

Desarrollo y validación de un modelo termal para describir la emergencia de *Lolium multiflorum*

PAGNONCELLI FDB^{1,2}, GONZALEZ-ANDUJAR JL², TREZZI MM¹, SALOMÃO HM¹, HARTMANN K¹

¹ Department of Agronomy, UTFPR, Pato Branco, BRASIL.
fpagnoncelli@outlook.com, trezzim@gmail.com, helissalomao@gmail.com,
katiachartmann@hotmail.com

² Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Córdoba, España.
andujar@ias.csic.es

Resumen: *Lolium multiflorum* es una mala hierba ampliamente diseminada por los cultivos de todo el mundo, principalmente en cultivos cerealistas, como el trigo, por ejemplo. Es una especie altamente competitiva, presentando un elevado potencial de reducción del rendimiento. La emergencia es una etapa fundamental para el establecimiento de las malezas y la capacidad de predecir este evento permitiría la adopción de estrategias de manejo más eficientes. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar y validar un modelo predictivo de la emergencia de *L. multiflorum* para los cultivos de cereales de invierno (trigo/avena), basado en el tiempo termal (TT). Se probaron los modelos de Gompertz, Logístico y Weibull con datos obtenidos en el estado de Paraná (Brasil). A través del criterio de información de Akaike corregido se seleccionó el modelo de Gompertz como el más adecuado para describir la emergencia de esta especie. Dicho modelo predice el inicio de la emergencia a los 300 TT, alcanzando el 90% de emergencia a los 590 TT. El modelo fue validado con datos independientes ($R^2=0,97$). En conclusión, el modelo desarrollado explica adecuadamente el patrón de emergencia de *L. multiflorum* y podría utilizarse como herramienta de ayuda en la toma de decisiones de manejo de esta especie.

Palabras clave: Tiempo termal, modelo de Gompertz, manejo de malas hierbas.

1. Introducción

Lolium multiflorum es una especie ampliamente difundida por áreas cultivadas alrededor del mundo (USDA, 2019). La especie se desarrolla desde el otoño hasta principios de la primavera y puede afectar tanto los cultivos de invierno como de verano. La reducción del rendimiento en los cultivos de trigo y maíz puede llegar hasta 60% debido a la competencia con *L. multiflorum* (Fleck, 1980, Nandula, 2014). La infestación de la especie es favorecida por la alta prolificidad y latencia de las semillas. La latencia es una estrategia importante para las malezas, que hace que las semillas germinen sólo en

condiciones específicas y en épocas del año que favorecen el desarrollo de la planta (Maia et al., 2009).

El proceso de germinación se activa únicamente cuando las semillas y el clima son adecuados. Por eso, el inicio y mantenimiento de la emergencia puede variar año tras año. Esto dificulta la adopción de estrategias de manejo, ya que en muchos casos no hay previsibilidad de los fenómenos. Sin embargo, mediante el uso de modelos matemáticos, es posible hacer deducciones sobre las condiciones climáticas en las que es más probable que las semillas germinen. Dicha información puede ser utilizada como una herramienta para ayudar en la toma de decisiones de control y optimizar el uso de estrategias de manejo (González-Andújar & Bastida, 2017).

Ya se han desarrollado diferentes modelos matemáticos para predecir la emergencia de diferentes especies de malezas (ver González-Andújar et al., 2016), todavía, no existen modelos que describan la emergencia de *L. multiflorum*. El objetivo de este trabajo fue desarrollar y validar un modelo predictivo de la emergencia de *L. multiflorum* basado en el tiempo térmico del suelo.

2. Material y Métodos

Los experimentos se realizaron en dos etapas. En la primera etapa, el flujo natural de emergencia de las plántulas de *L. multiflorum* fue monitoreado en áreas agrícolas que comúnmente tienen cultivos de trigo/avena en invierno y soja/maíz en verano, de los municipios de Mariópolis (26°19'48.0 "S 52°40'00.4 "O") y Pato Branco (26°10'32.6 "S 52°41'11.2 "O"), en la región Suroeste del Estado de Paraná, Brasil. En cada sitio, 10 cuadrados de 0.25 m² (0.5 x 0.5m) fueron colocados aleatoriamente en un área de 100m². Se han realizado conteos semanales del número de plántulas emergentes hasta que no se observaron nuevas plántulas. Durante todo el período experimental, la temperatura del suelo fue monitoreada por medio de sensores (enterrados a una profundidad de 5 cm) que realizaron la lectura y almacenaron los datos en registrador climatológico.

