

FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE TRIGO Y CEBADA

Martha Díaz de Ackermann¹
Silvia Pereyra¹

INTRODUCCIÓN

La enfermedad llamada golpe blanco o fusariosis de la espiga fue descrita por primera vez en trigo en Estados Unidos en 1891 (Arthur, 1891). Es una de las enfermedades más devastadoras en los cultivos de trigo y cebada en varias partes del mundo, y específicamente, de creciente preocupación en la región sur de América del Sur. Durante muchos años fue considerada una enfermedad de importancia menor en América por su aparición esporádica (Díaz de Ackermann y Kohli, 1997). Sin embargo, en las dos últimas décadas ha aumentado su frecuencia de aparición y severidad, pasando a ser uno de los factores principales de reducción de rendimiento y calidad de estos cultivos en varias regiones de producción de América del Norte, América del Sur, Europa y Asia (Díaz de Ackermann y Kohli, 1997; Dubin *et al.*, 1997; Gilchrist *et al.*, 1997; Tekauz *et al.*, 2000; Shaner, 2003).

En Uruguay los primeros registros de la enfermedad en trigo datan del año 1928, en el libro «Observaciones sobre Agronomía», donde el Dr. Alberto Boerger menciona la aparición de *Giberella saubinetti* como agente causal de espigas blancas en cultivos de trigo (Boerger, 1928). La epifitía de fusariosis de la espiga del año 1977, junto con otros factores (nivel de infección alto de manchas foliares, condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo, etc.) llevaron a una reducción de 50% en la producción promedio nacional de trigo (Tavella *et al.*, 1979).

En un estudio realizado por Tavella *et al.* (1979) en 1978, después de la fuerte epifitía de fusariosis de la espiga del 1977, se encontró que en un período de 63 años considerados, solo en cinco oportunidades la tem-

peratura media del aire presentó valores cercanos a los de 1977 y en solo cuatro de estos años (1939, 1943, 1961 y 1977) las variables climáticas que caracterizan las condiciones de humedad fueron superiores a los normales. La posibilidad de ocurrencia de condiciones climáticas como las del año 1977 fue de **1 año en 16**, esto indicaba que la enfermedad podía tener un carácter esporádico. Después de la epidemia del 1993 se hizo el mismo estudio y la frecuencia pasó a ser de **1 año en 11**. Finalmente después de la epidemia de 2001 y 2002, la frecuencia pasó a ser de **1 año de cada 8**. Si analizamos los últimos trece años vemos que la fusariosis de la espiga fue importante en cinco años y muy importante en tres años (Figura 1). Estas condiciones nos han permitido obtener muy buenos resultados en la investigación sobre fusariosis de la espiga y su control.

En cebada, la fusariosis de la espiga ocurre esporádicamente en el país. En la década 1990-2000 se registró en un patrón de cada tres o cuatro años (Pereyra y Stewart, 2001). La primera epidemia importante registrada en este cultivo fue en 2001.

IMPORTANCIA ECONÓMICA

Trigo

Estimaciones realizadas en Brasil durante el período 1984-1987, indicaron que para un rango de espigas afectadas de 2 a 38%, se obtuvieron disminuciones porcentuales del rendimiento del orden de 0.4 al 14% (Reis, 1986). Utilizando la misma metodología las estimaciones de pérdidas de rendimiento realizadas en parcelas de multiplicación de líneas promisorias del Programa de Mejora-

¹Protección Vegetal, INIA La Estanzuela.

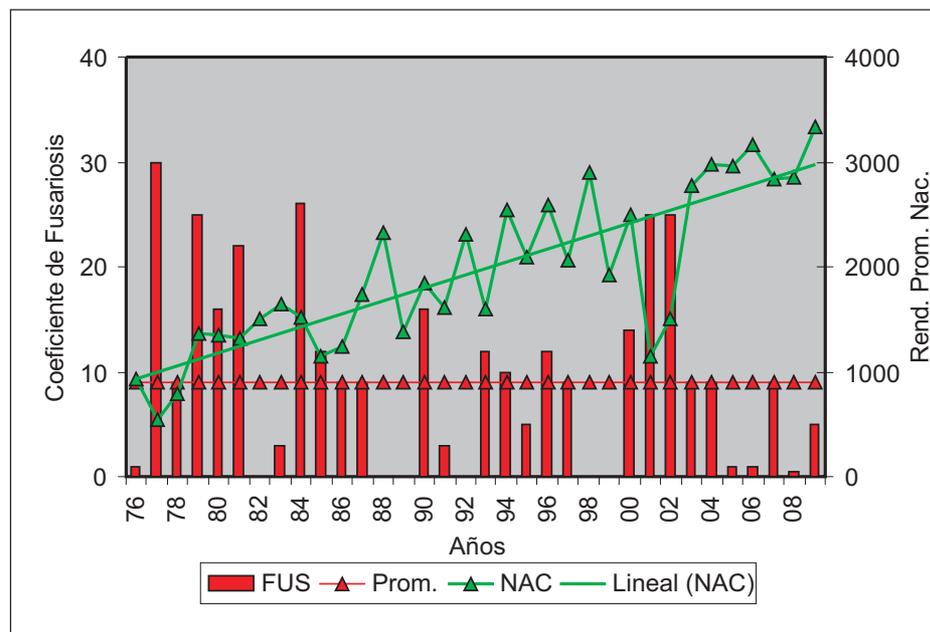


Figura 1. Coeficiente de infección de fusariosis de la espiga anual, promedio para la serie de 1976/2009, rendimiento promedio nacional y rendimiento esperado para el mismo período en trigo.

miento de Trigo de INIA en La Estanzuela, oscilaron entre 0.5 y 31%, con espigas afectadas desde 10 a 88% en 1990, entre 0 y 18% con espigas afectadas desde 31 a 80% en 1991, y entre 12 y 25% con espigas afectadas desde 76 a 85% en 1993 (Díaz de Ackermann, 1996). En los años 2007 y 2009, las mermas de rendimiento en ensayos de prueba de fungicidas del testigo sin aplicar (coeficiente de infección - severidad x incidencia 67) con respecto al mejor tratamiento para fusariosis de la espiga (coeficiente de infección 11) fueron de 14 y 25%, respectivamente.

A pesar de que las mermas de rendimiento no son espectaculares, esta enfermedad produce toxinas, que provocan serios daños a los seres humanos y animales. A nivel nacional el Decreto 533/01 del Ministerio de Salud Pública establece que el límite máximo permitido de deoxinivalenol (DON) en productos y subproductos del trigo para alimentación humana es de 1 ppm.

Cebada

La fusariosis de la espiga es capaz de influenciar cada aspecto de la cadena

agroindustrial de este cultivo, desde el rendimiento en grano hasta la calidad del producto final. Las mermas en el rendimiento en grano resultan principalmente de la esterilidad de las espiguillas y/o un menor tamaño del grano (Mathre, 1997). En Uruguay, para las variedades INIA Ceibo (CLE 202) e INIA Aromo (CLE 203) las pérdidas de rendimiento en grano para la zafra 2002 fueron cuantificadas en 13-14% (Pereyra y Stewart, 2004).

La calidad física del grano es afectada por factores tales como un menor tamaño del grano y una germinación reducida (Mathre, 1997). Por otra parte, la calidad maltera se ve afectada por un mayor extracto de malta y color del mosto, una disminución en la diferencia de extracto fino/extracto grueso, un mayor contenido de nitrógeno en el mosto y menor viscosidad (Gjertsen *et al.*, 1965).

La cerveza elaborada con granos altamente infectados con *Fusarium* puede presentar características negativas como sabores extraños e inestabilidad de la espuma (efecto «gushing») (Haikara, 1980; Schwartz *et al.*, 1995). Haikara (1980) demostró la ocurrencia de «gushing» a escala de cervecería y laboratorio en aquellos casos donde

el 50% de los granos malteados estaban infectados con *Fusarium*.

Sin embargo, el aspecto más destacado de la fusariosis de la espiga es que los hongos que la causan pueden producir distintas toxinas que pueden mantenerse estables durante el proceso de malteo y llegar hasta la cerveza elaborada. Aún cuando el proceso de remojo puede reducir los niveles de micotoxinas hasta cerca del nivel de detección, el *F. graminearum* puede crecer y producir deoxinivalenol (DON) durante la germinación del grano. Luego del proceso cervecero, se ha detectado en la cerveza un 80 a 93% del DON presente en la malta (Schwartz *et al.*, 1995). En Uruguay, Stewart y Piñeiro (1995) determinaron que la toxina DON se mantenía estable durante el proceso de malteo recuperando un 79% de la misma en muestras de malta con 1 ppm de DON y un 68% en muestras de malta con 0.5 ppm de DON.

