

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.

Moschini R. C.¹; Castellarín J. M.²; Martínez M. I.¹ y Ferraguti F.²

¹ Técnicos del Instituto de Clima y Agua INTA Castelar; ² Técnicos de la EEA Oliveros INTA.

► Palabras clave: trigo, Fusariosis, sistema de pronóstico.

Introducción

En Argentina, el principal agente causal de la enfermedad conocida como fusariosis de la espiga de trigo (FET) es el hongo *Fusarium graminearum* (Schwabe), anamorfo de *Gibberella zeae* (Schw.) Petch.

La FET es una enfermedad compleja y multifacética, pues no sólo afecta al rendimiento y calidad de la producción granaria, sino también a la salud humana y animal por acción de las micotoxinas (como el deoxinivalenol: DON) ligadas al hongo.

Algunas estrategias de manejo de la FET, tienen limitaciones para actuar sobre este complejo fúngico/micotoxina en forma efectiva. A nivel mundial pocas variedades de trigo tienen un aceptable nivel de resistencia, habiendo comportamientos diferenciales en los materiales argentinos, con predominio de cultivos susceptibles a moderadamente susceptibles. La rotación de cultivos no es una práctica de control de la FET muy eficaz 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 anéctis pueden ayudar a prevenir pérdidas económicas, pero su efica-

cia depende del momento de aplicación y tecnología para lograr una buena cobertura de la espiga (Del Ponte *et al.*, 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 ecológica-económicas.

La naturaleza esporádica de la FET, asociada fuertemente al factor ambiental, estimularon en Argentina el desarrollo de sistemas de pronóstico empíricos (Moschini y Fortugno, 1996) y fundamental-empíricos (Moschini *et al.*, 2002) para estimar la incidencia de la enfermedad y el índice de Fusarium ($IndF = Incidencia * Severidad$), respectivamente (validados y ajustados por Moschini *et al.*, 2001; Moschini *et al.*, 2004; Carranza *et al.*, 2007). Ambos sistemas de pronóstico de la FET identifican eventos infectivos por mojado de la espiga, combinando la ocurrencia de precipitación y altos registros de humedad relativa (reemplazada por amplitud térmica en Moschini *et al.*, 2008). La variable hídrica (PMoj:



cuenta los períodos de mojado de dos días con ocurrencia simultánea de precipitación y $HR > 81\%$ en el primer día y $HR \geq 78\%$ en el segundo día) de la ecuación empírica desarrollada por Moschini y Fortugno (1996), es utilizada en la práctica para el manejo de la FET.

En el sur de la región pampeana, González Montaner (2004) explicó que decisiones de manejo sanitario del trigo son tomadas al verificarse al menos dos eventos infectivos o períodos de mojado de dos días (PMoj), complementado con valores promedio de humedad relativa, en los 10 días previos a antesis, superiores a 70% y 80% para trigo candeal y pan respectivamente. Igualmente, Mazzilli *et al.* (2011) concluyeron en Uruguay que considerando el criterio de no aplicación de fungicidas hasta que ocurran dos eventos infectivos (PMoj), se evitó el control químico en 22 de las 28 fechas de floración analizadas (2003-2006), sin generar diferencias en los niveles de infección con respecto al control preventivo a inicios de floración.

El uso de la ecuación empírica permitió evitar aplicaciones innecesarias (igual índice de infección entre el tratamiento sin aplicación de fungicida y el de control químico preventivo a inicios de floración) en el 25% de las situaciones evaluadas.

El sistema de pronóstico fundamental-empírico permite cuantificar la evolución del proceso múltiple de infección (evento por evento infectivo). Para el lapso previo a cada evento infectivo, se esclarece la potencial acción sobre el Índice de Fusarium de una situación meteorológica pronosticada. Post inoculación, pero antes de la visualización de síntomas, se podrá realizar un control químico inmediato en función del valor acumulado del índice de Fusarium y de la intensidad del último evento infectivo analizado. En este trabajo se estimaron los valores de índice de fusarium (IndFP%) mediante el sistema de pronóstico fundamental empírico que simula la duración de mojado de la espiga por la ocurrencia simultánea de precipitación con altos registros de humedad relativa del aire (con HR) o con valores umbrales de amplitud térmica (con AT). Dichos valores de IndFP% fueron contrastados con los observados en numerosos cultivos de trigo susceptibles en Oliveros en la campaña 2011/12.

