

# Aplicación de funciones no paramétricas para modelizar la emergencia de *Ridolfia segetum*

## Application of non-parametric functions to model the emergence of *Ridolfia segetum*

Carlos Sousa-Ortega<sup>1,2</sup>, José M. Urbano<sup>1</sup>, María Arias-Martín<sup>3,\*</sup>, Iñigo Loureiro<sup>3</sup>, María Concepción Escorial<sup>3</sup>, Ana I. Marí<sup>4</sup>, Cristina Alcantara<sup>5</sup>, Milagros Saavedra<sup>5</sup>, Jordi Izquierdo<sup>6</sup>, Fernando Cordero<sup>7</sup>, Manuel Vargas<sup>8</sup>, José Antonio Paramio<sup>9</sup>, José Luís Fernández<sup>1</sup>, Joel Torra<sup>10</sup> & Aritz Royo-Esnaola<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Agronomía. Universidad de Sevilla. Sevilla, España

<sup>2</sup> Crop protection. Syngenta. Jealott's Hill, United Kingdom

<sup>3</sup> Departamento de Protección Vegetal, Centro Nacional Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA, CSIC). Madrid, España

<sup>4</sup> Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Zaragoza, España

<sup>5</sup> Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA). Córdoba, España

<sup>6</sup> Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia. Universitat Politècnica de Catalunya. Castelldefels (Barcelona), España

<sup>7</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Toledo, España

<sup>8</sup> Field Trial Services Agroconsulting. Sevilla, España

<sup>9</sup> SIACYL 2019. Valladolid, España

<sup>10</sup> Departament de Ciència i Enginyeria Forestal i Agrícola, Agrotecnio-CERCA Centre, Universitat de Lleida, 25198 Lleida, España

(\*E-mail: [arias.maria@inia.csic.es](mailto:arias.maria@inia.csic.es))

<https://doi.org/10.19084/rca.35130>

Recibido/received: 2024.01.15

Aceptado/accepted: 2024.02.28

### RESUMEN

*Ridolfia segetum* (L.) Moris es una mala hierba originaria de la cuenca mediterránea que causa pérdidas de rendimiento en cultivos de invierno y de verano en el sur de España. Modelizar su emergencia es crucial para desarrollar estrategias de manejo adecuadas. Actualmente, la técnica predominante para predecir la emergencia de malas hierbas son las regresiones paramétricas no lineales pero este enfoque tiene algunas limitaciones estadísticas. El grupo de Biología y Agroecología de las Malas Hierbas (BAMh) llevó a cabo un estudio para describir y predecir el patrón de emergencia de *R. segetum* mediante una regresión no paramétrica con una distribución gaussiana. Para su desarrollo, se estudió la emergencia en cinco parcelas experimentales en Barcelona, Lleida, Madrid, Sevilla y Zaragoza durante la campaña 2016/17 y se repitió el ensayo en la campaña siguiente en Barcelona, Madrid y Zaragoza. En cada parcela se sembraron 100 semillas procedentes de una finca experimental de Sevilla en cuadrículas de 25 x 25 cm (4 repeticiones). Para el modelo se utilizó una curva acumulada de la densidad de Kernel que relacionó la emergencia con una integral hidrotérmica basada en una ecuación de dos segmentos. Se estableció una temperatura base, óptima y máxima de -1,0 °C, 8,1 °C y 26,0 °C, respectivamente y un potencial hídrico base de -0,6 MPa. Este modelo alcanza el 10 %, 50 % y 90 % de la emergencia acumulada a 43,2, 74,7 y 97,4 grados hidrotérmicos, respectivamente. En promedio, el modelo presentó un RMSE (root mean square error) de 16,81 %, oscilando entre 9,1 % y 32,5 %.

**Palabras-clave:** Integral hidrotérmica, modelos de emergencia, densidad de Kernel, temperatura base, óptima y máxima, potencial hídrico.

