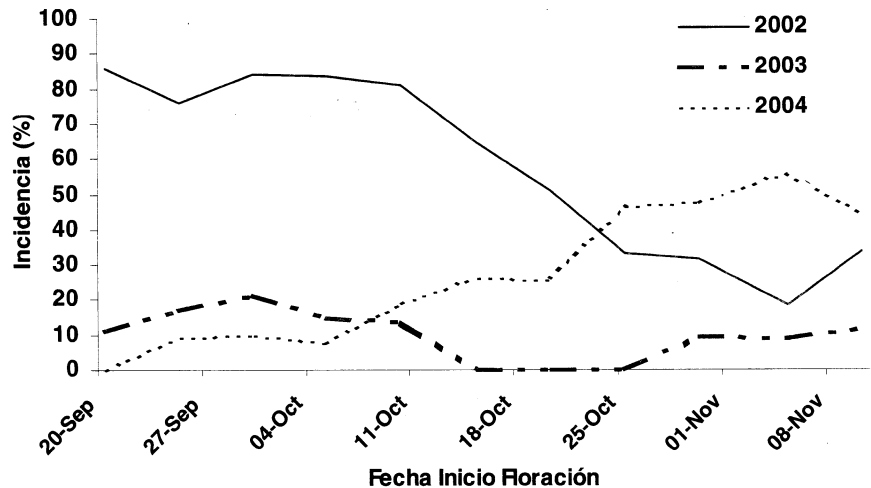


Figura 1. Estimación de porcentaje de la incidencia de fusariosis de la espiga realizada por el modelo de Moschini y Fortugno (1996), para los años 2002, 2003 y 2004 en la EEMAC.

Para la predicción de las condiciones predisponentes, se confeccionó una planilla Excel en la que se cargó diariamente la información climática necesaria para correr los modelos descriptos (temperatura máxima, mínima y media, % HR media y precipitaciones) a partir del 1 de setiembre y hasta la finalización del período de floración logrado. A esta información se le agregó el pronóstico para los próximos 5 días (obtenidos de sitios web de acceso público) como forma de pronosticar la ocurrencia de períodos con condiciones predisponentes para la enfermedad. El resultado fue corregido diariamente, ya que la planilla se actualizó todos los días con la información real y se agregó el nuevo pronóstico disponible. A medida que transcurría el período de susceptibilidad del cultivo, no sólo se iban confirmando las condiciones pronosticadas, sino que además se llevó el registro de la evolución real del Índice de Fusariosis estimado con el modelo utilizando la información climática confirmada.

En la Figura 1 se presenta las estimaciones de incidencia realizadas con el modelo para los años 2002, 2003 y 2004. El año 2002 es usado como testigo, ya que existieron serios problemas con esta enfermedad, especialmente en el litoral norte de Uruguay, zona donde está ubicada la EEMAC. Estos problemas fueron especial-

mente graves para los cultivos sembrados dentro del rango fechas de siembra recomendado y que llegaron a antesis a mediados de octubre. Las siembras tardías florecieron después del 25 de octubre, en condiciones menos favorables para la enfermedad, y escaparon al problema. En el año 2003, durante el cual se realizaron los ensayos en chacras de producción, no existieron condiciones para fusariosis de la espiga, en especial durante octubre, mes en que se concentra la floración a nivel productivo. Por último en el año 2004, tampoco existieron problemas graves de fusariosis de espiga durante octubre, aunque pueden haber sido afectadas las floraciones más tardías, pero a niveles por debajo de lo observado en la zafra 2002.

Considerando estas estimaciones puede concluirse que en los dos años (2003 y 2004), en los cuales fue validado el modelo como herramienta para la toma de decisiones sobre el control químico de la fusariosis de espiga en trigo, no existieron condiciones climáticas claramente favorables para la enfermedad, lo cual resulta una limitante para la validación de esta herramienta. Sin embargo, dichas condiciones permitieron evaluar la habilidad del modelo para prevenir aplicaciones innecesarias.