Con el sistema fundamental empírico con HR se confeccionaron mapas de la región pampeana para visualizar la distribución espacial estimada del índice

de Fusarium en dicha campaña y la potencialidad climática de la región respecto a la enfermedad, para fechas de espigazón temprana y media.

Validación de sistemas de pronósticos del índice de Fusarium en Oliveros en 2011/12

Índice de Fusarium observado (IndFO%)

La incidencia (% de espigas afectadas) y severidad (% de espiguillas afectadas en las espigas enfermas) de la FET fue registrada (tres repeticiones) en varios cultivares comerciales de trigo en Oliveros, en 2011/12. El IndFO por cultivar resultó de multiplicar los valores máximos (de las tres repeticiones) de incidencia y severidad, dividido 100. Los cultivares se agruparon por similar fecha de espigazón (FEsp +/- 1 día) y se calculó la media de los IndFO (Tabla 1).

Índice de Fusarium Predicho (IndFP%) (fundamental-empírico)

La metodología desarrollada por Moschini *et al.* (2002) para calcular el IndFP% final para cada una de las cuatro fechas de espigazón analizadas, se opera a partir de datos meteorológicos diarios de temperaturas máxima (Tx) y mínima (Tn), precipitación (Pr) y humedad relativa (HR) del observatorio de la EEA INTA Oliveros. La temperatura media diaria (Td) surge de la semisuma de Tx y Tn

1. *Cálculo del progreso diario del % de espigas con anteras expuestas (%EspAnt):* se generalizaron las conclusiones hechas en un lote de trigo Klein Volcán (INTA Castelar, año 2000), donde se evaluó la evolución de la espigazón (%Esp: % de espigas emergidas) y de la antesis (%EspAnt). Se ajustó una función polinómica entre el logit de la proporción de espigas con anteras (EspAnt, valores de 0 a 1) y el tiempo dado en grados día (GD). El progreso diario del %EspAnt comienza a estimarse en el período susceptible de infección (**PSI**) que se inicia 4 días antes de la fecha de plena espigazón y finaliza cuando se acumulan 530 GD (se suman las Td diarias $\geq 12^\circ\text{C}$; en el sur de región pampeana: 450 GD: se acumulan las $Td \geq 10^\circ\text{C}$).

$$\text{LogitAnt} = - 6,765052912 + 0,136395967 * \text{GD} - 0,000694621 * \text{GD}^2 + 0,000001384 * \text{GD}^3 - 0,000000001 * \text{GD}^4$$

Ec. [1]



Donde: *LogitAnt* es el logaritmo natural de (*EspAnt* / 1-*EspAnt*), $GD2=GD*GD$; $GD3=GD2*GD$, $IGD= GD*GD3$. El %*EspAnt* se obtiene resolviendo: $(EXP(LogitAnt) / (1+EXP(LogitAnt))) * 100$.

2. **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=18hs a 72 hs) 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 hs y la T en °C, como efectos individuales e interactivos

$$\text{LogitSev} = 38,77166158 - 0,53815698 * DM - 6,02985565 * T + 0,26849793 * T^2 - 0,00396097 * T^3 + 0,04990941 * IT - 0,00092343 * IT^2$$

Ec. [2]

LogitSev: logaritmo natural de (Sev/1-Sev); $T^2=T*T$; $T^3=T^2*T$; $DM^2=DM*DM$; $IT=T*DM$; $IT^2=T^2*DM$.

3. **El Índice de Fusarium predicho final (IndFP%)** surge de sumar los productos (%*EspAnt***SevP*%) / 100 calculados para todos los períodos de mojado hallados en el PSI (análisis realizado sobre cada una de las 4 fechas de espigazón analizadas en Tabla 1): $\text{IndFP\%} = \sum^n (\%EspAnt * SevP\%) / 100$, siendo n el número total de períodos de mojado infectivos registrados a lo largo del PSI.