ORGANISMO CAUSAL Y PRODUCCIÓN DE TOXINAS

La fusariosis de la espiga es causada por una o más especies del género *Fusarium* (Schroeder y Christensen, 1963), y la dominancia de una u otra especie se rige por las condiciones ambientales durante la etapa de espigazón/ floración de los cultivos hospedantes, e incluso durante la etapa post cosecha (Pereyra, 2003). La importancia de conocer qué especies de *Fusarium* están presentes en los granos de trigo y cebada radica en la producción de distintas micotoxinas entre las diferentes especies que representan un mayor o menor efecto nocivo en la salud humana y animal.

En Uruguay, la especie predominante asociada a esta enfermedad en trigo y cebada es *Fusarium graminearum* Schw. forma imperfecta de *Gibberella zeae* (Schwabe) Petch. (Pritsch, 1995; Pereyra, 2005; Pereyra *et al.*, 2006). Relevamientos de granos de trigo y cebada provenientes de diferentes cultivares, localidades del litoral oeste y épocas de siembra durante las zafas epidémicas de 2001 y 2002 han permitido

cuantificar que *F. graminearum* estuvo primariamente asociada a ambos cultivos, constituyendo el 76 y 60 % de todas las especies de *Fusarium* aisladas de granos de trigo en 2001 y 2002, respectivamente, mientras que constituyó el 65% y 56% de las especies aisladas de granos de cebada en el mismo período (Pereyra, 2005; Pereyra *et al.*, 2006).

A nivel mundial, dentro de esta especie se han reconocido 13 linajes diferentes, los cuales según O'Donnell *et al.* (2004) son filogenéticamente distintos y deben ser considerados como especies diferentes. En estudios realizados en el país en conjunto con la Facultad de Química (UDELAR), se ha encontrado que el linaje predominante dentro del grupo *F. graminearum sensu lato*, es el 7 (*F. graminearum sensu stricto*), principalmente productor de los tricotecenos DON y 15 acetil DON (15AcDON) (Pereyra *et al.*, 2006; Umpierrez *et al.*, 2010).

Las frecuencias con las que se aislaron las distintas especies de *Fusarium* variaron de acuerdo, tanto al ambiente (localidad x época de siembra) como al cultivar. En trigo, *F. avenaceum*, *F. poae* y *F. culmorum* siguieron en importancia a *Fusarium graminearum*. Otras especies encontradas incluían: *F. equiseti*, *F. acuminatum*, and *F. trincictum*. *F. poae* y *F. equiseti* fueron las especies más comúnmente aisladas luego de *F. graminearum* en los granos de cebada. Otras especies incluían *F. avenaceum*, *F. sambucinum*, *F. trincictum*, *F. semitectum* y *F. chlamydosporum*. En nuestras condiciones, la infección por *F. poae* en cebada ocurre generalmente al estado de embuche infectando a la espiga a través de la vaina de la hoja bandera a fines de agosto - principios de setiembre cuando las bajas temperaturas favorecen a este patógeno.

Fusarium spp. producen toxinas como la zearalenona (ZEN) y/o tricotecenos como el deoxinivalenol (DON), nivalenol (NIV) y formas acetiladas de DON (Ac-DON) (Boyacioglu *et al.*, 1992). Las toxinas predominantes en el país tanto en granos de trigo como de cebada son DON y ZEN (Piñeiro, 1997).

SÍNTOMAS

Trigo

Las espiguillas afectadas pierden clorofila rápidamente y se tornan descoloridas (Figura 2). Posteriormente, en la base y bordes de las glumas, aparece una coloración rojiza a salmón que corresponde a los conidios del hongo. La infección se produce en aquellas espiguillas que se encuentren en antesis al darse las condiciones para la

infección. Si las condiciones son muy favorables la infección avanza hacia las espiguillas adyacentes.

El efecto de la enfermedad en el desarrollo del grano depende del momento de infección y puede ser la simple presencia de micelio externo hasta no formación de grano. Si la infección es moderada los granos son chuzos, de bajo peso y con una coloración rosada a blanquecina (Figura 3). Hacia el final de ciclo se pueden observar sobre las espigas masas negras de peritecios.



Figura 2. Espigas (a y b) y granos (c) de trigo afectados por *Fusarium graminearum*.



Figura 3. Granos de trigo sanos (a) y afectados por *Fusarium graminearum* (b).

Cebada

Los síntomas de la enfermedad en cebada aparecen como granos discretos decolorados, pardos, pardo-anaranjados, marrones, o chuzos distribuidos en forma discontinua en la espiga (Figura 4). Eventualmente, si las condiciones ambientales son húmedas y cálidas, las espiguillas que han sido infectadas tempranamente desarrollan peritecios al momento de la cosecha (Mathre, 1997). Si la infección llega hasta la base de la espiga, el pedúnculo puede tornarse marrón.

En general, los síntomas de fusariosis de la espiga en cebada son de difícil diagnóstico debido a que decoloraciones similares pueden ser causadas por otros patógenos de semilla como *Drechslera teres* y *Bipolaris sorokiniana* o por hongos de campo como *Alternaria* spp., así como también por factores abióticos (Tekauz *et al.*, 2000).

EPIDEMIOLOGÍA

Condiciones ambientales predisponentes a la fusariosis de la espiga

Las condiciones climáticas durante la etapa espigazón/floración a llenado de grano son un factor decisivo para la ocurrencia de la fusariosis. La fusariosis de la espiga

se desarrolla bajo condiciones de alta humedad y temperaturas cálidas (Andersen, 1948; Sutton, 1982; Reis, 1988; Mathre, 1997). Espigas mojadas durante dos a tres días y temperaturas entre 10 y 30 °C durante el período susceptible de los cultivos (espigazón/llenado de grano) son suficientes para producir la enfermedad (Díaz de Ackermann, 1996), siendo la temperatura óptima para la infección de 25 °C (Andersen, 1948; Pereyra, 2003). Las condiciones climáticas inciden en tres fases sobre esta enfermedad: en el período pre-espigazón, cuando afectan la producción y maduración de ascosporas (inóculo primario); en el período espigazón-floración y primeras etapas del llenado de grano, cuando inciden en la infección; y en el período post-infección donde condicionan el desarrollo de la enfermedad (Pereyra, 2003).

Tipos de inóculo presentes en nuestros sistemas de producción, importancia y diseminación

Existen dos clases de esporas producidas por *F. graminearum*: las ascosporas, producidas en estructuras sexuales oscuras (peritecios) sobre los rastrojos y los macroconidios, producidos asexualmente en masa (en esporoquios) y que generalmente



Figura 4. Espigas (a y b) y granos (c) de cebada afectados por *Fusarium graminearum*.

se evidencian en el campo sobre espigas infectadas luego de condiciones de humedad como una coloración rosado-salmón. Los macroconidios también se producen sobre rastrojo pero en menor proporción a las ascosporas, se dispersan por salpicado de lluvia a cortas distancias.

Las ascosporas representan el inóculo primario principal de esta enfermedad y si bien pueden ser diseminadas por el viento a varios kilómetros, el inóculo endógeno de la chacra es el más importante y abundante para causar epidemias. A modo de ejemplo, algunos trabajos donde se siguieron aislamientos/clones de *F. graminearum* marcados desde una fuente de inóculo indican que la infección de espigas atribuidas a dichos clones disminuye en un 90% entre 3 a 6 m de las áreas fuentes de inóculo (Keller *et al.*, 2010).

La maduración de los peritecios sobre el rastrojo en el campo ocurre inmediatamente luego de la cosecha (fin de diciembre – enero), aunque muchas veces pueden evidenciarse sobre las glumas antes de la cosecha. En nuestras condiciones los peritecios (y ascosporas) se pueden producir durante todo el año sobre rastrojos susceptibles. Su presencia en los meses de setiembre-octubre-noviembre bajo las condiciones predisponentes antes mencionadas asegura la infección.