### ABSTRACT

*Ridolfia segetum* (L.) Moris is a weed native to the Mediterranean basin that causes yield losses in both winter and summer crops in southern Spain. Modeling its emergence is crucial for developing appropriate management strategies. Currently, the predominant technique for predicting weed emergence is non-linear parametric regression, but this approach has some statistical limitations. The Weed Biology and Agroecology Group (BAMh) conducted a study to describe and predict the emergence pattern of *R. segetum* using a non-parametric regression with a Gaussian distribution. For its development, emergence was studied in five experimental plots in Barcelona, Lleida, Madrid, Seville, and

Zaragoza during the 2016/17 season, and the trial was repeated in the following season in Barcelona, Madrid, and Zaragoza. In each plot, 100 seeds from an experimental farm in Seville were sown in 25 x 25 cm grids (4 replicates). For the model, a cumulative kernel density curve was used to relate emergence to a hydrothermal integral based on a two-segment equation. A base, optimal, and maximum temperature of -1.0 °C, 8.1 °C, and 26.0 °C, respectively, and a base water potential of -0.6 MPa were established. This model reaches 10 %, 50 %, and 90 % of cumulative emergence at 43.2, 74.7, and 97.4 hydrothermal degrees, respectively. On average, the model exhibited a root mean square error of 16.81%, ranging between 9.1 % and 32.5 %.

**Keywords:** Thermal time, weed emergence models, kernel density, base, optimum and ceiling temperature, water potential

## INTRODUCCIÓN

*Ridolfia segetum* (L.) Moris es una mala hierba umbelífera originaria de la cuenca mediterránea, que genera particular preocupación en el sur de España. Esta especie causa pérdidas de rendimiento importantes tanto en cultivos de invierno como de verano y es particularmente preocupante en el cultivo del garbanzo, que es un cultivo sensible a muchas materias activas, lo que dificulta aún más el control de la mala hierba.

El control químico de *R. segetum* con herbicidas tanto de pre- como de post-emergencia ha demostrado una eficacia limitada (Carranza *et al.*, 1995). Por este motivo, esta mala hierba se suele controlar mediante escarda manual cuando se encuentra en rodales, lo cual es un método costoso. La información sobre la biología de *R. segetum* es bastante escasa, por lo que es necesario su estudio para aumentar la información disponible con el fin de contribuir a un manejo integrado de esta mala hierba.

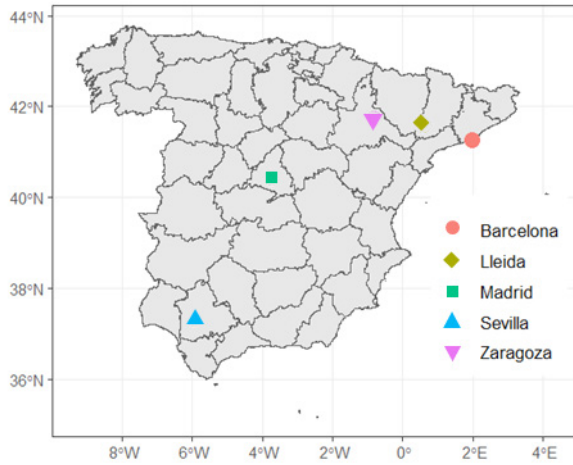
La etapa de plántula es la fase biológica más vulnerable para la mayoría de las hierbas. Por lo tanto, modelar el patrón de emergencia podría ser de gran utilidad para optimizar tanto los métodos de control químico como los no químicos. Actualmente, la regresión no lineal paramétrica es la técnica más utilizadas para predecir la emergencia de plántulas, pero este enfoque tiene algunas limitaciones estadísticas (González-Andujar *et al.*, 2016). Estas limitaciones se centran en la dependencia que tienen las regresiones no lineales en los valores iniciales óptimos para obtener un buen ajuste y su incapacidad para detectar cambios abruptos en la emergencia. Adicionalmente, los datos obtenidos para modelizar la emergencia provienen de conteos sucesivos sobre la misma unidad experimental, produciéndose datos censurados al desconocer