Simulación del mojado de espiga combinando ocurrencia de precipitación con HR (con HR)

Para utilizar la Ec. [2] 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 del observatorio de Oliveros. A lo largo del período susceptible para la infección (PSI: lapso con disponibilidad de espigas con anteras) se definió que: 1 día con Pr (>=0,2mm) y HR >=81% equivale a una DM=24h; 2 días consecutivos con Pr y HR >=81%-- DM=48h; 3 días con Pr y HR >=81% --DM=72h. La máxima DM que se analiza es de 72h. Si a DM de 24 y 48h le preceden o suceden: Pr y HR <=77% o suceden HR >77, se agregan 3h de mojado. Se agregan 6 h con Pr y HR >77% y <=81% (previo o post).

Simulación del mojado de espiga combinando ocurrencia de precipitación con AT (con AT)

Se definen las DM y T medias en los lapsos de mojado (Ec. 2) a partir de los registros diarios de Pr y amplitud térmica (AT=Tx-Tn), no demandando HR. Se definió que: 1 día con Pr (>=0,2mm) y AT <7 °C equivale a una DM=24 hs; 2 días consecutivos con Pr y AT <7 °C ---- DM=48 hs; 3 días con Pr y AT <7 °C -----DM=72 hs. La máxima DM que se analiza es de 72 hs. Si a DM de 24 y 48 hs le preceden o suceden: Pr y AT >=7,5 °C o suceden AT <7.5 °C, se agregan 3 hs de mojado. Se agregan 6 hs con Pr y AT <7,5 °C y >=7 °C (previo o post).

Para ambas simulaciones, la temperatura en los períodos de mojado resulta del promediar las Td dia-



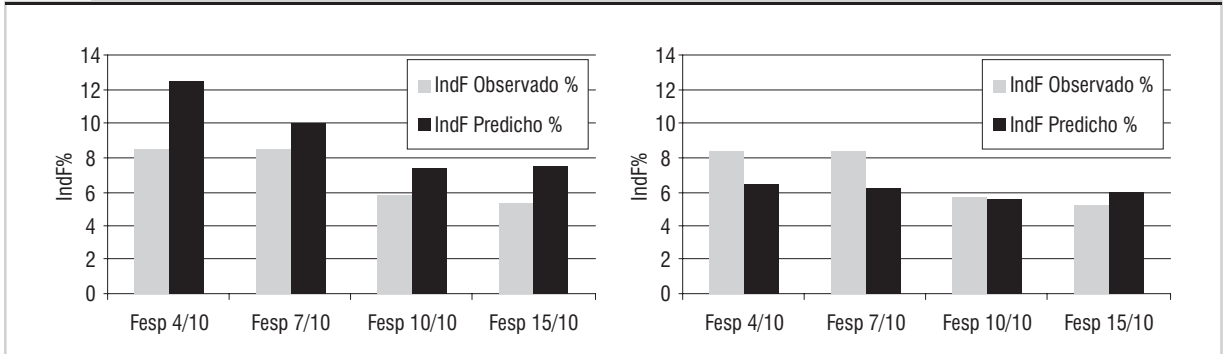
Tabla 1. Valores máximos observados (de las 3 repeticiones) y predichos (Con HR y Con AT) del Índice de Fusarium para la campaña 2011/12 en Oliveros. Se detallan las fechas de espigazón (FEsp +/- 1 día) en torno a la cual se agruparon los cultivares comerciales de trigo especificados al pie de la Tabla.

Fecha Espigazón	Cultivares* por grupo	Índice de Fusarium	
		Predicho Media	Observado
(+/- 1d)	Nº	Con HR	Con AT
		%	
4/10	5	8,5	12,4 6,6
7/10	8	8,5	10,0 6,3
10/10	3	5,8	7,4 5,7
15/10	5	5,3	7,5 6,0

Cultivares grupo 4/10: BioINTA 1005; BioINTA 1006, SR Bat 102; SR Bat 112; SRM 2333 (CL)- Cultivares grupo 7/10: SY300; D. M. Arex; Klein Tauro; D. M. Cronox; Klein Tigre; Klein Nutria; T185 (CL); Baguette 18 (CL). Cultivares grupo 10/10: Klein León; SRM 2331; Baguette 9 (CI); Cultivares grupo 15/10: Floripan 200 (CI); BioINTA 3005 (CL); Klein Pantera (CL); T185 (CI); Klein Guerrero (CL). Excepto especificadas, los cultivares son ciclo corto.



