

Recibido 10 de febrero de 2015 // Aceptado 10 de septiembre de 2015 // Publicado online 04 de noviembre de 2015

Variabilidad climática y expresión de la fusariosis de la espiga de trigo en la región pampeana

MOSCHINI, R.C.¹; MARTINEZ, M. I¹

RESUMEN

En Argentina, la fusariosis de la espiga de trigo (FET) es predominantemente causada por el hongo *Fusarium graminearum*. La naturaleza esporádica de la FET asociada a factores meteorológicos estimuló el desarrollo de modelos predictivos con base ambiental. Los eventos infectivos fueron identificados por el mojado de la espiga resultante de la ocurrencia sincrónica de precipitación y alta humedad relativa del aire alrededor de la antesis del trigo (período crítico susceptible para la infección). Valores de incidencia de la FET, predichos retrospectivamente (1932-2013) por el modelo en tres sitios de la región pampeana (Paraná, Pergamino y Mar del Plata), permitieron analizar el efecto del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y cambio climático sobre la enfermedad. Las líneas de tendencia de los valores predichos de incidencia de la FET mostraron ligeras pendientes positivas, con valores crecientes hacia el sur de la región. Los valores positivos de anomalía (diferencia entre la incidencia predicha anual de la FET y la mediana de la serie histórica) decrecieron hacia el sur en el primer subperíodo analizado (1932-1972) y se incrementaron en el segundo subperíodo (1973-2013). Gradualmente, hacia el sur de la región pampeana, valores de anomalía positivos y negativos se incrementan en años El Niño y La Niña respectivamente. Para explicar este comportamiento, se analizó el efecto de las dos fases extremas del fenómeno ENOS sobre la distribución de probabilidad de períodos secos (relación inversa con la FET). A partir de valores diarios de precipitación de la serie 1932-2013 (Paraná, Pergamino y Mar del Plata), agrupados por la ocurrencia de episodios El Niño o La Niña, las probabilidades condicionales de precipitación se ajustaron a modelos cadenas de Markov de primer orden y tendencia estacional. A partir de estos modelos se derivaron distribuciones de probabilidad de ocurrencia de períodos secos de al menos 7 días en lapsos de 15 días, para ambas fases. En los tres sitios, las diferencias entre las curvas de probabilidad de cada fase ocurrieron claramente en el bimestre noviembre-diciembre, donde la antesis del trigo tiene lugar en el sur de la región pampeana.

Palabras clave: fusariosis de la espiga de trigo, El Niño Oscilación del Sur, cambio climático, modelos cadena de Markov, períodos secos.

ABSTRACT

In Argentina, wheat Fusarium head blight (FHB) is predominantly caused by the fungus Fusarium graminearum. The sporadic nature of FHB in the Pampas region, associated to weather factors, led to the development of weather-based disease forecasting systems. Infective events were identified by head wetting resulting from synchronic occurrence of precipitation and high relative humidity, around wheat anthesis (susceptible criti-

¹Instituto de Clima y Agua. CIRN INTA Castelar. Los Reseros y Las Cabañas s/n. CP: 1686. Hurlingham Bs. As. Argentina.
E-mail: moschini.ricardo@inta.gob.ar.

cal period for infection). Retrospective model predictions (1932-2013) in three Pampas region sites (Paraná, Pergamino and Mar del Plata) were able to analyze the effect of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon and climate change on the disease. The trend lines of FHB incidence predictions showed light positive slopes, larger towards southern Pampas region. Positive values of annual anomalies (difference between annual predicted FHB incidence and the median of the historical series) decreased to the southern Pampas region in the first period analyzed (1932-1972) and increased in the second period (1973-2013). To the southern, positive and negative anomaly values increased in El Niño and La Niña years respectively. For explaining this behavior, the effect of the two extreme phases of ENSO phenomenon over the probability distribution of dry spells was analyzed. From daily precipitation data (1932-2013) of the three Pampas region sites grouped by the occurrence of El Niño or La Niña episodes, conditional precipitation probabilities were modeled taking account first order Markov chain process and seasonal trend. From the models, probability distributions of occurrence of at least 7 day dry spells in 15 day periods were derived for both phases. For the three sites, differences between phase probability curves clearly occurred from November to December, where wheat anthesis is concentrated in southern Pampas region.

Keywords: *Fusarium head blight, El Niño Southern Oscillation, climate change, Markov chains models, dry spells.*

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática, componente importante del traedro epidémico (patógeno, hospedante, ambiente y el hombre), resulta clave para explicar los cambiantes niveles de expresión de muchos patosistemas. Discriminada por escalas espacio-temporales, dicha variabilidad climática puede asociarse a variables meteorológicas procesadas en intervalos intra-anales de corta duración, en pocos sitios y años. Con esta información meteorológica y de la enfermedad del pasado reciente se desarrollan modelos predictivos para numerosos patosistemas. En otros casos, la variabilidad climática tiene una escala de tiempo estacional e interanual, relacionada a fenómenos de influencia hemisférica hasta planetaria como El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Actualmente, el desafío más difícil consiste en predecir las modificaciones en los patosistemas en respuesta al cambio climático inducido por el aumento en las concentraciones de gases efecto invernadero antropogénico (Brett Runion, 2003). La predicción del impacto del cambio climático sobre patosistemas puede realizarse mediante un análisis retrospectivo, que identifica huellas relacionadas al cambio en registros de enfermedades de larga duración. Para muchos patógenos no se disponen de series temporales largas conteniendo observaciones estandarizadas de enfermedades o las tendencias son confundidas por cambios en el manejo y factores biológicos, por ello se recurre a modelos matemáticos o estadísticos predictivos. En relación con las causales de variabilidad climática interanual, el ENOS es el fenómeno oceánico-atmosférico más importante, el cual reconoce dos fases extremas, El Niño caracterizada por el calentamiento superficial del mar a lo largo de la costa pacífica sudamericana, presiones mayores a la media en el Océano Índico y Australia y vientos alisios débiles y La Niña que manifiesta la ocurrencia de muy baja temperatura oceánica superficial en el centro y este del Pacífico tropical y fuertes vientos alisios. El fenómeno ENOS afecta