La segunda etapa se realizó entre los meses de julio y septiembre de 2018 en área agrícola que comúnmente es cultivada con trigo/avena en invierno y soja/maíz en verano ubicada en el municipio de Pato Branco - PR (26°10'35.9 "S 52°41'26.8 "O). Se sembraron 50 semillas de *L. multiflorum* en microparcels de 0,25 m² (0,5 * 0,5 cm) con 16 repeticiones. Las semillas fueron cubiertas con una capa de 1 cm de suelo. El flujo de emergencia fue observado cada tres días hasta que no se observaron nuevas plántulas. El registro de la temperatura del suelo se realizó con la metodología descrita anteriormente.

El tiempo térmico acumulado (TT) en grados día se calculó como,

$$TT = \sum_{i=1}^n (T_{media} - T_{base}) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde n es el número de días después del inicio del control de temperatura, T_{media} es la temperatura media diaria del suelo (°C) y T_{base} es la temperatura (°C) mínima a la que se produce la germinación. La temperatura base utilizada fue de 1,9 °C (Tribouillois et al., 2016).

Para describir la emergencia acumulada, se probaron los modelos Logístico, Gompertz y Weibull, comúnmente utilizados en la literatura. (González-Andújar et al., 2016).

$$\begin{array}{l} \text{Gompertz} \\ E_i = K \exp(-\exp(-b(TT-m))) \end{array} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\begin{array}{l} \text{Logístico} \\ E_i = K / (1 + \exp(-b(TT-m))) \end{array} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\begin{array}{l} \text{Weibull} \\ E_i = K (1 - \exp(-(b(TT-m))^c)) \end{array} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En qué: E_i representa el porcentaje de emergencia acumulada esperada, K es la emergencia máxima estimada por el modelo, b es la tasa de incremento de la emergencia, m es el punto de inflexión en el x -axis y c es el factor que determina la asimetría y la curtosis de la distribución.

El modelo mas adecuado fue seleccionado utilizando el criterio de información de Akaike corregido (AICc) (Burnham et al., 2011). La validación del modelo seleccionado y generado con los datos realizados durante la primera etapa (2016) se realizó con los datos del experimento independiente obtenidos durante la segunda etapa (2018). La validación del modelo se realizó comparando los valores estimados y observados mediante el coeficiente de regresión (R^2).

Los análisis se realizaron utilizando el lenguaje R y los paquetes "*nls2*" (Grothendieck, 2019) y "*GGplot2*" (Wickham, 2016) para ajustar los parámetros de los modelos y construir gráficos, respectivamente. La bondad del ajuste de los modelos no lineales se realizó mediante el uso del RMSE y el pseudo- R^2 .

3. Resultados y Discusión

La función de Gompertz mostró ser el modelo mas adecuado para representar los datos obtenidos en comparación con las funciones de Logística y Weibull (AICc = 88,66, 97,18 y 146,93, respectivamente) y fue elegida para describir la emergencia de *Lolium multiflorum*. El modelo Gompertz presentó un buen ajuste con los datos observados ($R^2 = 0,98$ y RMSE = 6,14). Según este modelo, la emergencia se inicia en 300 TT, llegando al 50% de la emergencia con 444 TT y al 90% con 590 TT (Fig. 1A).

El modelo de Gompertz mostró una buena predicción ($R^2=0,97$; Fig. 1B) de los datos independientes utilizados para su validación. A pesar de ser más simples que los modelos hidrotérmicos u otros tipos de modelos, los modelos basados sólo en la acumulación térmica del suelo pueden ser eficientes para describir el flujo de emergencia de las malezas (Yousefi et al., 2014). En este caso se debe a que la temperatura es el principal factor que limita la aparición de plántulas en las regiones de clima subtropical (Bradford 2002).

Los modelos predictivos del flujo de emergencia de las plantas son herramientas importantes para ayudar a la optimización de la aplicación de medidas de control y servir de submodelos en modelos de evaluación de estrategias de manejo integrado (González-Andujar et al., 2010).