Figura 1. Valores de índice de fusarium observado (IndFO%) en cada fecha de espigazón contrastados con los predichos (IndFP%) por el sistema de pronóstico fundamental empírico en sus variantes con humedad relativa (con HR; izquierda) y amplitud térmica (AT; derecha) para combinar con la precipitación para identificar eventos infectivos (períodos de mojado)



rias, ponderadas por las h de mojado de cada día involucrado. Con $DM < 48h$ y $T < 15^{\circ}C$ se considera 90% del valor del índice de Fusarium calculado para $DM = 48h$. Para este estudio se fijó un valor umbral de Td en días de lluvia que inician un evento infectivo de 24h o más: si $Td > 20^{\circ}C$ entonces $Td = 20^{\circ}C$.

Resultados

Los mayores valores observados y predichos de índice de Fusarium se registraron en la campaña 2011/12 en trigos que espigaron más temprano (4 y 7 de octubre de 2011), reduciéndose el impacto de la enfermedad en cultivos que espigaron a partir del 10 de octubre. Para las cuatro fechas de espigazón (Fesp) analizadas, las predicciones del índice de Fusarium realizadas con el sistema fundamental-empírico con HR y con AT, reflejaron la tendencia de la dinámica de los valores observados, aunque con leve sobre y subestimación respectivamente (Tabla 1 y Figura 1).

Utilizando el sistema con HR se reconoció, para los cultivares que espigaron más temprano (hasta el 7/10), la ocurrencia de siete eventos infectivos, cinco con duraciones de mojado simuladas de solo 27 h y dos eventos más severos que correspondieron a períodos de mojado de 51 h y 48 h. No obstante, el evento infectivo de 51 h (fecha de espigazón: 4/10) explicó casi la mitad del IndFP% total, debido a la duración del mojado (dos días consecutivos con precipitación y $HR \geq 81\%$) y a la alta temperatura media durante el evento de infección (alrededor de $18,5^{\circ}C$). Ambos días con precipitación (6-7/10) también coincidieron con alto % de espigas con anteras simulado (mayor sustrato para el hongo). Con espigazón

más tardía se reducen los eventos infectivos de 27 h, comienza a diluirse el impacto del evento de 51 h (menos espigas con anteras) hasta desaparecer con espigazón el 15/10 y gradualmente a incrementarse el efecto del evento de 48 h (24-25/10).

A nivel de lote, el comienzo del PSI debe coincidir con la observancia de las primeras espigas con anteras expuestas. La búsqueda de predicciones de niveles categorizados de enfermedad a través de los sistemas de pronóstico, sin exigir absoluta precisión matemática en dichas estimaciones, se fundamenta en la variabilidad intrínseca existente en la definición de cada componente del tetraedro epidémico en este patosistema. Esta variabilidad se focaliza en las propias observaciones de la enfermedad (gran variabilidad entre observaciones en repeticiones), en los cambios observados en la agresividad y adaptación térmica de nuevas cepas de este hongo y en las distintas longitudes del período susceptible del trigo en respuesta al complejo sistema interactivo cultivar-ambiente.

Aplicaciones de los sistemas de pronóstico del índice de Fusarium

Se utilizó la información meteorológica diaria (temperaturas máxima y mínima, precipitación y humedad relativa: promedio de las observaciones de la 9, 15 y 21 h) registrada en 37 estaciones del Servicio Meteorológico nacional (SMN) y del INTA. El sistema de pronóstico fundamental empírico con humedad relativa descrito precedentemente se corrió para dos fechas de plena espigazón (Fesp), una temprana y otra más tardía o media, coincidentes con el día en que se alcanza una acumulación térmica de 1250 y

1320 grados día respectivamente (se acumulan las temperaturas media diarias mayores a 0°C a partir del 1 de julio).

Distribución del índice de Fusarium predicho (IndFP%) en la región pampeana para la campaña 2011/12

El sistema de pronóstico fundamental empírico con HR se corrió para 37 sitios de la región, mapeándose seguidamente el índice de Fusarium predicho para las fechas de espigazón temprana y media. De acuerdo a la Figura 2, los mayores valores estimados de índice de Fusarium (IndFP%) se registraron en torno a Oliveros y Concepción del Uruguay (IndFP alrededor de 10%). Con fechas de espigazón más tempranas (mapa izquierda), aumentan los niveles de enfermedad estimados al SE de Córdoba (M. Juárez) y este de Entre Ríos. Hacia el sur de la región pampeana, los valores de IndFP estimados para la campaña triguera 2011/12 fueron ligeros a nulos, excepto algún ataque moderado predicho para el sector costero de Mar del Plata.

