

Modelo predictivo de la emergencia de salsola (*Salsola tragus*)

Predictive Emergence Model of Russian Thistle (*Salsola tragus*)

Fernando H. Oreja¹, José L. Gonzalez-Andujar², Stewart B. Wuest³ & Judit Barroso^{1,*}

¹ Oregon State University, Columbia Basin Agricultural Research Center, Adams, Oregon, Estados Unidos

² Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Instituto de Agricultura Sostenible, Córdoba, España

³ Agricultural Research Service (USDA-ARS), Adams, Oregon, Estados Unidos

(*E-mail: judit.barroso@oregonstate.edu)

<https://doi.org/10.19084/rca.35131>

Recibido/received: 2024.01.15

Aceptado/accepted: 2024.02.28

RESUMEN

La salsola (*Salsola tragus*) es una especie problemática en diversas regiones semiáridas de todo el mundo. Predecir el momento de emergencia de esta especie es clave para optimizar su manejo, tanto en campos en barbecho como con trigo de primavera. El objetivo fue desarrollar y validar un modelo predictivo para la emergencia de *S. tragus* en condiciones de campo. La emergencia de plántulas se estudió en un experimento de campo con sensores de suelo para calcular el tiempo térmico (TT) medido en grados día (GD). El modelo de TT, ajustado a los datos experimentales mediante una función de Weibull, describió con precisión la emergencia acumulada de *S. tragus*. Para la validación del modelo, se llevaron a cabo tres experimentos de campo independientes, dos en campos en barbecho y uno con trigo de primavera. La emergencia acumulada de plántulas se predijo con precisión con este nuevo conjunto de datos ($R^2 = 0,99$ y $0,96$ para los barbechos y $0,77$ para el trigo de primavera), respaldando la idea de que este modelo es robusto y puede utilizarse como una herramienta predictiva para la emergencia de plántulas de *S. tragus*. Según este modelo, la emergencia de plántulas comienza a los 5 GD y el 50% y 90% de la emergencia se alcanzan a los 56 y 197 GD, respectivamente. El modelo ofrece una herramienta valiosa para optimizar programas de herbicidas en rotaciones de barbecho y trigo para el manejo de *S. tragus*. Además, tiene el potencial de reducir aplicaciones y costes de herbicidas, y contribuir a un manejo más sostenible de los agroecosistemas.

Palabras-clave: Barbecho, manejo integrado, tiempo térmico, trigo de primavera.

ABSTRACT

Russian thistle (*Salsola tragus*) is a troublesome weed in different semi-arid regions around the world. Predicting the timing of *S. tragus* emergence is crucial to optimize its management in both fallow and spring wheat fields. The objective of this research was to develop and validate a predictive model for *S. tragus* emergence under field conditions. Seedling emergence was studied in a field experiment with multiple soil sensors to calculate the thermal time (TT), estimated as growing degree days (GDD) in the study area. The TT model fit to the experimental data using a Weibull function, described *S. tragus* cumulative emergence accurately. For model validation, three independent field experiments were conducted, two in fallow and one in spring wheat. The cumulative seedling emergence was also predicted accurately with these new set of data ($R^2 = 0.99$ and 0.96 for fallow fields and 0.77 for the spring wheat field), supporting the idea that this model is robust and can be used as a predictive tool for *S. tragus* seedling emergence. According to this model, seedling emergence starts at 5 GDD, and 50% and 90% emergence is completed at 56 and 197 GDD, respectively. The model offers a valuable tool for optimizing herbicide programs in wheat-fallow rotations to manage *S. tragus*. It also has the potential to reduce herbicide applications and costs and contribute to more sustainable agro-system management. Further validation under different conditions will be needed to fine-tune *S. tragus* control in other areas.

Keywords: Fallow, integrated management, thermal time, spring wheat.

INTRODUCCIÓN

La salsola (*Salsola tragus* L.; sinónimo *Salsola kali* L.) está entre las malas hierbas más problemáticas en cultivos y áreas ruderales semiáridas en el noroeste del Pacífico (Beckie & Francis, 2009). En el trigo de primavera de esta zona, las pérdidas de rendimiento pueden oscilar entre el 11% y el 50%, dependiendo de la cantidad de lluvia (Young, 1988). Esta especie anual de verano emerge en la región de marzo a mayo (Schillinger, 2007), coincidiendo con las fechas de siembra de los cultivos de primavera o incluso precediéndolas (Ogg & Dawson, 1984). Además de las potenciales pérdidas de rendimiento, los individuos que escapan a las aplicaciones de herbicidas o que emergen más tarde pueden ser un problema grave durante la cosecha (por ralentizarla misma y disminuir el precio del grano) y después de la cosecha (Young & Whitesides, 1987), ya que consumen agua y nutrientes necesarios para el próximo cultivo. Además, el control de *S. tragus* después de la cosecha del trigo puede ser complicado y costoso. En ese momento, los herbicidas pueden ser menos efectivos debido a condiciones ambientales no adecuadas (altas temperaturas, baja precipitación y humedad del aire) (Oreja *et al.*, 2023). Por lo tanto, la predicción precisa de la emergencia de plántulas es crucial para tomar decisiones adecuadas de manejo con respecto a esta mala hierba.