Infección y desarrollo de la enfermedad

Los estados fenológicos más vulnerables a la infección son floración en trigo y espigazón en cebada. Sin embargo, también se puede producir infección en etapas posteriores, durante la etapa de llenado de grano, que puede abarcar dos a tres semanas post-espigazón/floración. Las principales vías de entrada del hongo son: las anteras, estomas en glumas, grietas entre lemas y páleas, aberturas temporarias de la florecilla, base de las glumas (trigo) (Bushnell *et al.*, 2003).

Las infecciones tempranas generalmente matan las florecillas y no hay desarrollo de grano. Espiguillas atacadas más tarde producen granos menos desarrollados (chu-

zos) a los normales, mientras que infecciones posteriores donde el grano está completamente desarrollado pueden originar granos de tamaños normales pero contaminados con toxinas. Cuanto más temprana la infección en el desarrollo del grano, mayor será el efecto de la fusariosis de la espiga.

La infección inicial depende del nivel de inóculo (ascosporas, macroconidios, hifas), de condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) y del estado de desarrollo del hospedero. La espiga es un órgano complejo y heterogéneo en el cual todos los componentes pueden ser infectados por *F. graminearum*. La infección parece desarrollarse en dos fases. Durante las primeras 48 horas se desarrolla una fase biotrófica, asintomática, con desarrollo de hifas superficiales, subcuticulares e intercelulares. A continuación, se desarrolla una fase necrotrófica con manifestación de clorosis y necrosis, crecimiento intracelular e inicio de la producción de DON. En consecuencia, la producción de DON no se asocia a la infección inicial sino al comienzo de la fase necrotrófica. La fitotoxicidad del DON se asocia a la capacidad de inhibir la síntesis proteica y de desencadenar la muerte celular debido a pérdida de electrolitos. El DON es soluble en agua y avanza por delante de las hifas colonizadoras. Luego que una espiguilla fue infectada, la enfermedad puede extenderse a otras espiguillas de la espiga. Tres días después de la infección (ddi) la toxina se localiza en los haces vasculares del raquis y a los 10 ddi se detecta en espiguillas aun no colonizadas debido a su movilización basípeta y acrópeta. El avance del hongo en la espiga puede ser vía vascular (vía raquilla y raquis) y/o en condiciones de alta humedad relativa por vía externa (Bushnell *et al.*, 2003).

En el cariopse, la toxina puede difundirse en todos los tejidos si la infección es temprana. En sentido decreciente, la abundancia relativa del DON en espigas infectadas es: raquis, glumas, grano y pedúnculo. Es claro entonces que existen múltiples vías de infección así como variadas estrategias de colonización del hongo (Bushnell *et al.*, 2003).

Supervivencia de *F. graminearum* en los rastrojos

En nuestro país, *F. graminearum* es capaz de sobrevivir en rastrojo infectado de trigo, cebada, maíz, sorgo, moha, avena y algunas otras gramíneas componentes de las pasturas o malezas. (Figura 5).

En estudios epidemiológicos realizados en distintas secuencias de cultivos se ha determinado que en nuestras condiciones, trigo y cebada y en menor grado maíz son los rastrojos con mayor colonización y que a su vez aportan la mayor cantidad de inóculo de *F. graminearum* (Pereyra y Dill-Macky, 2008) (Figuras 6 y 7). Si bien el hongo fue capaz de colonizar rastrojo de girasol, éste y los rastrojos de leguminosas forrajeras como lotus y trébol blanco no contribuyeron inóculo bajo las condiciones del estudio.

Los rastrojos de trigo y cebada en superficie pueden aportar inóculo por un período de 2 a 2.5 años post-cosecha, mientras que si son enterrados con laboreo reducido aportan inóculo por 1 a 1.5 años. Si bien la supervivencia de *F. graminearum* en el rastrojo de maíz es prolongada, pudiendo llegar hasta 4 años, el aporte de inóculo del rastrojo de maíz en superficie ha sido medido hasta 3 años post-cosecha, pero en muy bajos niveles.

SISTEMA DE PREDICCIÓN DONCAST

La naturaleza esporádica de la fusariosis de la espiga, su fuerte asociación a los factores climáticos, la relativa estrecha ventana de vulnerabilidad para la infección, dispersión del inóculo e infección la hacen una buena candidata a ser modelada para predecir su riesgo (De Wolf *et al.*, 2003). A nivel mundial, se han propuesto varios modelos de cuantificación de la fusariosis de la espiga y/o de la contaminación con DON en función de factores climáticos (Moschini y Fortugno, 1996; Hooker *et al.*, 2002; De Wolf *et al.*, 2003; Detrixhe *et al.*, 2003; Del Ponte *et al.*, 2005; Schaafsma *et al.*, 2006; Klem *et al.*, 2007; Musa *et al.*, 2007).

El modelo DONcast desarrollado por Schaafsma, Hooker y colaboradores (Hooker *et al.*, 2002) para trigo en Ontario (Canadá) ha sido utilizado exitosamente desde el año 2000 en ese país con el objetivo de predecir el riesgo de ocurrencia de DON en el grano a cosecha. Los autores dividen el período crítico del cultivo en tres etapas: 4 a 7 días antes de espigazón (50% de espigas emergidas), 3 a 6 días luego de la espigazón y 7 a 10 luego de la espigazón solo donde las variables consideradas tienen distinto peso en la determinación del contenido de DON.

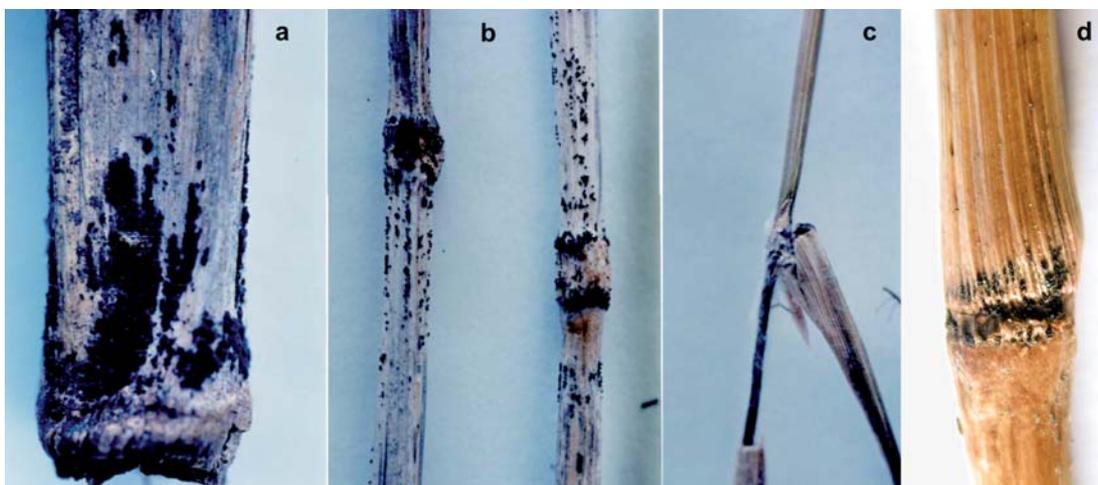


Figura 5. Peritecios de *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*) sobre rastrojos de maíz (a), trigo (b), gramilla (*Cynodon dactylon*) (c) y moha (*Setaria italica*) (d).