Riesgo climático de la región pampeana respecto a la FET

Mediante el sistema de pronóstico (fundamental empírico con HR) se estimaron los valores anuales de índice de Fusarium en las campañas 1971-2011

(41 años- 37 estaciones), para trigos de espigazón temprana y media. Seguidamente se calculó por sitio el porcentaje de años con un nivel de índice de Fusarium severo (Severo: IndFP > 10%). De acuerdo a la Figura 1, la zona de mayor riesgo climático se concentra en el cuadrante NE de la región pampeana, donde se estima que ocurren 4-6 epidemias severas en 20 años (20% a 30%), con los puntos más críticos concentrados en Concepción del Uruguay y Oliveros. En este cuadrante el riesgo climático es levemente menor en trigos de espigazón temprana. Las epidemias de la FET más severas observadas en el sector NE de la región pampeana, como las de los años 1978, 1985, 1993 y 2001, fueron también coincidentemente predichas por el sistema de pronóstico (en sitios como Oliveros, Pergamino, San Pedro, Concepción del Uruguay). Hacia el sur, la ocurrencia de ataques severos declina, esperando que ocurran 2 hasta 3 epidemias severas en 20 años (10% a 15%) en la subzona de mayor riesgo del SE bonaerense (Balcarce, Mar del Plata). En esta subzona, la más severa epifitias del año 1985 y las moderadas-severas epidemias de 1976 y 1977 fueron también satisfactoriamente predichas por el sistema de pronóstico con HR. Las subzonas con menor riesgo climático se ubican en el SO de Buenos Aires y SE de La Pampa.



Figura 2. Distribución de la Fusariosis de la espiga de trigo en la región pampeana en la campaña 2011/12, para cultivos de espigazón temprana (izquierda; 1250 grados día) y media (derecha; 1320 grados día). Se vuelca en cada mapa el índice de Fusarium (InfFP%) predicho por sistema fundamental empírico con humedad relativa calculado para 37 estaciones meteorológicas.