sistemas de circulación atmosférica ubicados en sitios remotos del planeta (teleconexiones), originando anomalías térmicas y del régimen de lluvias. La técnica de ajuste de los parámetros de un modelo que evalúa la chance de ocurrencia de lluvia por una cadena de Markov de primer orden y su tendencia estacional fue descrita por Stern y Coe (1982) y Stern y otros (1982) y utilizada en un estudio para Pergamino por Moschini (1993). A partir de la modelización de estas probabilidades condicionales de lluvia y el uso de relaciones de recurrencia, se derivaron, para sitios de la región pampeana, las probabilidades de períodos secos (7 o más días en lapsos de 15 días), relacionándolas con las fases El Niño y La Niña (Moschini *et al.*, 1996; Moschini *et al.*, 1997). Varios trabajos han asociado el fenómeno ENOS con las variaciones interanuales de enfermedades fúngicas de cultivos y específicamente con la fusariosis de la espiga de trigo (FET), causada por el hongo *Fusarium graminearum* Schwabe [telemorfo *Gibberella zeae* Schwein (Petch)]. Zhao y Yao (1989) pudieron predecir satisfactoriamente con 4 meses de anticipación epidemias de la FET en el este de China midiendo la temperatura de superficie en el océano Pacífico central ($R^2=0,86$). Esta asociación fue explicada por el adelanto del monzón estival dependiente del fenómeno ENOS sobre el este de Asia incrementando las lluvias y los eventos de infección de la FET. En el sur de Brasil, el incremento de las lluvias primaverales unido a anomalías cálidas en el océano Pacífico tropical fue asociado con una más alta frecuencia de epidemias de la FET después de la década del 80 (Del Ponte *et al.*, 2009). También encontraron que el riesgo epidémico aumentó en los trigos de siembra más tardía, en las últimas décadas. Recientemente, Moschini (2011) encontró para el cuadrante NE de la región pampeana que los niveles más altos de enfermedad se observaron con el incremento del índice MAS (Modo Anular del Sur) en agosto y con la dominancia de circulación meridional norte-noreste en septiembre. En

el sur de la región pampeana, el IOS (Índice de Oscilación del Sur) realizó un aporte significativo para explicar la variabilidad en los niveles de la FET.

La FET es una enfermedad reemergente y en expansión en los últimos años en muchas regiones del mundo, debido a la fuerte adopción de sistemas de labranza mínima y siembra directa, rotaciones cortas con maíz y al cambio y variabilidad climática global (McMullen *et al.*, 1997). Se considera una enfermedad floral y monocíclica; el patógeno sobrevive como saprófito en residuos de muchos cultivos (trigo, cebada, maíz, arroz, avena), de gramíneas nativas y malezas (Reis y Carmona, 2002; Mourellos *et al.*, 2014), formando peritecios con ascosporas. Estas liberadas son diseminadas por el viento a grandes distancias, se depositan sobre las anteras expuestas de espigas de trigo, germinan y colonizan las flores. Como consecuencia no hay formación de granos o estos crecen en forma deficiente ("chuzos") y las espiquillas afectadas sufren una despigmentación característica. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) identificó a la FET como el principal factor limitante de la producción de trigo en muchas regiones del mundo (Bai y Shaner, 1994). En el cuadrante NE de la región pampeana se observaron epidemias severas de la FET en 1978, 1985, 1993, 2001 y 2012, en el SE del área ocurrieron en 1976, 1978 y 1985.

La naturaleza esporádica de la FET relacionada fuertemente al factor ambiental, estimuló el desarrollo/validación de modelos de pronóstico basados en variables meteorológicas. Predicciones retrospectivas de uno de estos modelos (1932-2013) permitieron estudiar el efecto de la variabilidad climática asociada al fenómeno ENOS y del cambio climático sobre la FET en tres sitios de la región pampeana. Con el objetivo de explicar posibles diferencias espaciales de dicho efecto se calculó la distribución temporal de las probabilidades de períodos secos (previa definición de modelos markovianos de primer orden de probabilidad de lluvia), en ciclos con fase El Niño y La Niña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Predicciones retrospectivas de incidencia de la FET (IncFET%)

Observaciones de incidencia de la FET (IncFET%: porcentaje de espigas afectadas) en cultivares comerciales de trigo en el INTA EEA Pergamino (1978-1990; n=22) se utilizaron para asociarlos con factores meteorológicos mediante técnicas de regresión lineal múltiple (Moschini y Fortugno, 1996). Las variables meteorológicas se calcularon a partir de registros diarios de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn), precipitación (Prec) y humedad relativa (HR: promedio de valores tridiurnos: 9, 15 y 21 h), obtenidos de una estación convencional (temperatura media diaria: $T_m = (T_x + T_n)/2$). La ecuación 1 resultó la más apropiada para estimar la IncFET%.