cómo ocurre la emergencia entre conteos y, además, correlativos, lo que incumple los requisitos para la aplicación de los análisis paramétricos. Con el fin de superar esas limitaciones estadísticas, en el presente trabajo se empleó una regresión no paramétrica basada en una distribución gaussiana para describir y predecir el patrón de emergencia de *R. segetum*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2016/17 se llevó a cabo un ensayo de emergencia de *R. segetum* en cinco localidades experimentales: Barcelona, Lleida, Madrid, Sevilla y Zaragoza (Figura 1). En la realización de los ensayos de emergencia se utilizó una población de *R. segetum* cuyas semillas se recolectaron en la temporada anterior a la siembra, proveniente de una finca comercial ubicada en Sevilla. En cada localización se sembraron cuatro repeticiones que consistían en cuadrículas de 25 x 25 cm con 100 semillas de *R. segetum* en cada una. La siembra consistió en extraer los 2 cm superiores de suelo, mezclarlos con la semilla y devolverlos al suelo. Por lo tanto, las semillas se distribuyeron de manera lo más homogénea posible. El ensayo se repitió durante la siguiente campaña en tres de las localizaciones: Barcelona, Madrid y Zaragoza. Los datos de temperatura y humedad del suelo se recogieron con dataloggers situados en cada localidad y se emplearon posteriormente para desarrollar el modelo.

El modelo no paramétrico se basó en el tiempo hidrotérmico (HTT), que es el sumatorio de los grados hidrotérmicos diarios (GHD). Los GHD se calcularon utilizando una ecuación de dos segmentos (Ecuación 1). Esta ecuación está definida por cuatro parámetros biológicos [temperatura base ( $T_b$ ),



**Figura 1** - Localización de los ensayos donde se llevó a cabo el estudio.

óptima ( $T_o$ ), temperatura techo ( $T_c$ ) y potencial hídrico base ( $\Psi_b$ ).

Si  $\Psi < \Psi_b$ :  $GHD = 0$

Si  $\Psi > \Psi_b$ :

$$\text{Si } T_b < T < T_o: GHD = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}$$

$$\text{Si } T_o < T < T_c: GHD = \frac{(T_o - T_b)(T_c - T)}{(T_c - T_o)(T_o - T_b)}$$

$$\text{Si } T > T_c \text{ o } T < T_b: GHD = 0 \quad (\text{Ecuación 1})$$

La selección de parámetros biológicos se realizó a través de un proceso iterativo, en el cual se probó la combinación de parámetros biológicos para desarrollar el HTT, que posteriormente se relacionó con la emergencia a través del modelo de regresión no paramétrico. La implementación de los modelos no paramétricos ha sido utilizada previamente por Sousa-Ortega *et al.* (2021a). Este modelo se desarrolló con el programa R, en el cual se utilizó la función "kcd" para desarrollar la curva de distribución de la Gaussiana de Kernel y la función "hpi.kcd" para seleccionar el ancho de banda. Ambas funciones se encuentran en la librería "ks".

La precisión del modelo se midió con el error cuadrático medio (RMSE, ecuación 2),

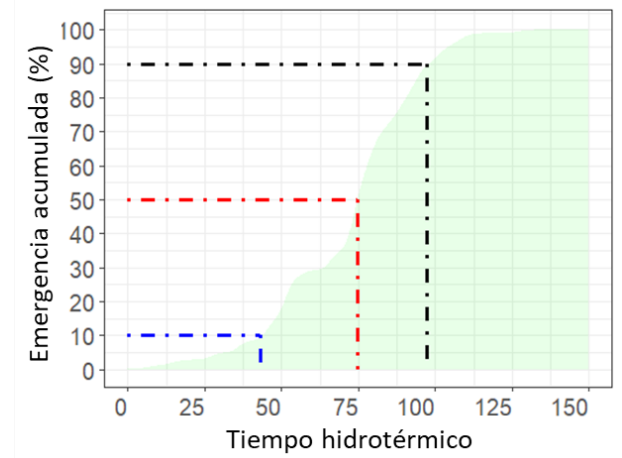
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i - y_i)^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde  $x_i$  representa el porcentaje de emergencia observado,  $y_i$  es el porcentaje de emergencia estimado por el modelo y  $n$  es el número de observaciones. Cuanto más bajos son los valores RMSE, mejor es el ajuste.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros se establecieron en  $-1,0$  °C,  $8,1$  °C y  $26,0$  °C para la  $T_b$ ,  $T_o$  y  $T_c$  respectivamente, mientras que el  $\Psi_b$  base se fijó en  $-0,6$  MPa. Estos parámetros biológicos se encuentran en el rango de los obtenidos para otras especies de emergencia otoñal-invernal, como son *C. diluta* Aiton y *A. sterilis* L. (Sousa-Ortega *et al.*, 2020; 2021b). De hecho, la  $T_b$  fue muy similar a estas dos especies (*C. diluta* =  $0,5$  °C, *A. sterilis* =  $-1,0$  °C). Por otro lado, la  $T_o$  y  $T_c$  tuvieron valores intermedios entre ambas especies, obteniendo valores superiores a los de *A. sterilis* ( $T_o = 6,6$  °C y  $T_c = 18,0$  °C) y menores a los de *C. diluta* ( $T_o = 10$  °C y  $T_c = 35,0$  °C).