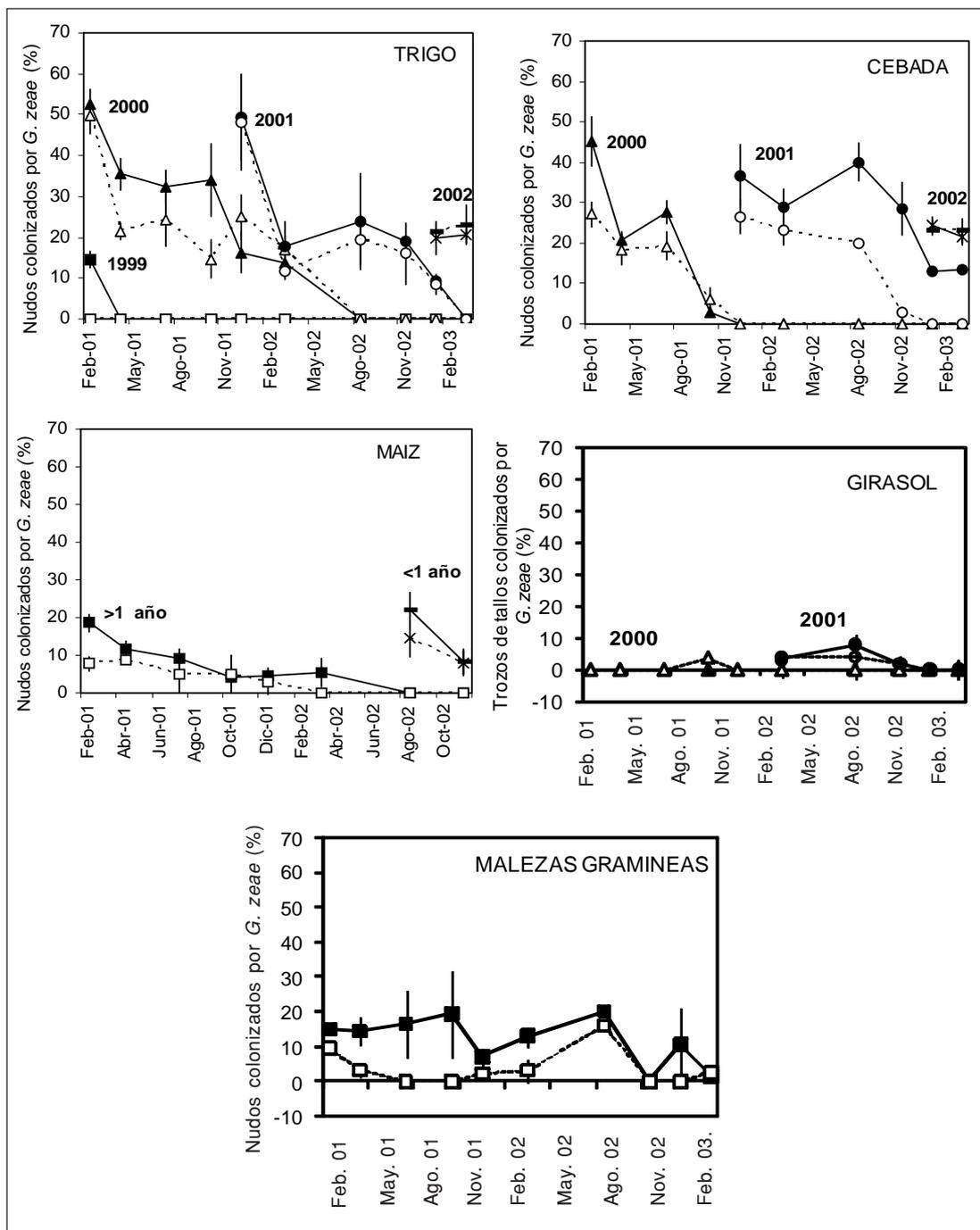


Figura 6. Colonización de cinco rastrojos (trigo, cebada, maíz, girasol y gramíneas malezas) por *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*) recuperados en dos sistemas de laboreo: siembra directa (---) y laboreo reducido (—) muestreados desde febrero 2001 a marzo 2003. Cada punto representa el porcentaje medio de colonización de todo el rastrojo muestreado. Las barras verticales representan los errores estándar.

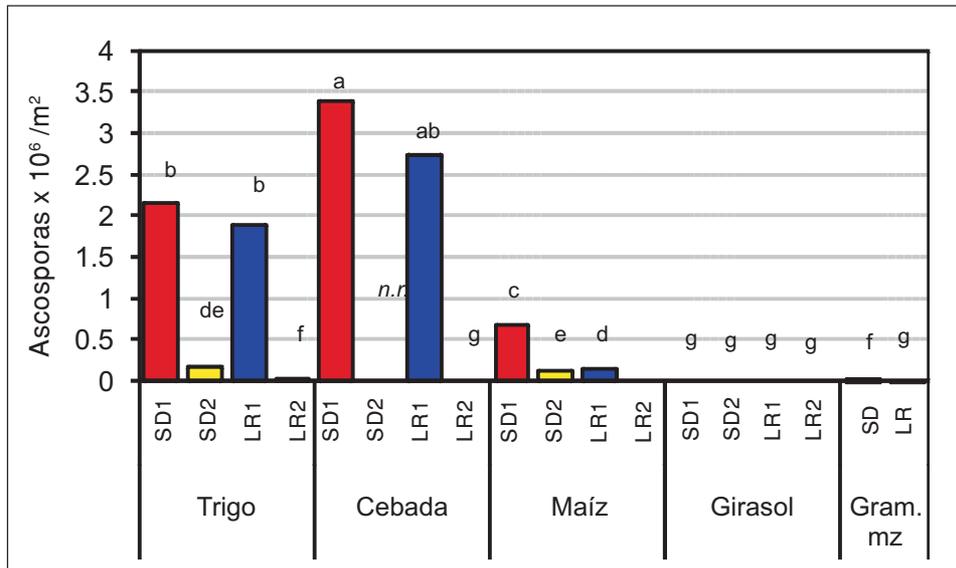


Figura 7. Producción de inóculo primario (ascosporas) de *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*) a partir de seis rastrojos (trigo, cebada, maíz, girasol y malezas gramíneas) recuperados desde febrero 2001 a marzo 2003 en dos sistemas de laboreo. Adaptado de Pereyra y Dill-Macky (2008).

Los valores presentados son los porcentajes medios de todo el rastrojo muestreado. Valores seguidos de letras distintas difieren entre sí según test de máxima verosimilitud (χ^2) al $P=0.05$. SD: siembra directa; LR: laboreo reducido. El rastrojo se categorizó por edad (1: 365 días de edad o menos; 2: mayor a 365 días). Gram.mz., malezas gramíneas - *Digitaria sanguinalis* L., *Cynodon dactylon* L., *Lolium multiflorum* L., and *Setaria* spp., n.r., no se recuperó rastrojo.

Dichas variables incluyen como condición favorable para la producción de DON al número de días con precipitaciones mayores a 5 mm y a 3 mm y como un efecto negativo los días en los cuales la temperatura máxima diaria supera los 32 °C y la mínima no alcanza a 10 °C (Hooker *et al.*, 2002).

El modelo estuvo originalmente disponible en Ontario en formato de mapas de riesgo de DON en función de la fecha de espigazón (75% espigas emergidas). Esta versión considera inóculo disponible (rastrojo infectado presente) y cultivar susceptible. Posteriormente se desarrolló una versión chacra-específica que es la que se maneja actualmente (Schaafsma y Hooker, 2007).

El modelo DONcast fue adaptado para Uruguay en INIA en el marco del proyecto financiado por FAO «Apoyo en la prevención y control de *Fusarium* y micotoxinas en granos» (TCP/URU/2801). Al modelo DONcast originalmente utilizado en Canadá se agregaron otras tres variables: humedad relativa

a las 11 hs, precipitaciones 20 a 36 días luego de la espigazón, y temperatura máxima 10 a 18 días luego de la espigazón que en Uruguay tuvieron efecto significativo sobre contenido de DON, llegando a un modelo versión 2003 estadísticamente significativo ($p<0.05$) con $R^2=0.76$ (Schaafsma *et al.*, 2006).

Para los pronósticos, se utilizan datos provistos por la Dirección Nacional de Meteorología y las estaciones Agroclimáticas de INIA. Este modelo está disponible cada zafra para el cultivo de trigo desde setiembre hasta mediados de noviembre desde el año 2004 en la página web de INIA (<http://www.inia.org.uy/online/site/15785211.php>). La salida del modelo son mapas diarios de niveles de DON a cosecha para cada fecha de espigazón (Figura 8). En general para tener un dato más ajustado se recomienda manejar los mapas de riesgo del día anterior y posterior a la espigazón del cultivo de interés.