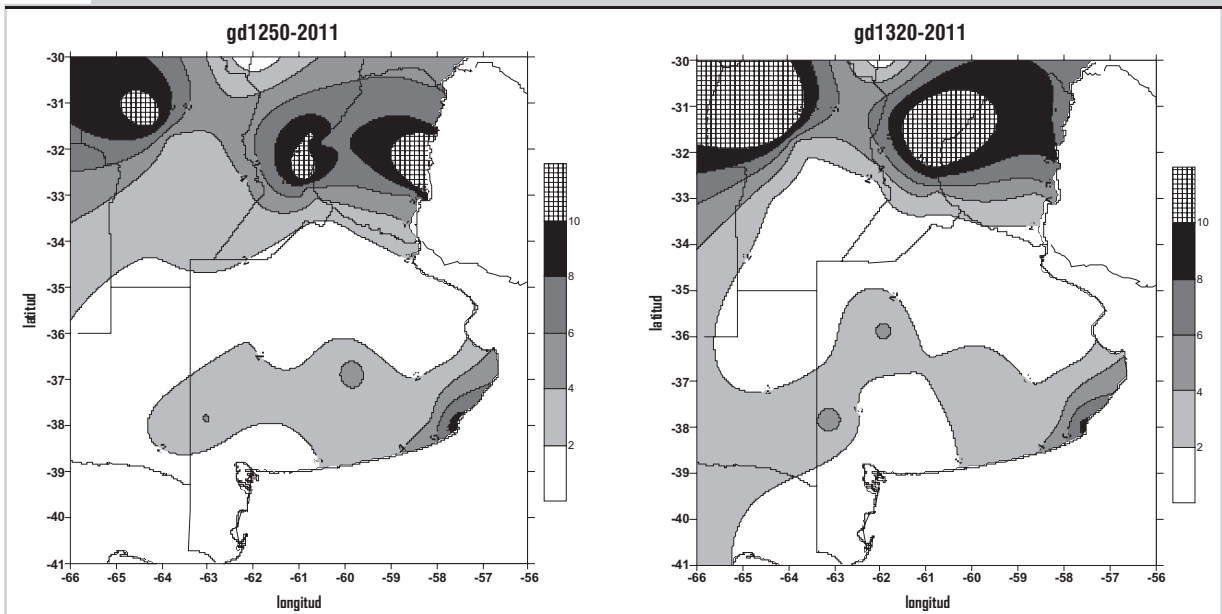
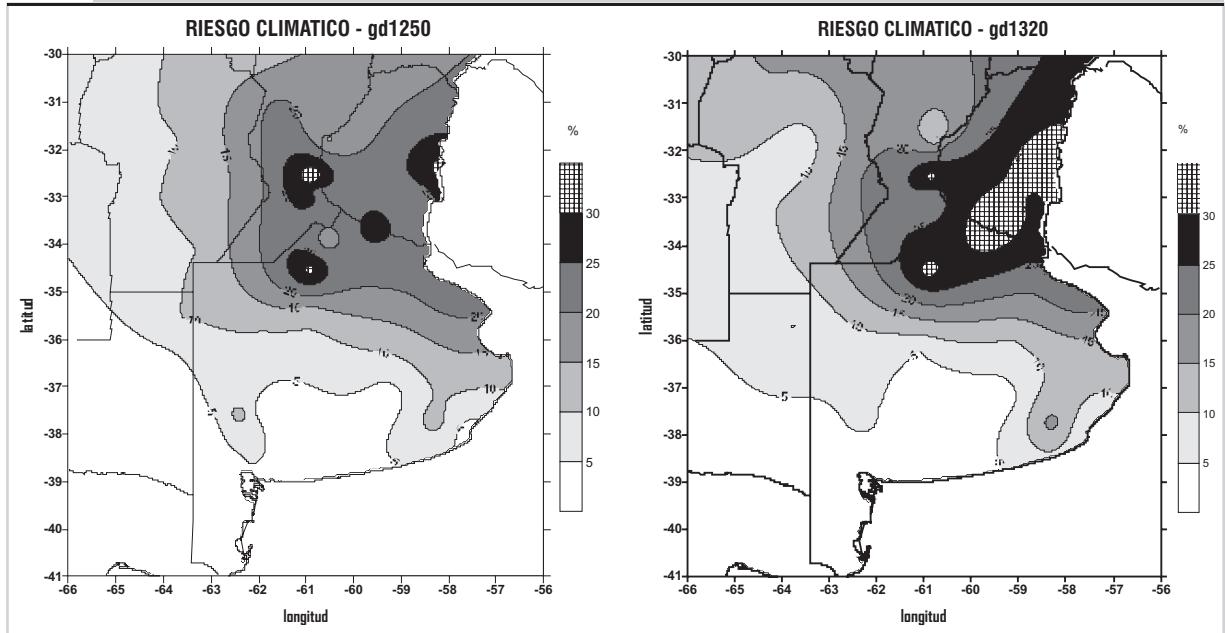




Figura 3. Riesgo climático de la región pampeana respecto a la Fusariosis de la espiga para trigos de espigazón temprana (izquierda; 1250 grados día) y media (derecha; 1320 grados día), estimado como el porcentaje de años con un nivel severo de índice de Fusarium (InfFP > 10%) predicho por sistema fundamental empírico con humedad relativa (serie 1971-2011; 37 estaciones meteorológicas).



Bibliografía

- 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.
- Carranza M.R., Moschini R.C., Kraan G., Bariffi J.H., 2007. Examination of meteorology-based predictions of Fusarium head blight of wheat grown at two locations in the southern Pampas region of Argentina. *Australasian Plant Pathology* 36:305-308.
- 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. 2004
- González Montaner J., 2004. Avances en el control de enfermedades en trigo. *Actas Congreso A Todo Trigo*. Mar del Plata, Argentina 2004: 43-54
- Mazzilli S., Pérez C., Ernst O., 2011. Una alternativa para optimizar el uso de fungicidas para controlar fusariosis de espiga en trigo. *Agrociencia*, 15, 2:60-68.
- 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., 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., Castellarán J., González M., Ferraguti F. y 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. 2008
- Reis E.M., Carmona M., 2002. Fusariosis del trigo. *Biología, epidemiología y estrategias para su manejo*. Buenos Aires. Argentina