

MODELOS LOGISTICOS CON BASE METEOROLÓGICA PARA PREDECIR NIVELES DE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE TRIGO EN CULTIVARES DE DISTINTA SUSCEPTIBILIDAD A LA ENFERMEDAD

Martínez, M.I.¹; Moschini, R.C.¹; Alberione, E.J.²; Castellarín, J.M.³

¹Instituto de Clima y Agua. CIRN. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Nicolas Repetto y de los Reseros s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina. ²Patología Vegetal del Cultivo de Trigo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ruta 12, km 3. (2580) Marco Juárez, Córdoba, Argentina. ³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ruta 11, km 353 (2206) Oliveros, Santa Fe, Argentina.

*Contacto: martinez.malvina@inta.gob.ar

Palabras clave: Fusarium en trigo; variables meteorológicas

INTRODUCCIÓN

La Fusariosis de la espiga de trigo (FET) es una enfermedad altamente difundida en el cultivo de trigo en Argentina, afecta directamente el rendimiento en grano y además, al producirse sustancias tóxicas llamadas micotoxinas, tiene efectos en la salud humana, animal y la comercialización del grano (Fernández Pinto *et.al.* 2013). En Argentina, se han desarrollado varios modelos predictivos de la enfermedad con base meteorológica (Moschini *et al.* 2002; Moschini and Fortugno, 1996) que aportan información para el momento oportuno de control químico y además permiten conocer la distribución de la enfermedad a través de mapas al finalizar el ciclo de cultivo. Otra estrategia de manejo de la enfermedad es la selección del cultivar a sembrar. A nivel mundial pocos cultivares de trigo tienen un aceptable nivel de resistencia, habiendo comportamientos diferenciales en los materiales argentinos, con predominio de cultivares susceptibles a moderadamente susceptibles (Alberione *et.al.* 2016)

El objetivo de este trabajo fue desarrollar modelos logísticos basados en variables meteorológicas para predecir niveles binarios y ordinales del Índice de Fusarium en cultivares de trigo de distinta susceptibilidad a la FET.

MATERIALES Y MÉTODOS

Observaciones de Índice de Fusarium ($IF\% = \text{Incidencia}\% * \text{Severidad}\% / 100$) en cultivares de trigo: en el marco de la red de ensayos territoriales de trigo se realizaron observaciones de IF% en la EEA INTA Oliveros (Santa Fé) (campañas: 2012/13 a 2016/17) y en la EEA INTA M. Juárez, (Córdoba) en las campañas 2012/13 y 2016/17. Se incluyó también una campaña (2012/13) de datos observados en Tala, Entre Ríos, y publicados por Velazquez *et.al.* (2013).

Por localidad y por año los cultivares fueron agrupados por fecha de espigazón (para agrupar cultivares que estuvieron expuestos a las mismas condiciones ambientales), este grupo a su vez, fue dividido en cultivares de alta y baja susceptibilidad a la FET y se calculó la mediana de IF% por grupo (N= 34). El efecto de susceptibilidad de los cultivares se incluyó a través de una variable discreta binaria, codificada como 0 (cultivares de baja susceptibilidad) y 1 (cultivares de alta susceptibilidad).

Variables meteorológicas explicativas: para las campañas trigueras detalladas precedentemente, se disponen los registros diarios de temperatura máxima (Tx; °C) y mínima (Tn; °C), precipitación (Prec; mm) y humedad relativa (HR; %) de las estaciones meteorológicas de Oliveros (INTA), Marcos Juárez (SMN) y General Galarza (Bolsa de Cereales de Entre Ríos). A partir de estos registros diarios se desarrollaron variables meteorológicas que fueron evaluadas en cuanto a su capacidad de explicar la variación en los valores de IF.

Desarrollo de ecuaciones: para el ajuste de los modelos se utilizó regresión logística, donde la variable respuesta fue la probabilidad de ocurrencia de niveles categorizados (ordinal o binario) de IF. El procedimiento Freq del SAS fue utilizado para calcular los coeficientes de correlación no paramétricos de Kendall Tau-b entre los niveles categorizados de IF y las variables meteorológicas. A partir de la maximización de estos coeficientes queda establecida la ventana temporal donde son calculadas las variables meteorológicas. Luego mediante el procedimiento Logistic del SAS se ajustaron modelos de regresión logística para estimar las probabilidades de ocurrencia de los niveles de IF en base a variables explicativas meteorológicas y discreta (considera el efecto de comportamiento de los cultivares de trigo respecto a la FET).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de los modelos, los niveles observados de IF fueron categorizados de manera binaria y ordinal. Para la primera, IF fue codificado como 0 ($IF < 9,7$: niveles bajos), y 1 ($IF \geq 9,7$: niveles altos). En cuanto a la ordinal, la codificación fue: 0 ($IF < 2,2$: niveles bajos), 1 ($IF \geq 2,2$ y $< 9,7$: niveles moderados) y 2 ($IF \geq 9,7$: niveles altos). Las variables meteorológicas fueron calculadas en un lapso que se extiende desde la fecha de espigazón observada para cada sitio menos 6 días hasta acumular 480 grados. La variable binaria mejor

correlacionada fue DPrecTHR, seguida por DPrecTAT, también binaria. En cuanto a las variables de respuesta ordinal, DPrecTAT, fue la de mejor correlación, seguida por DPrecHR y DPrecT (tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Kendall entre el Índice de Fusarium (%) y las variables meteorológicas.