$$\text{IncFET}(\%) = 20,37 + 8,63 \text{ NP2} - 0,49 \text{ GDN} \quad R^2 = 0,86 \quad (1)$$

donde NP2: número de períodos de 2 días con registro simultáneo de $\text{Prec} \geq 0,2$ mm y $\text{HR} > 81\%$ (día 1) y una

$\text{HR} > 78\%$ (día 2) ($R^2 = 0,81$); GDN resulta de sumar GDTx (si $T_x > 26$ °C entonces $\text{GDTx} = \sum^d (T_x - 26)$) y GDTn (si $T_n < 9$ °C entonces $\text{GDTn} = \sum^d (9 - T_n)$, siendo d=días del período susceptible para la infección (PSI: 26-32 días). El modelo reconoce eventos infectivos por mojado de la espiga combinando la ocurrencia de Prec y altos registros de HR (variable NP2). Utilizando la misma base de datos de IncFET% de Pergamino, Moschini *et al.* (2008) identificaron una variable hídrica independiente que combina la ocurrencia de precipitación con la amplitud térmica del día ($\text{AT} = T_x - T_n$), no demandando registros de HR. El mejor modelo bivariado fue el siguiente:

$$\text{IncFET}(\%) = -9,15 + 6,47 \text{ ND} + 0,35 \text{ GDP} \quad R^2 = 0,81 \quad (2)$$

donde ND: número de días con ocurrencia simultánea de Prec y $\text{AT} < 7$ °C ($R^2 = 0,76$); GDP: resulta de acumular los residuales > 9 °C en Tn en los días donde $T_x < 25$ °C y $T_n > 9$ °C.

Los valores anuales de IncFET% fueron estimados mediante la ecuación 2, utilizando la serie de 82 años (1932-2013) con registros diarios de Tx, Tn y Prec, de Paraná (SMN), Pergamino (INTA) y Mar del Plata (SMN). Las variables meteorológicas se calcularon en el PSI que se extiende desde la aparición de las primeras espigas con anteras (8 días previos a plena espigazón) hasta acumular 530 grados día ($T_{m_0} = 0$ °C) en Paraná y Pergamino y 450 grados día en Mar del Plata. La fecha de espigazón anual por sitio coincidió con el día en el cual se completó una acumulación de 1320 grados día ($T_{m_0} = 0$ °C), desde el 1 de julio. Para los 82 años corridos en Paraná, Pergamino y Mar del Plata, las fechas medias de inicio del PSI fueron 4/10, 17/10 y 3/11, respectivamente. Para los tres sitios se ajustaron las líneas de tendencia lineal de la IncFET% en función del tiempo y se calcularon los valores anuales de anomalía que surgen de la diferencia entre la IncFET% y la mediana de la serie histórica (1932-2013), para ciclos con fase El Niño, La Niña y Neutro (la fase de cada ciclo fue definida por la Agencia Meteorológica de Japón).

Modelización de la distribución de probabilidades condicionales de lluvia

A partir de la información pluviométrica diaria del período 1932-2013 de Paraná, Pergamino y Mar del Plata (ciclos se inician el 1/7 del año con el evento y finalizan el 30/6 siguiente) se identificaron dos subconjuntos de años, con fase El Niño (16 ciclos) y La Niña (19 ciclos). Por sitio y tipo de fase analizada se examinó la dependencia entre la lluvia de un día con la de su precedente. Los días con $\text{Prec} < 0,2$ mm o cero (S) y aquellos con $\text{Pr} > 0,2$ mm (P) se codificaron con 1 y 2 respectivamente. Seguidamente una tabla de contingencia 2 x 2 permitió cuantificar el número de eventos diarios correspondientes a alguna de las siguientes cuatro categorías: a. día con Prec siguiendo a día lluvioso (P/P), b. siguiendo a día sin lluvia (P/S), c. día seco precedido por lluvioso (S/P) y d. precedido por día seco (S/S). Se contrastaron los valores observados y espera-

dos (eventos independientes) en un test de Chi-cuadrado, evaluando el posible rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la existencia de correlación entre la ocurrencia diaria de Prec con la del día previo, para los tres sitios analizados. En este último caso, la chance de días con Prec se estudia condicional a lo ocurrido en el día precedente (Cadena de Markov de primer orden). Seguidamente, con los datos originales se estructuró una nueva matriz 4x365 días, verificándose para cada día el número de años que corresponden a alguna de las 4 categorías descriptas. Con esta información, las probabilidades diarias de Prec condicionadas a la situación (seca o lluviosa) del día previo, se calcularon de la siguiente forma:

$$Pr(P/P)=N.^{\circ} \text{ días } (P/P) / N.^{\circ} (P/P)+N.^{\circ} (S/P); Pr(P/S)=N.^{\circ} \text{ días } (P/S) / N.^{\circ} (P/S)+N.^{\circ} (S/S)$$

La tendencia estacional de estas probabilidades diarias se analizó y modeló mediante la transformación logit de estas (día juliano: dj=0.365).

$$Ln\{Pr(P/P)/Pr(S/P)\}=fP/P(dj); Ln\{Pr(P/S)/Pr(S/S)\}=fP/S(dj)$$

Funciones periódicas (seno y coseno) se ajustaron para fP/P(dj) y fP/S(dj), por sitio y por tipo de evento (El Niño y La Niña). Los parámetros de las ecuaciones se estimaron por el método de máxima verosimilitud (procedimiento Logistic de SAS, 1988), siendo t el tiempo del año expresado en radianes: $t=3,1416 (dj-183)/183$ (procedimiento de selección de variables Backward, con un nivel de significancia para permanecer en el modelo: 0,05, en Pergamino para P/P 0,15) (tabla 1).