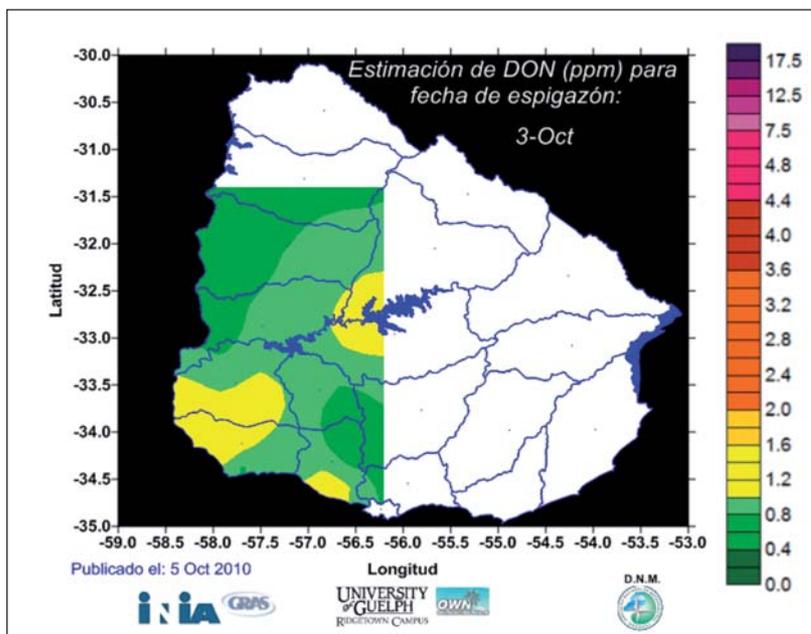


Figura 8. Mapa de riesgo de DON para un trigo espigando el 3 de octubre de 2010.

El modelo DONcast permite la racionalización de las aplicaciones de fungicidas para el control de la fusariosis de la espiga así como asistir en el manejo de lotes de grano provenientes de zonas de alto riesgo de fusariosis de la espiga y DON tanto para destino doméstico como para exportación.

MEDIDAS DE MANEJO

Resistencia genética

Trigo

Un variado número de mecanismos de resistencia parece estar operando en el hospedero. Tales mecanismos difieren en su base fisiológica y en el patrón temporal y espacial de acción. Estos mecanismos de resistencia incluyen: 1) resistencia a la infección inicial, 2) resistencia a la diseminación de síntomas y del patógeno a lo largo de la espiga, 3) limitación en la acumulación de toxina, 4) insensibilidad a los efectos de la toxina, 5) limitaciones en la infección del cariopse, 6) tolerancia, y 7) activación de respuestas de defensa. El conocimiento de las bases celulares y moleculares de tales

respuestas fisiológicas es aún muy limitado.

Tradicionalmente se han utilizado como fuentes de resistencias cultivares de origen japonés (Nyu Bay, Nobeoka Bozu, etc., Verges, 1983), con problemas de tipo agronómico prácticamente insuperables, baja productividad y alta susceptibilidad a otras enfermedades, y otros de origen brasileiro (Toropí, Encruzilhada, Pel 73007 y Pel 73081, Sartori, 1982). Desde 1986 existen materiales de origen chino con buen nivel de resistencia que empezaron a ser probados en nuestro país. El Cuadro 1 muestra las fuentes de resistencia usadas en el país en el período 1981-2010 (modificado de Díaz de Ackermann, 2003).

En la actualidad, líneas avanzadas adaptadas derivadas de cruces de fuentes de resistencia con germoplasma adaptado han surgido del PMG, aunque lentamente porque resulta difícil transferir la resistencia y separar los caracteres indeseables. Dentro del germoplasma chino, Sumai#3 ha sido resistente a todos los aislamientos probados y posee resistencia de todo tipo. Algunas de las líneas de la cruz Chuan Mai # 18 / Bagula también han tenido buen comportamiento en nuestras condiciones.

Cuadro 1. Fuentes de resistencia a *Fusarium* usadas en el Programa de Mejoramiento Genético de trigo CIAAB / INIA en el período 1981-2010.

1981	1995	2002
Toropi	LAJ1409(Nad/TRM)	E.PELON 90 / SUZHOE (PMG INIA LE)
Encruzilhada	Wuhan # 3/Star	ORL99192 (PMG ORL)
E. Young	Chuan Mai#18/Bagula	SAGVARI-NB / MM-SUMAI#3 (HUNGRIA)
Toropi/N.Bozu	Sha # 8/Gen	2006
Nyu Bay	Nanjing82149/Kauz	Ringo Sztar-Mini Mano(MM)/NB (146)
Pel 74142	1996	F600-19391
1982-84	Shangai # 7/Vee # 5	MC-74
Abura	Ald/PVN//NING7840	CEP 8743/3/JUN"S"/BOW"S"/VEE 5/BUC"S"/4/PF 87408
Nyu Bay	Nanjing8201/Kauz	CEP24/EMBRAPA27
1990	Pelón/Suzhoe	GUAM92//PSN/BOW
LE2120	NG8675/Cbrd	2007 y 2008
Shangai # 7	1997	K1148a3
Shangai # 5	Shangai # 3/Cbrd	PSUP/CTBRD
PF85513	L1107/YMI # 6	BRASIL
PF85516	1998	2009
1991	L1107/YMI # 6	BORI/5/CRCO/3/RAP/BPT//CARN/4/BPUS"S"/JNN=DAIREAUX
Nanjing7840	Pelón/Suzhoe	F6-CC-02-11268
Wuhan # 3	1999 y 2000	RINGO SZTAR-MM/NB//I.TIJERETA
NING 82149	Chuan Mai#18/Bagula	CEP24/PF87107//PVN/ANI'S
Shangai # 7	NING 8331 (NING7840/YangmaiN°4)	2010
Suzhoe F2	Pelón/Suzhoe	ORL 99192
Wuhan # 2	2001	BR23/OR1//PF9094
Chuan Mai#18/Bagula	CM82036 / REMUS (DH AUSTRIA)	OR1/GRANDIN/KITT/AMIDON
Ald/Pvn//NING7840	MILAN/CATBIRD (DH JOHN INNES)	PF87410/3/IA8425/IAPAR30//BR34
	ALSEN (NORTH DAKOTA)	KLAT/PEL74142//LR/INYUBAI/3//KLAT/CEP75203//LAJ1409/PF7815

En el Proyecto Regional de Trigo (PROCISUR-CIMMYT-INIA España-INIA Uruguay), que concluyó en julio del año 2009, en el Módulo *Fusarium*, se evaluaron las fuentes de resistencias a nivel internacional y algunos cultivares comerciales de cada país participante, en distintas localidades, Argentina, Brasil, Paraguay, México y Uruguay. Las entradas que presentaron lecturas de *Fusarium* bajas en todas las localidades y bajo contenido de DON se presentan en el Cuadro 2 (Pereyra y Díaz de Ackermann, 2010).

En el Cuadro 3 se presenta el comportamiento frente a fusariosis de la espiga de los cultivares de trigo de uso público, con título y solicitado. Se recomienda utilizar los cultivares con baja infección lo que significa menor susceptibilidad.

Los trigo duros (*Triticum durum*) son naturalmente más susceptibles a fusariosis de la espiga que trigo pan (*Triticum aestivum*), siendo la resistencia a este patógeno muy poco frecuente en el trigo duro. Es un cultivo recomendado para siembras en áreas donde la enfermedad no es un problema.

Cuadro 2. Líneas evaluadas en Argentina, Brasil, Uruguay, Paraguay y México con baja infección y bajo contenido de DON, 2009.

Entrada	CRUZA	CRUZA /PEDIGREE
FURTOX 2006		
1	SUMAI#3 (Testigo R)	Funo/Taiwan
3	NING 8331 (Testigo R)	Ning7840/Yangmai#4 (Ning7840=Aurora/Anhui//Sumai#3)
8	BUCK CHARRUA	(RAF/K.PET//K.REN/3/K.IMP//RAF/K.PET/4/LOV/5/RAF/K.PET//K.REN/3/K.IMP)
10	CATBIRD	CM91045-9Y-0M-0Y-5M-0Y-5M-1M-0Y-2M-0Y-1SCM
17	CEP 24	BR 3/CEP 7887 // CEP 7775/CEP 11
45	E1-31	REMUS/CM82036 (Sumai#3/Thornbird)
46	E1-97	REMUS/CM82036 (Sumai#3/Thornbird)
53	SHANGAI	-OSHG-8GH-0FGR-0FGR
78	BRS Tarumã	CENTURY/BR35
15	CATBIRD	CM91045-5Y-0M-0Y-4M-2Y-0YZ-010M-0Y-1SJ-0Y-0
2	FRONTANA (Testigo R)	Fronteira/Mentana
6	BAU'S/CEP87103//CEP14	B34410-BY-3A-0A-10A-1V-3A-0V
11	CATBIRD	CM91045-5Y-0M-4M-7Y-0B-0FC-0FGR-0FGR-0FGR

Cuadro 3. Comportamiento a fusariosis de la espiga de cultivares comerciales de trigo sembrados en Uruguay, 2010.