Variable meteorológica	Definición	Respuesta	
		Binaria Kendall (τ)	Ordinal Kendall (τ)
DPrecHR	Días con $prec > 0,5$ y $HR \geq 81\%$	0,48	0,61
DPrecTHR	Días con $T_{max} < 30^{\circ}C$ y $T_{min} > 12^{\circ}C$, $prec > 0,5$ y $HR \geq 81\%$	0,53	0,59
DPrecT	Días con $T_{max} < 30^{\circ}C$ y $T_{min} > 12^{\circ}C$ y $prec > 0,5$	0,49	0,62
PPrecHR	Período de 2 días, don=de día 1: $prec > 0,5$ y $HR \geq 81\%$ y día 2: $HR > 77\%$	0,48	0,54
DPrecTAT	Días con $T_{max} < 30^{\circ}C$ y $T_{min} > 12^{\circ}C$, $prec > 0,5$ y $AT < 11$	0,50	0,63
Sus	Susceptibilidad del cultivar	0,41	0,33

Entre los modelos de respuesta binaria, el procedimiento Stepwise del proc logistic con un nivel de significancia de 0,01% selecciono el modelo 1 como el más apropiado. Este modelo incluye a DPrecTHR y Sus (susceptibilidad del cultivar) y clasificó correctamente 63 de 68 casos analizados (precisión de predicción: 92,6%) y la concordancia fue de 94,3%. El modelo 2, incluyó a la variable DPrecAT que contiene AT (amplitud térmica) en lugar de humedad relativa, clasificó correctamente 61 de 68 casos analizados (precisión de predicción: 89,7%) y la concordancia 94,4 %. El modelo 3, de respuesta ordinal, está constituido por DPPrT y Sus, la precisión de predicción baja considerablemente en comparación a los de respuesta binaria (79,4%) y la concordancia de 91,8 % (Tabla 2).

Tabla 2. Modelos de regresión logística binarios (1 y 2) y ordinal (3) para estimar la probabilidad de ocurrencia de niveles categorizados de Índice de Fusarium.

Modelos
1: $Logit = -8,9988 + 0,8635 * DPrecTHR + 5,1779 * Sus$
2: $Logit = -8,7733 + 0,9665 * DPrecAT + 4,3640 * Sus$
3: $Logit = -8,7251 + 0,8436 * DPPrT + 3,3153 * Sus$
$Logit = -6,0570 + 0,8436 * DPPrT + 3,3153 * Sus$

$LogitPrS = \ln(PrS/1-PrS)$; $LogitPrSM = \ln(PrSM/1-PrSM)$. Resolviendo la expresión $Exp(LogitPrS)/(1 + Exp(LogitPrS))$ y $Exp(LogitPrSM)/(1 + Exp(LogitPrSM))$ se obtienen los valores de PrS (probabilidad de observar valores severos (S) y PrSM (probabilidad acumulada de obtener niveles de IF = > al moderado (M)). Ln: Logaritmo natural. PrM = PrSM-PrS. PrL = 1-(PrS + PrM), siendo PrL la probabilidad de observar niveles ligeros a nulos de IF.

CONCLUSIONES

Se desarrollaron modelos logísticos basados en variables meteorológicas para predecir niveles binarios u ordinales del Índice de Fusarium, en cultivares trigo de distinta susceptibilidad a la FET. Estos modelos están en concordancia con otros ya publicados para la FET en la bibliografía nacional (Moschini *et al.* 1996, Moschini *et al.* 2002). Las variables meteorológicas regresoras principales identifican eventos infectivos por mojado de espiga combinando la ocurrencia de precipitación y altos registros de humedad relativa (o bajos valores de amplitud térmica). Algunas variables también fijan umbrales térmicos que modulan la velocidad de los procesos involucrados en la infección.

REFERENCIAS

- Alberione, E. J.; Ortega, L.M.; Salines, N.; Astoreca, L.A.; Alconada, T.M. 2016. Comportamiento genético de diversos genotipos de trigo frente a *Fusarium graminearum*. *Agrociencia* 50: 335-346.
- Fernandez Pinto, V.; Patriarca A.; Pose, G. 2013. Mycotoxin associated to *Fusarium* species that caused *Fusarium* Head Blight in wheat in Latin-America. Chapter 5. Pag 59-73 En: Alconada Magliano y Chulze (Eds). *Fusarium head blight in Latin-America*. Springer.304 p.ISBN 978-94-007-7090-4
- Velazquez, P.D.; Formento, A.N.; Schutt L.S.; Velazquez, J.C. 2013. Comportamiento de cultivares de trigo implantados en tres fechas de siembra frente a la fusariosis de la espiga. https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fusariosis_trigo_eea_paran_-_agromercado_abril.pdf
- 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.; de Galich, M.T.V., Annone, J.G. y Polidoro, O. (2002) Enfoque Fundamental-Empírico para estimar la evolución del Índice de *Fusarium* en trigo. *Revista RIA* 31: 39-53
- Moschini, R.C.; Acuña, M.; Alberione, E.; Castellarín, J.; Ferraguti, F.; Lozza, H.F.; Martínez, M.I. 2016. Validación de sistemas de pronóstico del impacto de la Fusariosis de la espiga en cultivares de trigo. *Meteorológica* 41: 37-46.