Distribución de períodos secos: a partir de los modelos definidos para las probabilidades diarias de P/P y P/S para cada sitio y fase del fenómeno ENOS, se derivaron resultados atinentes a la probabilidad de ocurrencia de períodos secos de al menos 7 días en lapsos de 15 días. Mediante un procedimiento numérico se resuelven repetidamente un conjunto de ecuaciones para cada día, construyendo gra-

dualmente el resultado de interés en un período dado (relaciones de recurrencia). Desde el 1 de julio hasta el 15 de junio del año siguiente se calcularon las probabilidades de períodos secos, graficando su distribución. Se presentan las ecuaciones utilizadas en la programación de las relaciones de recurrencia generadas para conocer la probabilidad de ocurrencia de 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 días secos (PS17, PS27, PS37, PS47, PS57, PS67 y PAc7) y de 7 días lluviosos (PLLu7), transcurridas 7 jornadas: PS17=PLLu6*PS/P; PS27=PS16*PS/S; PS37=PS26*PS/S; PS47=PS36*PS/S; PS57=PS46*PS/S; PS67=PS56*PS/S; PAc7=PS66*PS/S; PLLu7=1-(PS17+PS27+PS37+PS47+PS57+PS67+PAc7).

Las probabilidades de lluvia no condicionales generales fueron 0,232, 0,226 y 0,282 para Paraná, Pergamino y Mar del Plata (fase El Niño: n=5840 días) y 0,188, 0,206 y 0,262 para los tres sitios y fase La Niña.

RESULTADOS

Las líneas de tendencia mostraron un ligero incremento de la incidencia de la FET en función del tiempo, con pendientes positivas que gradualmente se fueron incrementando hacia el sur de la región pampeana (Paraná: 0,13%, Pergamino: 0,15% y Mar del Plata: 0,22% por año) (figura 1). Moschini *et al.* (2013) asociaron el mayor incremento anual de la FET en el sur (Mar del Plata) con la mayor pendiente encontrada en la variable hídrica ND de la ecuación 2 (análisis de la serie 1931-2010). Para la variable térmica (GDP), la mayor pendiente de la línea de tendencia lineal correspondió a Paraná.

Los valores anuales de anomalía que surgen de la diferencia entre la IncFET% y la mediana de la serie histórica (1932-2013), para los tres sitios se presentan en la figura 2. El total de valores anuales de anomalías positivas encontradas en el primer período de 41 años analizado (1932-1972) fue decreciendo hacia el sur, con totales de 21

Fase: El Niño										
Sitio	Función	Ordenada	Seno t	Coseno t	Seno 2t	Coseno 2t	Seno 3t	Coseno 3t	Seno 4t	Coseno 4t
Paraná	fP/P dj	-0,337	0,205	-0,074	0,013	-0,146	-0,182			
Paraná	fP/S dj	-1,577	0,051	0,545	-0,126					
Pergamino	fP/P dj	-0,498	0,006	0,107	0,00007	-0,179	-0,106	0,14		
Pergamino	fP/S dj	-1,552	0,02	0,584	-0,203	-0,093	-0,078	-0,139		
Mar del Plata	fP/P dj	-0,351	0,076	-0,192						
Mar del Plata	fP/S dj	-1,205	-0,077	0,252						
Fase: La Niña										
Sitio	Función	Ordenada	Seno t	Coseno t	Seno 2t	Coseno 2t	Seno 3t	Coseno 3t	Seno 4t	Coseno 4t
Paraná	fP/P dj	-0,444	0,138	-0,226						
Paraná	fP/S dj	-1,877	0,123	0,418	-0,06	-0,061	0,106	-0,123		
Pergamino	fP/P dj	-0,601	0,108	-0,107	-0,025	-0,06	0,117			
Pergamino	fP/S dj	-1,623	0,135	0,442	-0,103	-0,014	0,099	-0,204		
Mar del Plata	fP/P dj	-0,383	-0,061	-0,276						
Mar del Plata	fP/S dj	-1,328	0,118	0,222	-0,066	-0,052	0,039	-0,058	-0,012	0,118

Tabla 1. Parámetros de los modelos definidos por sitio y fase ENOS para fP/P y fP/S.