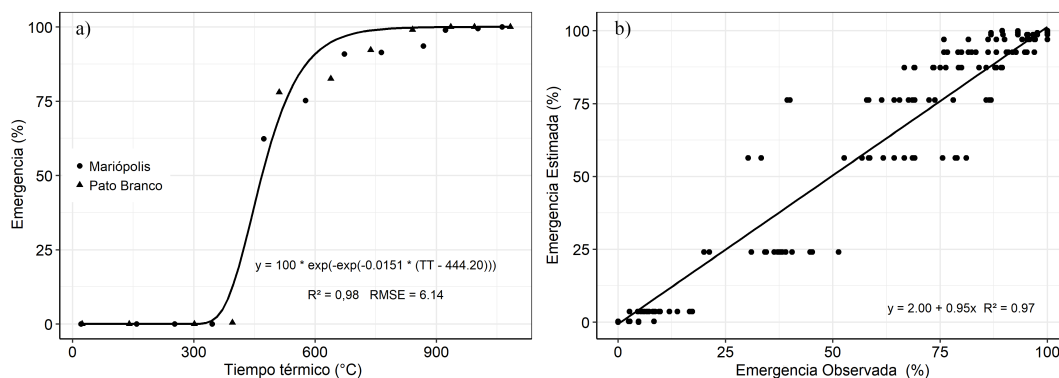


Figura 1: Emergencia acumulada (a) observada durante 2016 y validación del flujo de emergencia (b) de *L. multiflorum*, con datos recogidos durante 2018.

4. Conclusiones

El modelo de tiempo termal propuesto es robusto para ser utilizado como una herramienta predictiva para describir la emergencia de *L. multiflorum* y puede ser utilizado como una herramienta para contribuir a la optimización de las estrategias de manejo de esta especie.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Coordinación para el Mejoramiento del Personal de la Educación Superior (CAPES), a la Universidad Tecnológica Federal de Paraná (UTFPR) y al Instituto de Agricultura Sostenible (IAS-CSIC) por el apoyo financiero y la provisión de infraestructura para el desarrollo de la obra.

Referencias

- Burnham KP, Anderson DR, Huyvaert, KP (2011) AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. *Behavioral ecology and sociobiology* **65**, 23-35.
- Fleck, NG (1980) Competição de azevém (*Lolium multiflorum* L.) com duas cultivares de trigo. *Planta daninha* **2**, 61-67.
- Gonzalez-Andujar JL & Bastida F (2017) Herramientas de ayuda en la toma de decisiones para la aplicación eficiente de los herbicidas. *Tierras: Agricultura* **252**, 22-25.
- Gonzalez-Andujar JL, Chantre GR, Morvillo C, Blanco AM, Forcella, F (2016) Predicting field weed emergence with empirical models and soft computing techniques. *Weed research* **56**, 415-423.
- González-Andujar JL, Fernández-Quintanilla C, Bastida F, Calvo R, GonzálezDíaz L, Izquierdo J, Lezaun JA, Perea F, Sanchez Del Arco MJ, Urbano JM (2010) Field evaluation of a decision support system for *Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* control in winter wheat. *Weed Research* **50**, 83–88.
- Grothendieck G nls2: Non-linear regression with brute force. R package version 0.2. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nls2>. Accessed 23 may 2019.
- Maia FC, Maia MDS, Bekker RM, Berton RP, Caetano LS (2009) *Lolium multiflorum* seeds in the soil: II. Longevity under natural conditions. *Revista Brasileira de Sementes* **2**, 123-128.
- Nandula, VK (2014) Italian ryegrass (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) and corn (*Zea mays*) competition. *American Journal of Plant Sciences* **5**, 3914.
- Tribouillois H, Dürr C, Demilly D, Wagner MH, JUSTES E (2016). Determination of germination response to temperature and water potential for a wide range of cover crop species and related functional groups. *PloS one* **11**, e0161185.
- USDA, Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. 2019. Germplasm Resources Information Network (GRIN-Taxonomy). National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. URL: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?id=22493>. Accessed 23 May 2019.
- Wickham H ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. URL: <http://moderngraphics11.pbworks.com/f/ggplot2-Book09hWickham.pdf>. Accessed 23 may 2019.
- Yousefi AR, Oveisi M, Gonzalez-Andujar, JL (2014). Prediction of annual weed seed emergence in garlic (*Allium sativum* L.) using soil thermal time. *Scientia Horticulturae* **168**, 189-192.

Development and validation of a thermal model to describe the *Lolium multiflorum* emergence

Summary: *Lolium multiflorum* (L) is a weed widely disseminated in crops around the world, particularly in crops with winter cereals such as wheat. This weed is highly competitive with high yield reduction potential. The emergence is a fundamental step for the establishment of weeds and the ability to predict this event would allow the adoption of more efficient management strategies. In this context, the objective of this work was

to develop and validate a predictive model of *L. multiflorum* emergence for winter cereal crops (wheat/oat) based on thermal time (TT). Gompertz, Logistic and Weibull models were fitted with data collected in the Paraná State (Brazil). Using model selection approach, the Gompertz model was selected as the most adequate to describe the emergence of this specie. This model predicts the start of the emergence at 300 TT, reaching 90% at 590 TT. The model was validated with independent data ($R^2=0.97$). In conclusion, the model developed adequately explains the emergence pattern of *L. multiflorum* and could be used as a tool to assist in making management decisions.

Keywords: Thermal Time, Gompertz model, weed management.