Los modelos no paramétricos no pueden ser definidos fácilmente por una ecuación, como ocurre con

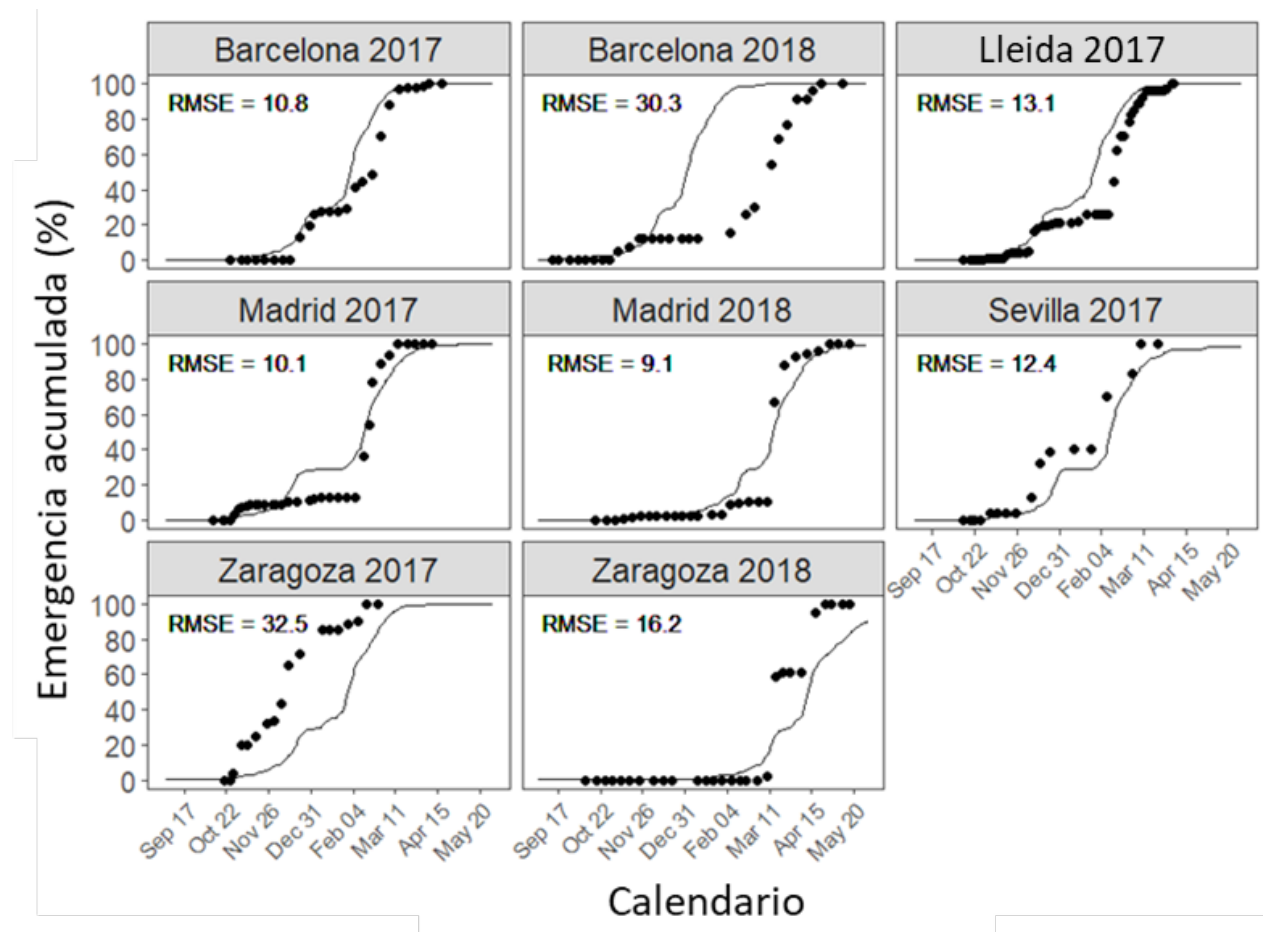


**Figura 2** - Modelo no paramétrico para la estimación de la emergencia de *Ridolfia segetum*. El área sombreada indica la emergencia acumulada en porcentaje. Las líneas punteadas indican los percentiles 10, 50 y 90, respectivamente.

las regresiones no lineales paramétricas; sin embargo, su evolución puede describirse a través de un gráfico. Este modelo alcanza el 10 %, 50 % y 90 % de emergencia a 43,2, 74,7 y 97,4 GHD (Figura 2).