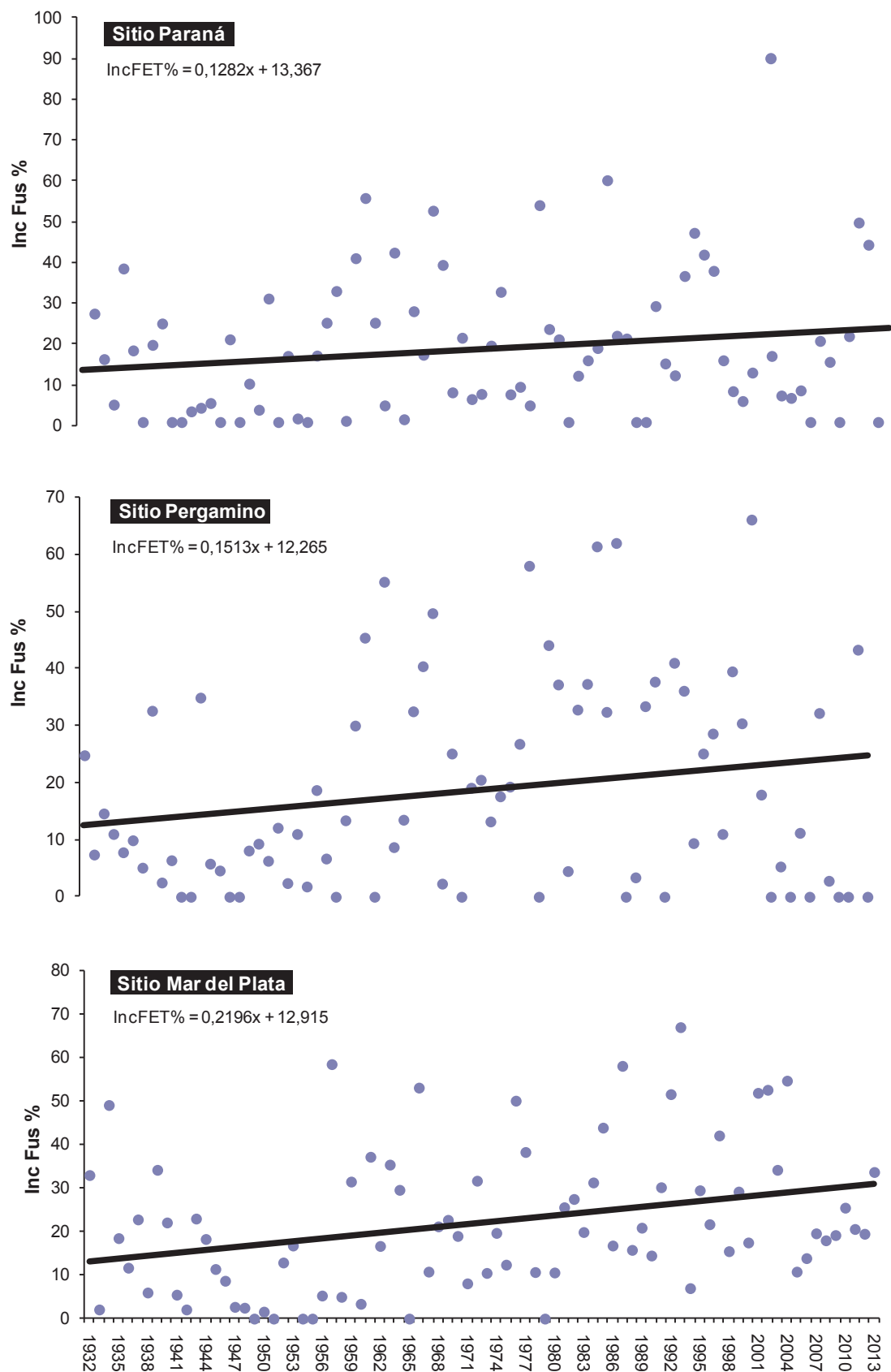


Figura 1. tendencia (lineal) de los valores anuales de incidencia de la FET (Ec.2) en Paraná (superior), Pergamino (medio) y Mar del Plata (inferior). Serie1932-2013.