Denominación	Código	Nivel de infección ¹ Fus
BIOINTA 1002	JN 1005	² A
BIOINTA 1001	J 0044	A
Baguette 9	NT 402	A
INIA Mirlo		A
INIA Don Alberto	LE 2331	A
Nogal	FD002112	A
Klein Tauro		IA
Klein Chajá	KH 8008 A 20	IA
Baguette Premium 13		IA
Centauro		IA
LE 2354		IA
Klein Castor		I
Atlas		I
ACA 901		I
INIA Churrinche	LE 2249	I
INIA Madrugador	LE 2332	I
BIOINTA 1004	P 4378	I
Baguette 17	NT 508	I
INIA Carpintero	LE 2333	I
Baguette Premium 11		I
Klein Flecha		I
Baguette 18	NT 507	IB
Fundacep Cristalino		IB
Baguette 19	NT 401	BI
Safira	ORL 98204	BI
Onix		BI

Denominación	Código	Nivel de infección ¹ Fus
BIOINTA 3004		² A
PROINTA Puntal		A
BIOINTA 3000		IA
INIA Tijereta	LE 2210	IA
LE 2346		IA
Klein Capricornio		I
Klein Martillo		I
INIA Gorrión	LE 2245	I
Klein Gaviota		IB
Buck Guapo		BI
Klein Proteo		BI
Calprose Tropero		BI
INIA Garza	LE 2313	BI
INIA Chimango	LE 2325	BI
Buck Charrúa		B

¹ Fus, *Fusarium* spp.

² Nivel de infección A: Alta, I: Intermedia, B: Baja o resistente.

Fuente: Modificado de Castro *et al.*, 2010a.

Cebada

Al igual que en trigo sería deseable seleccionar los cultivares con menor susceptibilidad a fusariosis de la espiga. En este sentido se ha puesto especial énfasis en a) **caracterizar** a los cultivares en producción y en evaluación de los distintos programas de mejoramiento genético (PMG) frente a fusariosis de la espiga, con el fin de asistir en la toma de decisiones de planes de siembra de las empresas así como también en el manejo sanitario del cultivo y b) **incorporar resistencia** a fusariosis de la espiga en materiales del PMG de INIA. En relación al primer punto, el comportamiento sanitario se evalúa en los ensayos de INIA-INASE, en dos viveros de campo (uno de ellos con dos repeticiones para la obtención confiable de datos de contenido de DON) y en pruebas en invernáculo de los tipos de resistencia I (resistencia a infección en la espiga) y II (re-

sistencia a la dispersión de la enfermedad en la espiga). Si bien en cebada el tipo de resistencia II es de menor importancia que en trigo, se han identificado algunos materiales con este tipo de resistencia en cebada.

La información generada se difunde anualmente de la forma que se presenta en el Cuadro 4. Se destaca el hecho de que a excepción de un material, todos los materiales a nivel de producción presentan niveles de infección de intermedios a altos.

Con respecto a la **incorporación de resistencia** a fusariosis de la espiga en germoplasma adaptado, las fuentes de resistencia se identifican en las colecciones antes mencionadas y se busca incrementar el nivel de resistencia combinando resistencia de distintas fuentes sin descuidar adaptación y calidad mediante cruces simples por la complejidad del carácter. Se han utilizado

Cuadro 4. Comportamiento de los cultivares de cebada en producción frente a fusariosis de la espiga.

Variedad	Nivel de infección
INIA Ceibo (CLE 202)	IA ¹
INIA Arrayán (CLE 233)	I
MUSA 936	IA
Norteña Carumbé	A
Norteña Daymán	IA
Ackermann Madi	IA
INIA Guaviyú (CLE 240)	I
Barke	I
MP 1010	BI

¹Nivel de infección: B: bajo; I: intermedio; A: alto.
Fuente: modificado de Castro *et al.*, 2010b.

fuentes de distinto origen: provenientes de ICARDA/CIMMYT con resistencia mayormente proveniente de distintas fuentes chinas y japonesas (Gob/Humai10/3/Mpyt169.1Y/Laurel/Olmo/4/Canela; Canela/Zhedar2, otras) así como líneas locales que han presentado consistentemente buen comportamiento frente a fusariosis de la espiga como CLE 226 y CLE 231.

Prácticas Culturales

Manejo del rastrojo y Rotación de cultivos

La rotación con cultivos no susceptibles es una forma de eliminar al huésped, dándole tiempo suficiente a los microorganismos del suelo para mineralizar el rastrojo, principal reservorio de los hongos que sobreviven y se multiplican en él (necrotrofos) como los causales de la fusariosis de la espiga. Esta práctica es una herramienta **medianamente eficaz** para el control de la fusariosis de la espiga ya que el hongo causal de esta es capaz de sobrevivir sobre un rango de huéspedes muy amplio, lo que asegura alta probabilidad de inóculo presente. Sin embargo, se ha constatado que en años normales, los niveles de fusariosis de la espiga son significativamente mayores sobre rastrojo de

maíz, trigo y cebada respecto a rastrojos como girasol y pasturas convencionales (trébol blanco, lotus y festuca) (Pereyra y Dill-Macky, 2008).

En base a estudios epidemiológicos, **un periodo de un invierno, preferentemente dos sin cultivos susceptibles** sería suficiente para disminuir sustancialmente la carga de inóculo en la chacra (Pereyra y Dill-Macky, 2008).

Control químico

El control de la fusariosis de la espiga debe ser preventivo si los pronósticos prevén condiciones predisponentes o mediante consultas a DONcast.

Trigo

Los primeros fungicidas recomendados para el control de la fusariosis de la espiga fueron los benzimidazoles. Pero la eficiencia de control que mostraban a nivel de laboratorio o invernáculo no se manifestaba a campo, ya sea por factores como el clima al momento de las aplicaciones, el estado fenológico del cultivo, la sistemía de los productos en la espiga, etc. El primer triazol que presentó un mejor comportamiento que los benzimidazoles fue el tebuconazol

(Silvacur) (C. Perea, com. pers). En el presente los principios activos disponibles en el país con mayor eficiencia de control de fusariosis de espiga y menor contenido de toxina DON son el tebuconazol y el metconazol.

La morfología de la espiga y la capacidad de los productos de ingresar en la misma o permanecer protegiéndola externamente en las condiciones favorables para la enfermedad, son algunos factores que limitan el control de la misma. En La Estanzuela se han probado diferentes productos y momentos de aplicación y diferentes boquillas para aplicaciones.

En el 2009 se instaló un experimento en INIA La Estanzuela en siembra normal (13/07/2009) con la línea experimental LE2294 (INIA Condor). El diseño del ensayo fue de bloques al azar con cuatro repeticiones, con tamaño de parcela de 5.1 m². Las aplicaciones de fungicidas se hicieron en estado de principio de floración (Z61) el 30/10, una se-

mana después el 09/11 a fin de floración (Z65), y un tratamiento consistió en la aplicación en ambos estados. Las aplicaciones se realizaron con mochila de presión constante y picos de doble abanico, con 230 l/ha de agua. La primera aplicación se realizó a la hora 11:20, con 23°C de temperatura, humedad relativa 73% y velocidad del viento 2.2 km/h. La segunda aplicación se realizó a la hora 11:00, con 24.4°C de temperatura, humedad relativa 61% y velocidad del viento 9 km/h. Se cosecharon las parcelas completas. El ensayo se implantó bien, y el desarrollo de fusariosis de la espiga fue aceptable, lo que permitió una buena evaluación de la eficiencia de control de los fungicidas. Se realizaron dos evaluaciones a campo de fusariosis de la espiga con escala visual de 05/05 y en el laboratorio se evaluó porcentaje de granos con *Fusarium* spp. y toxina DON. Se estimó el rendimiento, peso hectolítrico, peso de 1000 granos y porcentaje de proteína. Los resultados se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de ensayo de prueba de fungicidas y momento de aplicación para el control de fusariosis de la espiga. La Estanzuela, 2009.