En la Figura 2 se presentan las características climáticas diferenciales, para cada uno de los años modelados. En octubre del

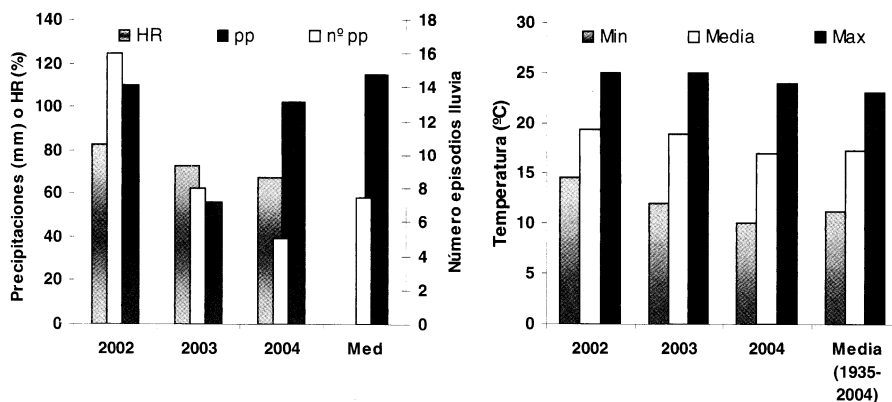
año 2002 llovió más que en los otros años, en especial comparado con lo que fue el año 2003. Además, existieron más episodios de lluvia, que es en definitiva lo que determina el número de días con condiciones predisponentes (NP en el modelo de Moschini y Fortugno, 1996). Esto último es importante ya que si analizamos sólo la cantidad de lluvias en milímetros totales, en el 2004 no existieron diferencias importantes con el año 2002, pero sí hubieron diferencias en el número de eventos. Mientras en el año 2003 y 2004 existieron sólo 8 y 5 episodios de lluvias, respectivamente, durante el año 2002 existieron 16 episodios, lo cual marca importantes diferencias en cuanto a condiciones predisponentes para la enfermedad. Este punto es importante ya que si se analizan las precipitaciones medias totales (serie 1935-2004), podría pensarse que en promedio siempre existen condiciones para desarrollo de la enfermedad, afirmación que es posible rechazar cuando se analizan los episodios de lluvia, que en promedio para esta serie histórica es de 7,5 días durante este mes.

Asociado al volumen de precipitaciones y al número de veces en que llueve al mes, se encuentra la humedad relativa, que en definitiva es el factor fundamental para el desarrollo de esta enfermedad. Se puede observar que para el año 2002 la humedad relativa promedio fue mayor a 80%, lo cual determina que en promedio estuvo por encima de la humedad requerida por el hongo para causar infección.

Temperaturas por debajo de 9°C y por encima de 30°C limitan el desarrollo del patógeno (Andersen, 1948), y juegan un papel muy importante en determinar la velocidad de avance de la infección. En este sentido, el año 2002, fue un año con temperaturas mínimas por encima del resto de los años evaluados e incluso por encima de la media histórica. La temperatura mínima promedio para el año 2002 fue de aproximadamente 14°C, lo cual determina una temperatura sin limitantes para el desarrollo del patógeno (Andersen, 1948).

## AJUSTE DEL MODELO UTILIZADO

En general la correlación entre el valor predicho por el modelo y el observado, tanto para incidencia como para severidad, no fue consistente ( $r = 0.03$  a  $0.69$ ). Sin



**Figura 2.** a) Humedad relativa promedio (%), precipitaciones (mm) y número de eventos de lluvia registrados en el mes de octubre para los años 2002, 2003, 2004 y la serie histórica (1935-2004); b) Temperatura promedio (°C) mínima, media y máxima, registrada durante el mes de octubre, para los años 2002, 2003, 2004 y la serie histórica (1935-2004) para la EEMAC.

**Cuadro 1.** Incidencia (% I) y severidad (% S) de fusariosis de la espiga de trigo para el promedio de los tratamientos con y sin fungicida en los años 2003 y 2004.