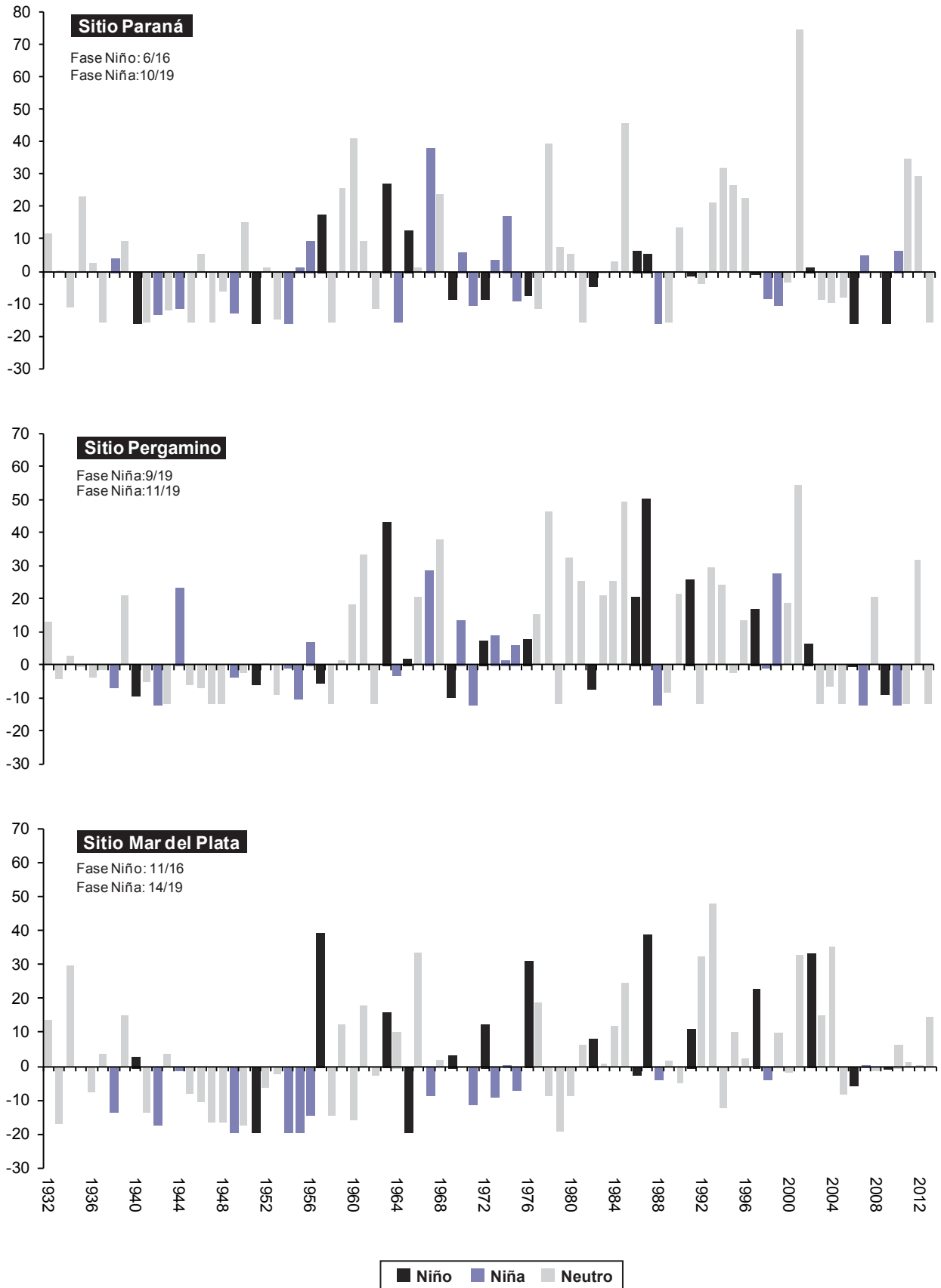


Figura 2. Valores anuales de anomalía (IncFET%-Mediana) con su correspondiente fase del fenómeno ENOS (El Niño, La Niña y Neutro) para tres sitios: Paraná (Med. 11,65%), Pergamino (Med. 15,73%) y Mar del Plata (Med. 19,31%).