Tratamientos	Momentos	Fus Visual ¹		Granos		DON ³		REND ⁴		PH ⁵		PMS ⁶		Proteína	
		CIFUS ²		% FUS		ppm		kg/ha		kg/hl		g		%	
CARAMBA	Z 61	14.0	DE	12.1	BC	11.0	ABCD	4321	AB	76.6	ABC	31.5	BCD	12.6	AB
CARAMBA	Z 65	19.5	DE	10.3	CD	9.0	BCD	4341	AB	75.4	BCD	30.9	BCDE	13.0	AB
CARAMBA	Z61 + Z65	4.0	E	7.6	D	7.3	D	4656	A	77.8	AB	33.8	A	12.8	AB
ZORAZ + CARBENDAZIM	Z 61	27.5	CD	12.9	BC	11.5	ABC	3843	BCD	75.7	ABCD	29.4	E	12.5	B
ZORAZ + CARBENDAZIM	Z 65	46.5	B	13.5	BC	11.0	ABCD	3879	BCD	77.3	ABC	31.0	BCDE	12.7	AB
ZORAZ + CARBENDAZIM	Z61 + Z65	13.5	DE	9.9	CD	7.0	D	4143	ABC	77.9	AB	31.8	BC	12.8	AB
TESTIGO		67.5	A	19.6	A	14.5	A	3486	D	73.4	D	27.5	F	13.2	A
Fungicidas		Fus Visual		Granos		DON		Rend.		PH		PMS		Proteína	
		CIFUS ²		% FUS		ppm		kg/ha		kg/hl		g		%	
CARAMBA		12.5	B	10.0	B	9.1	B	4439	A	76.6	A	32.1	A	12.8	A
ZORAZ + CARBENDAZIM		29.2	A	12.1	A	9.8	B	3955	B	76.9	A	30.8	B	12.7	A
TESTIGO		67.5		19.6		14.5		3486		73.4		27.5		13.2	
Momentos		Fus Visual		Granos		DON		Rend./há		PH		PMS		Proteína	
		CIFUS ²		% FUS		ppm		kg/ha		kg/hl		g		%	
Z 61		31.4	A	13.3	A	12.1	A	3937	B	75.6	B	30.1	B	12.7	A
Z 65		33.1	A	12.3	A	11.5	A	4068	B	76.4	B	31.0	B	12.9	A
Z61 + Z65		13.8	B	10.5	B	7.3	B	4430	A	77.9	A	32.5	A	12.7	A
TESTIGO		67.5		19.6		14.5		3486		73.4		27.5		13.2	

¹Fus Visual: Fusariosis visual escala 0-5/0-5.
²CIFUS: Coeficiente de infección de Fusariosis.
³DON: Deoxinivalenol.
⁴Rend: Rendimiento en grano.
⁵PH: Peso hectolítrico.
⁶PMS: Peso de 1000 semillas.

Valores de medias seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes por M.D.S. al 0.05.

Los mejores resultados fueron obtenidos con las boquillas doble abanico, seguidos por las de abanico plano. Las boquillas de cono hueco utilizadas para aplicaciones al follaje no resultaron tan eficientes. Respecto al momento de aplicación las dobles aplicaciones a Zadoks 61 (inicio de floración) y Zadoks 65 (plena floración) fueron las más eficientes, pero el análisis económico mostró que dentro de las aplicaciones únicas, la de Z61 fue más eficiente y más rentable. Estos resultados confirman la información de los experimentos realizados anteriormente.

En cuanto a los productos, se han probado muchos incluidos experimentales pero hasta la fecha el metconazol, el tebuconazol y recientemente una mezcla han mostrado ser superiores a los benzimidazoles solos.

Cebada

El momento más adecuado para la aplicación de fungicidas para el control de fusariosis de la espiga de cebada es espigazón, cuando el 50% de las espigas

se encuentran fuera de la vaina. Las aplicaciones dobles, en espigazón y luego a fin de espigazón (100% de las espigas fuera de la vaina), han dado las mayores eficiencias de control. Sin embargo, a diferencia de trigo, la adopción de aplicación de fungicidas dirigida al control de fusariosis de la espiga ha sido muy baja.

En el Cuadro 6 se presentan el comportamiento de diferentes fungicidas evaluados por al menos dos zafras con altos niveles de fusariosis de la espiga en cebada en el período 1998-2009.

CONSIDERACIONES FINALES

La fusariosis de la espiga es actualmente una de las enfermedades que presenta más desafíos para su control. Es importante la adopción de todas las medidas de manejo disponibles ya que ninguna práctica es por sí sola totalmente efectiva para su control.

Cuadro 6. Eficiencia de control de distintos fungicidas evaluados por al menos dos zafras para el control de fusariosis de la espiga en cebada en INIA La Estanzuela (1998-2009).

Ingrediente activo (<i>nombre comercial evaluado</i>)	DOSIS (cc/ha)	E.C. ¹
Metconazol (<i>Caramba</i>)	1000	A-I
Tebuconazol (<i>Folicur</i>)	450	I-A
Tebuconazol (<i>Silvacur 25EW</i>)	750	I-A
Tebuconazol (<i>Orius</i>)	750	I-A
Flusilazol + carbendazim (<i>Fusión</i>)	800-1000	I ²
Azoxistrobin (<i>Amistar</i>)	400	B
Piraclostrobin + epoxiconazol (<i>Opera</i>)	1000	I
Kresoxim-metil + epoxiconazol (<i>Allegro</i>)	1000	I

¹ Eficiencias de control (EC): A: ALTA (>80%); I: INTERMEDIA (80-60%); B: BAJA (<60%).

²: Información de un año.

BIBLIOGRAFÍA

- ARTHUR, J. C.** 1891. Wheat scab. Indiana Agricultural Experimental Station Bulletin 36:129-132.
- ANDERSEN, A. L.** 1948. The development of *Gibberella zeae* headblight of wheat. Phytopathology 38: 595-611.
- BOERGER, A.** 1928. Observaciones sobre agricultura, quince años de trabajos fitotécnicos en Uruguay. Montevideo. 436 p.
- BOYACIOGLU, D.; HETTIARACHY, N.S.; STACK, R.W.** 1992. Effect of three systemic fungicides on deoxynivalenol (vomitoxin) production by *Fusarium graminearum* in wheat. Can.J.Plant Sci.72: 93-101.
- BUSHNELL, W.; HAZEN, B.; PRITSCH, C.** 2003. Histology and physiology of Fusarium head blight. En: K. Leonard and W. Bushnell, eds. Fusarium head blight of wheat and barley. APS Press. St.Paul, p. 44-83.
- CASTRO, M.; DÍAZ, M.; GERMÁN, S.; VÁZQUEZ, D.** 2010a. II. Resultados experimentales de evaluación de cultivares de trigo período 2007-2008-2009. En: Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigos, cebadas y colza de los 3 últimos años período 2007-2008-2009. Resultados Experimentales N°10. INASE INIA Uruguay, abril de 2010. 129 p.
- CASTRO, M.; GERMÁN, S.; PEREYRA, S.; VÁZQUEZ, D.** 2010b. II. Resultados experimentales de evaluación de cultivares de cebada período 2007-2008-2009. En: Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigos, cebadas y colza de los 3 últimos años período 2007-2008-2009. Resultados Experimentales N 10. INASE INIA Uruguay, abril de 2010. 129 p.
- DE WOLF, E.; MADDEN, L.; LIPPS, P.** 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.; PAVAN, W.** 2005. A risk infection simulation model for Fusarium head blight of wheat. Fitopatologia Brasileira 30: 634-642.
- DETRIXHE, P.; CHANDELIER, M.; CAVELIER, M.; BUFFET, D.; OGER, R.** 2003. Development of an agro-meteorological model integrating leaf wetness duration estimation to assess the risk of head blight infection in wheat. Asp. Applied Biol. 68: 199-204.
- DÍAZ DE ACKERMANN, M.** 1996. Golpe blanco de la espiga del trigo, causado por *Gibberella zeae* (Schw.) Petch. estado perfecto de *Fusarium graminearum* Schw. En: M. Díaz (ed.). Manejo de enfermedades de invierno y pasturas. Montevideo, Unidad de Difusión e información Tecnológica del INIA, v. 1, p. 79-86.
- DÍAZ DE ACKERMANN, M.** 2003. Manchas foliares y fusariosis de la espiga. En: M. M. Kohli; M. Díaz; M. Castro, (eds.). Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo: un enfoque multidisciplinario. Montevideo. Hemisferio Sur 2003. p. 371-380.
- DÍAZ DE ACKERMANN, M; KOHLI, M.** 1997. Research on Fusarium Head Blight of Wheat in Uruguay. En: Dubin, H. J., Gilchrist, L., Reeves, J.; McNab, A. (eds.) Fusarium head scab: Global status and future prospects. CIMMYT, DF, Mexico. p.13 -18.
- GILCHRIST, L.; RAJARAM, S.; MUJEEBKAZI, M.; VAN GINKEL, M.; VIVAR, H.; PFEIFFER, W.** 1997. Fusarium Scab Screening Program at CIMMYT. En: Dubin, H. J., Gilchrist, L., Reeves, J.; McNab, A. (eds.) 1997. Fusarium head scab: Global status and future prospects. CIMMYT, DF, Mexico. p. 7 -12.
- GJERTSEN, P.; TROLLE, B.; ANDERSEN, K.** 1965. Studies on gushing caused by microorganisms, specially *Fusarium* species. En: Proceedings of the European Brewery Convention Congress, Stockholm. p. 428-438.
- HAIKARA, A.** 1980. Gushing induced by fungi. En: European Brewery Convention Monograph VI, p. 251-259.
- HOOKE, D. C.; SCHAAFSMA, A. W.; TAMBURIC-ILINCIC, L.** 2002. Using weather variables pre- and post-heading to predict deoxynivalenol in winter wheat. Plant Dis. 86: 611-619.