	SI*	NO	SI	NO*
<b>Tratamiento</b>	<b>% I</b>		<b>% S</b>	
Sin Fungicida	18,2	19,9	14,1 a	11,1
Con Fungicida	13,9	14,7	11,0 b	10,1
n	25	43	25	43
p	0,1888	0,1245	0,044	0,1739

SI\* = resultados obtenidos cuando se cumplió la condición predisponente;  
NO\* = resultados obtenidos cuando no se cumplió la condición predisponente definida por el modelo.

embargo, es importante realizar un análisis más profundo y enfocado al uso del modelo como predictor de condiciones de infección con el objetivo de optimizar el momento de aplicación de fungicidas en base a dicha predicción.

En el Cuadro 1 puede observarse la incidencia (%I) y severidad (%S) para los diferentes tratamientos. La segregación se realizó considerando existencia de condiciones predisponentes cuando el porcentaje de incidencia estimado por el modelo alcanza valores iguales o mayores al 30%.

Aplicar cuando el modelo detectó condiciones predisponentes determinó disminuciones en el valor de incidencia, sin embargo dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Cuando se analiza la severidad para la misma situación, se observa una disminución estadísticamente significativa de la severidad en el tratamiento con fungicida respecto al testigo (sin fungicida). En contraparte,

aplicar cuando el modelo no detectaba condición, no mejoró la situación. Esto último es importante, ya que se logra no aplicar fungicida en un alto porcentaje de situaciones, sin que ello genere problemas con esta enfermedad. Las aplicaciones lograron disminuir la incidencia y severidad a valores semejantes a los encontrados en ausencia de condiciones.

Cuando el modelo no indica condiciones predisponentes para la enfermedad, no hay necesidad de aplicar, y este comportamiento mostró ser repetible a lo largo de los dos años. En contraparte cuando el modelo determinó situaciones de riesgo, en la cual se decidió aplicar, la eficiencia de aplicación resultó ser extremadamente baja durante los años evaluados. En la actual coyuntura a nivel productivo, en que la recomendación es aplicar a tiempo fijo, este tipo de información es válida ya que permite evitar aplicaciones con un importante nivel de seguridad.

## DURACIÓN DE LA FLORACIÓN

Si bien la duración del período inicio-fin del período susceptible estimado con el modelo es aproximadamente 30 días, Moschini y Fortugno (1996) no dejan claro si este período se corresponde exactamente con la floración o se extiende más allá de ésta. Esta duración está de acuerdo con duraciones de floración observadas por Reis (1989), y de Souza y Formento (2003). En ninguno de los casos estudiados en el 2004 la floración duró los 530 grados días (GD) que considera el modelo para este período y promedió entre 13 y 26 días según cultivar y fecha de siembra. Esto puede ser una limitante ya que es probable que se puedan estar identificando períodos críticos que en realidad no ocurrieron debido a que la floración terminó antes que se completaran los GD considerados por el modelo.

Es probable que la duración real de la

floración, aún en chacras comerciales, sea menor que la reportada por los autores extranjeros mencionados (Reis, 1989 y de Souza y Formento, 2003). De concretarse este comportamiento, la situación parecería ser más manejable desde el punto de vista de control químico en comparación a cuando se tienen 30 días de período de floración.

Esto puede estar explicando las observaciones realizadas por autores nacionales que trabajan en control químico de fusariosis de la espiga (Díaz *et al.*, 2002 a; Díaz *et al.*, 2002b; Díaz, 2003), quienes mencionan que aplicaciones a comienzo de floración siempre están dentro de las más eficientes y en muchos casos no se diferencian de la doble aplicación inicio floración + 7 días pos-inicio, ya que al ser el período más corto que el esperado, la aplicación a inicio de floración llega con residualidad suficiente al final del período crítico.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos en los dos años de evaluación del modelo corresponden a situaciones de baja incidencia de la enfermedad. En estas condiciones, cuando el modelo no predijo condiciones ambientales favorables durante el período de floración, los niveles de incidencia y severidad observados fueron realmente bajos, indicando un buen ajuste del modelo en la determinación de no aplicación. Sin embargo, para contar con una completa validación del modelo, resta conocer el ajuste del mismo en condiciones de epifitía.