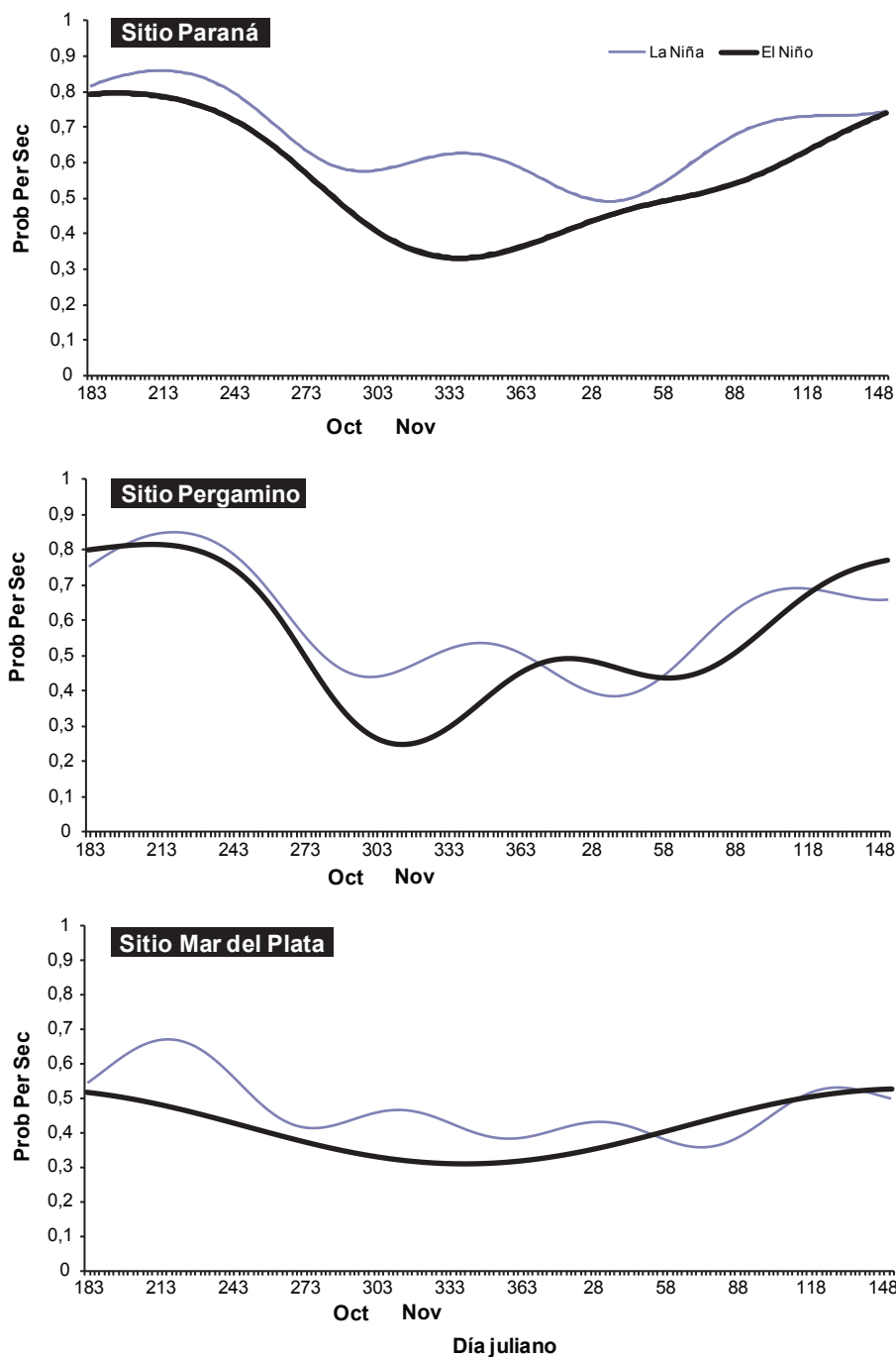


Figura 3. Probabilidad de tener períodos secos de al menos 7 días de duración en lapsos de 15 días en Paraná, Pergamino y Mar del Plata para ciclos con fase El Niño y La Niña.

(Paraná), 16 (Pergamino) y 15 (Mar del Plata). Contrariamente, en el segundo período (1973-2013), las anomalías positivas se incrementan hacia el sur (20 en Paraná, 25 en Pergamino y 26 en Mar del Plata, respondiendo al aumento de las pendientes de las líneas de tendencia hacia latitudes mayores. En la figura 2, también se asoció cada ciclo anual a la correspondiente fase del fenómeno ENOS. En Paraná solo 6 de 16 años (37,5%) con fase El Niño superaron a la

mediana de la enfermedad y 10 de 19 años (52,6%) con fase Niña resultaron con anomalía negativa. Hacia el sur de la región pampeana la tendencia fue firme en el sentido de incrementar las anomalías positivas en años El Niño y negativas en años La Niña. Pergamino y Mar del Plata presentaron respectivamente 9 (56,3%) y 11 (68,8%) años con fase Niño que superaron a la mediana, y 9 (57,9%) y 14 (73,7%) años con episodios Niña con anomalías negativas.

El efecto estimulante de una fase cálida El Niño sobre el patosistema y depresor en años con fase La Niña fue marcado en el sur de la región pampeana (Mar del Plata). Por ello, bien puede asociarse la más alta pendiente de la línea de tendencia y el significativo aumento de las anomalías positivas en 1973-2013 en Mar del Plata, a la ocurrencia de mas eventos El Niño (9 contra 7, estimulantes de la FET) y menos eventos Niña (8 contra 11 en 1932-1972, depresor de la FET) en dicho segundo período analizado. En este sitio, las variables meteorológicas de la ecuación 2 (ND y GDP) se calculan en la primavera tardía (fecha media de inicio del PSI: 3/11), coincidiendo con la mayor influencia de la fase cálida y fría del fenómeno ENOS en la región pampeana. Esta última aseveración se analizó calculando la distribución anual de la probabilidad de tener períodos secos de 7 o más días en los siguientes 15 días (relación inversa con la expresión de la FET). En primer lugar se verificó mediante un test de Chi-cuadrado la existencia de correlación entre la ocurrencia diaria de lluvia con la del día previo, en Paraná, Pergamino y Mar del Plata (Años El Niño: Chi-cuadrado: 354,3, 250,3 y 187,9 respectivamente; Años La Niña: 421,8, 219,2 y 247,3; se rechazó la hipótesis nula de eventos independientes). La chance de días con precipitaciones se estudia condicional a lo ocurrido en el día precedente (Cadena de Markov de primer orden). Los parámetros de los modelos ajustados para estimar las probabilidades condicionales diarias de P/P y P/S para cada sitio y fase del fenómeno ENOS se presentan en la tabla 1.

Las probabilidades condicionales diarias se obtienen resolviendo:

$$Pr(P/P) = e^{-fP/P(dj)} / (1 + e^{-fP/P(dj)}); Pr(P/S) = e^{-fP/S(dj)} / (1 + e^{-fP/S(dj)})$$

De acuerdo a la figura 3, la diferencia máxima de probabilidad de ocurrencia de períodos secos de al menos 7 días en lapsos de 15 días entre años El Niño y La Niña fue de 29,5% en Paraná y ocurrió el día 5/12. Hacia el sur se adelanta el momento de máxima diferencia al 23/11 (dif. Máx.: 23.08%) y al 11/11 (15%) en Pergamino y Mar del Plata, respectivamente. Marcadamente estas diferencias de probabilidad se concentraron en el período noviembre-diciembre y secundariamente en marzo-abril en Paraná y Pergamino y en julio-agosto en Mar del Plata. En Paraná y Pergamino, las probabilidades de ocurrencia de períodos secos en el lapso fin de septiembre-mediados de octubre (donde se concentra la antesis en el trigo) solo difieren en 6 y 8% entre ambas fases del fenómeno ENOS. En Mar del Plata la antesis transcurre en el lapso con más altas diferencias entre fases. Concordantemente, Tanco y Berri (1996) señalaron que en el bimestre noviembre-diciembre más del 60% de La Pampa Húmeda Argentina recibe lluvias por debajo de la normal en años con eventos La Niña. En la misma región, Vila y Grondona (1996) encontraron que durante eventos El Niño la distribución de cuartiles de la frecuencia relativa de días con lluvia tiende a desplazarse hacia valores altos en el último trimestre del año y hacia valores bajos en episodios La Niña.