- KELLER, M. D.; WAXMAN, K. D.; BERGSTROM, G.; SCHMALE, D. G. III.** 2010. Local distance of wheat spike infection by released clones of *Gibberella zeae* disseminated from infested corn residue. *Plant Dis.* 94: 1151-1155.
- KLEM, K.; VANOVA, M.; HAJŠLOVA, J.; LANCOVA, K.; SEHNALOVA, M.** 2007. A neural network model for prediction of deoxynivalenol content in wheat grain based on weather data and preceding crop. *Plant Soil Environment.* 53: 421-429.
- MATHRE, D. E. (ED.)** 1997. Compendium of barley diseases. 2nd ed. APS Press. St. Paul, MN. 90 p.
- MCMULLEN, M.; JONES, R.; GALLENBERG, D.** 1997. Scab of wheat and barley: A reemerging disease of devastating impact. *Plant Dis.* 81:1340-1348.
- MOSCHINI, R. C.; FORTUGNO, C.** 1996. Predicting wheat head blight incidence using models based on meteorological factors in Pergamino, Argentina. *Eur. J. Plant Pathol.* 102: 211-218.
- MUSA, T.; HECKER, A.; VOGELGSANG, S.; FORRER, H. R.** 2007. Forecasting of Fusarium head blight and deoxynivalenol content in winter wheat with FusaProg. *Bulletin OEPP/EPPO.* 37: 283-289.
- O'DONNELL, K.; WARD, T.J.; GEISER, D.M.; KISTLER, H.C.; AOKI, T.** 2004. Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum* clade. *Fungal Genet. Biol.* 41: 600-623.
- PEREYRA, S.** 2003. Prácticas culturales para el manejo de la fusariosis de la espiga. En: *Jornada Técnica de Cultivos de Invierno.* Abril 2004, INIA Uruguay. Serie Actividades de Difusión N° 312. p. 1-9.
- PEREYRA, S. A.** 2005. Epidemiological and ecological studies on pathogenic Fusaria causing Fusarium head blight of wheat and barley in Uruguay. *PhD Dissertation.* University of Minnesota. St. Paul. 131 p.
- PEREYRA, S.; DÍAZ DE ACKERMANN, M.** 2010. Fuente de resistencia a *Fusarium* y bajo contenido de toxinas. En: Proyecto Regional de trigo, 2009, La Estanzuela, Colonia. Taller Final. 2009. 47 p.
- PEREYRA, S. A.; DILL-MACKY, R.** 2008. Colonization of the residues of diverse plant species by *Gibberella zeae* and their contribution to Fusarium head blight inoculum. *Plant Dis.* 92:800-807.
- PEREYRA, S.; STEWART, S.** 2004. Manejo de enfermedades en cebada. En: *Jornada Técnica de Cultivos de Invierno.* Abril 2004, INIA Uruguay. Serie Actividades de Difusión N° 357. p. 2-11.
- PEREYRA, S.A.; VERO, S.; GARMENDIA, G.; CABRERA, M.; PIANZOLLA, M.J.** 2006. Diversity of Fungal Populations Associated with Fusarium Head Blight in Uruguay. En: T. Ban, J.M. Lewis, E.E. Phipps (eds.) *The Global Fusarium Initiative for International Collaboration: A Strategic Planning Workshop held at CIMMYT, El Batán, Mexico; March 14 - 17, 2006.* Mexico, D.F. CIMMYT. p. 35-41.
- PIÑEIRO, M.** 1997. *Fusarium* toxins in Uruguayan wheat. En: H. J. Dubin, L. Gilchrist, J. Reeves, A. McNab (eds.). *Fusarium head scab: Global status and prospects.* CIMMYT, DF, Mexico. p.125-128.
- PRITSCH, C.** 1995. Variabilidad patogénica en *Fusarium* spp. agente causal del golpe blanco del trigo. *FPTA-INIA.* Informe final 79 p.
- REIS, E. M.** 1986. Metodologia para determinação de perdas causadas em trigo por *Gibberella zeae*. *Fitopatol. bras.* 11: 951-955.
- REIS, E. M.** 1988. Doenças do trigo III. Giberela. 2ª edição. Sao Paulo. 13p.
- SARTORI, J.F.** 1982. Giberella. En: *Trigo no Brasil.* Fundação Cargill, Campinas, Brasil. Vol. 1. p. 537-541.
- SCHAAFSMA, A. W.; HOOKER, D.C.** 2007. Climatic models to predict occurrence of Fusarium toxins in wheat and maize. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 116-125.
- SCHAAFSMA, A. W.; HOOKER, D.C.; PIÑEIRO, M.; DÍAZ DE ACKERMANN, M.; PEREYRA, S.; CASTAÑO, J.P.** 2006. Pre-harvest forecasting of deoxynivalenol for regulatory action in wheat grain in Uruguay using readily available weather inputs. En: H. Njapeu, S. Trujillo,

- H. P. van Egmond and D. L. Park, (eds.). Mycotoxins and Phycotoxins: Advances in determination, toxicology and exposure management. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. p. 227-238.
- SCHROEDER, H. W.; CHRISTENSEN, J. J.** 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53:831-838.
- SCHWARZ, P.B.; CASPER, H.H.; BEATTIE, S.** 1995. The fate and development of *Fusarium* mycotoxins during malting and brewing. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 53: 121-127.
- SHANER, G. E.** 2003. Epidemiology of *Fusarium* head blight of small grain cereals in North America. En: K. Leonard and W. R. Bushnell (eds.). *Fusarium head blight of wheat and barley*. APS Press. St. Paul. p 84-119.
- STEWART, S. y PIÑEIRO, M.** 1995. Mico-toxinas en la cebada: Estabilidad de la toxina DON en el proceso de malteo. En: VI Reunión Nacional de Investigadores de cebada. Montevideo, Uruguay. p. 110-111.
- SUTTON, J. C.** 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Can. J. Plant Pathol.* 4: 195-209.
- TAVELLA, C.M.; GONNET, M.; DÍAZ, M.** 1979. El Golpe Blanco en Trigo. *Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos*. Uruguay. 13: 3-6.
- TEKAUZ, A.; MCCALLUM, B.; GILBERT, J.** 2000. Review: *Fusarium* head blight of barley in western Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 22: 9-16.
- UMPIERREZ, M.; GARMENDIA, G.; RODRIGUEZ, A.; VERO, S.; PEREYRA, S.** 2010. Las técnicas moleculares en el estudio de los patógenos: ejemplos en patógenos de trigo. En: S. Pereyra; M. Díaz; S. Germán; K. Cabrera (eds.). *Manejo de enfermedades de trigo y cebada*. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo.
- VERGES, R.** 1983. Mejoramiento para resistencia al golpe blanco en trigo. Informe presentado en Seminario sobre mejoramiento de trigo de los países del Cono Sur. IICA/Cono Sur /BID. E.E. La Platina, Chile. 24-28 de octubre de 1983.