La duración de la floración es menor a las observadas por otros autores y tiene una duración menor a los 530 GD (base 0°C) (aproximadamente 30 días) determinado por el modelo. A pesar de esto no se logró mejorar el ajuste del modelo utilizando la duración real, esto puede determinar que existan infecciones más allá del período de floración, situación que es reportada por varios autores.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSEN, A. 1948. The development of *Giberella zeae* head blight of wheat. *Phytopathology*. 38:595-611
- de SOUZA, J. and FORMENTO, N. 2003. Estudios de antesis en trigo y su relación con la Fusariosis de Espiga (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.). [www.inta.gov.ar/paranal/info/documentos/produccion\\_vegetal/trigo](http://www.inta.gov.ar/paranal/info/documentos/produccion_vegetal/trigo).
- DE WOLF, E.; LIPPS, P.; MADDEN, L. and FRANCL, L. 2002. Influence of corn residue and cultivar susceptibility on the accuracy of *Fusarium* head blight risk assessment models. 2002 National *Fusarium* Head Blight Forum Proceedings. 137-139.
- DÍAZ, M.; PEREYRA, S. and STEWART, S. 2002a. Antecedentes y perspectivas de control de fusariosis de la espiga de trigo. *In: Jornada Técnica Cultivos de Invierno*. INIA La Estanzuela. Serie Actividades de Difusión N° 282. p 1-9.
- DÍAZ, M.; PEREYRA, S.; STEWART, S. and MIERES, J. 2002b. Fusariosis de la espiga en trigo y cebada. INIA La Estanzuela. Hoja de divulgación N° 79.
- DÍAZ, M. 2003. Comportamiento varietal y control químico para fusariosis de la espiga en trigo. *In: Jornada Técnica Cultivos de Invierno*. Serie Actividades de Difusión N°312. p 23-31.
- DÍAZ, M. 2004. Manejo de enfermedades en trigo. *In Jornada Técnica Cultivos de Invierno*. INIA La Estanzuela. Serie Actividades de Difusión N° 357. p 12-18.
- HOMDORK, S.; FEHRMANN, H. and BECK, R. 2000. Effect of field application of tebuconazole on yield, yield components and the mycotoxin content of *Fusarium* infected wheat grain. *Journal of Phytopathology* 148:1-6.
- JO SYKES, R. 2003. *Fusarium* Ear Blight and Mycotoxins in Wheat. *The Agronomist*. 1/2003: 19-23.
- MENNITI, A.; PANCALDI, D.; MACCAFERRI, M. and CASALINI, L. 2003. Effect of fungicides on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in durum wheat grain. *European Journal of Plant Pathology*. 109: 109-115.
- MOSCHINI, R. AND 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.; PIOLI, R.; CARMONA, M. and SACCHI, O. 2001. Empirical Predictions of wheat head blight in the northern argentinean pampas region. *Crop Science* 41(5):1541-1545.
- MOSCHINI, R.; DE GALICH, M.; ANNONE, J. and POLIDORO, O. 2003. Enfoque fundamental-empírico para estimar la evolución del índice de fusarium en trigo. *RIA*. 31 (3): 39-53.
- PARRY, D.; JENKINSON, P. and MCLEOD, L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small-grain cereals – a review. *Plant Pathology* 44:207-238.
- PEREYRA, S. AND STEWART, S. 2002. Fusariosis de la espiga en cebada. *In Jornada Técnica Cultivos de Invierno*. INIA La Estanzuela. Serie Actividades de Difusión N° 282. p 11-16.
- PIRGOZLIEV, S.; EDWARDS, S.; HARE, M. and JENKINSON, P. 2002. Effect of dose rate of azoxystrobin and metconazole on the development of *Fusarium* head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in wheat grain. *European Journal of Plant Pathology*. 108: 469-478.
- RAMÍREZ, M.; 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.
- REIS, E. 1989. Biología y epidemiología de *Giberella zeae* en trigo. *In Kholi, M. (ed). Taller sobre fusariosis de la espiga en América del sur, CIMMYT, México, D.F.* p. 97-102.
- ROSSI, V.; GIOSUÈ, S.; PATTORI, E.; SPANNA, F. and DEL VECCHIO, A. 2003. A model estimating the risk of *Fusarium* head blight on wheat. *Bulletin OEPP/EPPO*. 33: 421-425.