CONCLUSIONES

Un sencillo modelo empírico basado en variables meteorológicas fue desarrollado en trabajos previos para estimar la incidencia de la fusariosis de la espiga de trigo (FET) en la región pampeana. Predicciones retrospectivas (1932-2013) de dicho modelo en distintos sitios de la región permitieron abordar estudios para analizar el efecto sobre el patosistema de la variabilidad climática asociada al cambio climático y al fenómeno ENOS.

Las líneas de tendencia mostraron un ligero incremento de la incidencia de la FET en función del tiempo, con pendientes positivas que gradualmente se fueron incrementando hacia el sur de la región pampeana. En el mismo sentido, se incrementan las anomalías positivas en años con fase Niño y negativas en años Niña. Pergamino y Mar del Plata presentaron respectivamente 9 (56,3%) y 11 (68,8%) años con fase Niño que superaron a la mediana, y 9 (57,9%) y 14 (73,7%) años con episodios Niña con anomalías negativas. En estos sitios, las variables meteorológicas del modelo predictivo (Ec. 2) se calculan en la primavera tardía, coincidiendo con la mayor influencia de la fase cálida y fría del fenómeno ENOS en la región pampeana.

BIBLIOGRAFÍA

- BAI, G.H.; SHANER, G. 1994. Scab of Wheat: Prospects for control. *Plant Disease*, 78 (8):760-766.
- BRETT RUNION, G. 2003. Climate change and plant pathosystems-future disease prevention starts here. *New Phytologist* 159:531-538.
- DEL PONTE, E.M.; FERNANDES, J.M.C.; PAVAN, W.A.; BAETHGEN, W.E. 2009. A model-based assessment of the impacts of climate variability on Fusarium Head Blight seasonal risk in southern Brazil. *J Phytopathol* 157:675-681.
- MCMULLEN, M.; JONES, R., GALLEMBERG, D. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Dis* 81:1340-1348
- MOSCHINI, R.C. 1993. Ajuste de un modelo cadena de Markov-Gamma a datos de lluvia de Pergamino. *RIA* 24 (1):71:82.
- MOSCHINI, R.C., GRONDONA, M.O.; VILA, D.A. 1996. Influencia del ENSO sobre la distribución de las probabilidades condicionales diarias de precipitación en algunas estaciones de la región pampeana. *Actas del VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Pág 307-308. Buenos Aires. 2-6 septiembre 1996.
- 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.; CASAGRANDE, G.; VERGARA, G.; CONTI, H.A. 1997. Efectos del ENOS sobre las probabilidades de períodos secos derivadas de modelos markovianos de primer orden, en La Pampa. *Rev. Facultad de Agronomía* 17(1):71-76.
- MOSCHINI, R.C.; BISCHOFF, S.; MARTÍNEZ, M.I. 2008. Variabilidad climática y enfermedades. Caso de estudio: Fusariosis de la espiga de trigo. *Horizonte A. Magazine de las Ciencias Agrarias*. Año 5, N.º 21:10-15.
- MOSCHINI, R.C. 2011. Desarrollo y uso de sistemas de pronóstico de epidemias de la Fusariosis de la Espiga de Trigo (*Triticum*

aestivum L.) para identificar situaciones sinópticas y predictores meteorológicos en diferentes escalas asociados a la enfermedad en la región pampeana. Tesis Doctorado. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Pág. 108.

MOSCHINI, R.C.; MARTÍNEZ, M.I.; SEPULCRI, M.G. 2013. Modeling and forecasting systems for Fusarium head blight and deoxynivalenol content in wheat in Argentina. Capítulo 13. Pág. 205-230. En Fusarium head blight in Latin America (Teresa Alconada Magliano y Sofía N. Chulze Ed.), Editorial Springer. Pág. 304. ISBN 978-94-007-7090-4.

MOURELOS, C.A.; MALBRÁN, I.; BALATTI, P.A.; GHIRINGHELLI, P.D.; LORI, G.A. 2014. Gramineous and non-gramineous weed species as alternative hosts of Fusarium graminearum, causal agent of Fusarium head blight of wheat, in Argentina. Crop Protection 65 100 (2014) DOI: 10.1016/j.cropro.2014.07.013.

REIS, E.M.; CARMONA, M. 2002. Fusariosis del trigo. Biología, epidemiología y estrategias para su manejo. 25 p. Primera Edición. ISBN: 98743-3859-4

SAS Institute Inc. SAS/STAT. User's Guide, release 6.03 edition Cary, NC, 1988.

STERN, R.D.; COE, R. 1982. The use of rainfall models in agricultural planning. Agric. Meteorology, 26:35-50.

STERN, R.D.; DENNETT, M.; DALE I. 1982. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. II A modelling approach. Experimental Agriculture 18:237-253.

TANCO, R.; BERRI, G.J. 1996. Acerca del efecto del fenómeno El Niño sobre la precipitación en la Pampa Húmeda Argentina. Actas del VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Argentina. 2-6 septiembre 1996.

VILA, D.A.; GRONDONA, M.O. 1996. Estudio preliminar sobre las relaciones entre el ENSO y la frecuencia de días con lluvia en la Pampa Húmeda. Actas del VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Argentina. 2-6 Septiembre 1996.

ZHAO, S.; YAO, C. 1989. On the sea temperature prediction models of the prevailing level of wheat scab. Acta Phytopathol Sin 19:229-234.