La emergencia de *R. segetum* varió mucho en función de la localidad (Figura 3).

El modelo presentó un valor RMSE promedio de 16,8, con un rango de 9,1 a 32,5 (Figura 3). Estos resultados indican que en seis de las ocho situaciones, el modelo obtuvo un error menor al 15 %, nivel considerado como suficiente para la correcta utilización del modelo (García *et al.*, 2013).



**Figura 3** - Precisión del modelo de *Ridolfia segetum*. La línea negra sólida indica la predicción del modelo. Los puntos negros representan el valor observado en el campo. Los números indican el error cuadrático medio (RMSE).

La emergencia fue más precoz en Sevilla y Madrid en 2017, donde empezó a emerger a finales de octubre. La emergencia más tardía se produjo en Zaragoza en 2018, donde tuvo lugar a mediados de marzo. Además, se observó que esta especie posee una emergencia muy escalonada, que se prolongó hasta final de mayo en la mayoría de los casos, probablemente uno de los principales motivos asociados a su problemática en las zonas donde suele ser infestante.

## CONCLUSIONES

La especie *R. segetum* tuvo un perfil de emergencia muy escalonado, variando mucho el inicio de su emergencia en función de la localidad. Los parámetros biológicos para la modelización de su emergencia se establecieron en 1,0 °C, 8,1 °C, 26,0 °C y -0,6 MPa para la  $T_b$ ,  $T_o$ ,  $T_c$  y  $\Psi_b$ , respectivamente. El modelo presentó un RMSE de 16,8%, dentro de un rango comprendido entre 9,1% y 32,5%.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carranza, P.; Saavedra, M. & Garcia-Torres, L. (1995) - Competition between *Ridolfia segetum* and sunflower. *Weed Research*, vol. 35, n. 5, p. 369-375. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1995.tb01632.x>
- García, A.L.; Recasens, J.; Forcella, F.; Torra, J. & Royo-Esnal, A. (2013) - Hydrothermal emergence model for ripgut brome (*Bromus diandrus*). *Weed Science*, vol. 61, n. 1, p. 146-153. <https://doi.org/10.1614/WS-D-12-00023.1>
- González-Andujar, J.L.; Chantre, G.R.; Morvillo, C.; Blanco, A.M. & Forcella, F. (2016) - Predicting field weed emergence with empirical models and soft computing techniques. *Weed Research*, vol. 56, n. 6, p. 415-423. <https://doi.org/10.1111/wre.12223>
- Sousa-Ortega, C.; Royo-Esnal, A.; DiTommaso, A.; Izquierdo, J.; Loureiro, I.; Marí, A.I.; Cordero, F.; Vargas, M.; Saavedra, M.; Paramio, J.A.; Fernández, J.L.; Torra, J. & Urbano, J.M. (2020) - Modeling the emergence of North African knapweed (*Centaurea diluta*), an increasingly troublesome weed in Spain. *Weed Science*, vol. 68, n. 3, p. 268-277. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.22>
- Sousa-Ortega, C.; Royo-Esnal, A.; Loureiro, I.; Marí, A.I.; Lezáun, J.A.; Cordero, F.; Saavedra, M.; Paramio, J.A.; Fernández, J.L.; Torra, J. & Urbano, J.M. (2021b) - Modeling emergence of sterile oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*) under semiarid conditions. *Weed Science*, vol. 69, n. 3, p. 341-352. <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.10>
- Sousa-Ortega, C.; Royo-Esnal, A. & Urbano, J.M. (2021a) - Predicting seedling emergence of three canarygrass (*Phalaris*) species under semi-arid conditions using parametric and non-parametric models. *Agronomy*, vol. 11, n. 5, art. 893. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050893>