Para las malas hierbas anuales, en general, la etapa del establecimiento es fundamental para garantizar el éxito reproductivo de la especie (Forcella *et al.*, 2000) y es lo que determina la intensidad de interacción entre la mala hierba y el cultivo. Un período de emergencia prolongado, con varias cohortes de emergencia, garantiza que algunos individuos puedan emerger después de los controles previos a la siembra o incluso después de aplicaciones de post-emergencia. En barbecho, la emergencia prolongada facilita que la especie pueda escapar del efecto de algunos herbicidas residuales o necesite de múltiples aplicaciones de post-emergencia para su control. Los individuos que emergen tarde no son los más importantes para causar pérdidas de rendimiento, pero contribuyen a reponer el banco de semillas para las temporadas siguientes (Grundy, 2003). Por lo tanto, predecir la emergencia de *S. tragus* es fundamental para optimizar las aplicaciones de herbicidas en el cultivo,

reducir las pérdidas de rendimiento en la campaña actual y el banco de semillas. Se han desarrollado modelos empíricos basados en la acumulación de tiempo térmico (TT) para muchas especies de malas hierbas que predicen la emergencia de plántulas en condiciones de campo. Estos modelos consideran que las semillas deben acumular una cierta cantidad de grados día (GD) por encima de una temperatura base propia de la población.

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un modelo predictivo del patrón de emergencia de plántulas de *S. tragus* en el noroeste de Estados Unidos que pueda proporcionar información precisa a los agricultores y asesores de cultivos para aumentar la eficacia de las medidas de control dirigidas a esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento para desarrollar el modelo

En el año 2020, se estableció un experimento (Sitio A) con un diseño de bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. Cada repetición constaba de diez parcelas con un tamaño de 3 m × 4,5 m cada una. Cuatrocientas semillas de *S. tragus* fueron esparcidas en el centro de cada parcela el 23 de marzo. Tras esparcir las semillas, se sembró trigo de primavera el 24 de marzo. El número de plántulas emergidas se registró cada 15 días desde el 7 de abril hasta el 29 de julio. Los datos de las diez parcelas por repetición se promediaron y se calculó el porcentaje acumulado de emergencia al final de la temporada.

Experimentos para la validación del modelo

También, en 2020, pero en un campo en barbecho sin laboreo, se llevó a cabo un experimento (Sitio B) en igualdad de condiciones que el experimento del sitio A, con la diferencia de que era un campo en barbecho y las semillas se esparcieron el 5 de marzo. En 2021, se realizaron dos experimentos, uno en barbecho y otro con trigo de primavera siguiendo el mismo diseño experimental y tamaño de parcela que los Sitios A y B. Las semillas se esparcieron el 13 de marzo en el sitio en barbecho (Sitio C), y el 10 de marzo en el sitio con trigo de

primavera (Sitio D). El número de plántulas emergidas se registró cada 15 días en 2020, desde el 31 de marzo hasta el 4 de julio en el Sitio B, y semanalmente en 2021, desde el 23 de marzo hasta el 13 de julio en los Sitios C y D, hasta que no se observaron más plántulas.

Procedimientos

La temperatura del suelo se registró cada 60 minutos en cada sitio experimental, con cuatro conjuntos de sensores (Norte, Sur, Este, Oeste) y cada conjunto tenía dos termistores a una profundidad de entre 0 y 2,5 cm. Con los datos horarios se estimó la temperatura media diaria y se la utilizó para calcular el TT ($TT = T - T_b$) (°C), donde T es la temperatura del suelo diaria y T_b es la temperatura base para la germinación de esta especie, considerada de 4 °C (Dwyer & Wolde-Yohannis, 1972). El TT acumulado se estimó desde el 28 de marzo. Para describir el patrón de emergencia se relacionó la emergencia acumulada en el Sitio A con el modelo de Weibull. La adecuación del modelo a los datos experimentales fue evaluada según la raíz cuadrada del cuadrado medio del error, la suma residual (SRES) y la suma absoluta residual (SARES) (Bastida *et al.*, 2021).

El modelo fue validado utilizando datos independientes de los sitios descritos (B, C y D), comparando la emergencia observada y la predicha de acuerdo al TT, basado en la temperatura del suelo y el modelo de Weibull. Por último, el ajuste del modelo fue evaluado comparando los valores predichos y los observados a través de una regresión lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación entre la emergencia acumulada de *S. tragus* y el TT acumulado fue adecuadamente descrita por el modelo de Weibull (Figura 1). Este modelo no mostró sesgo significativo, según indicaron los valores de SRES (-0,29) y de SARES (25,61). El modelo fue validado con conjuntos de datos independientes y concordó bien con el patrón observado de emergencia de plántulas en el Sitio B ($R^2 = 0,99$), Sitio C ($R^2 = 0,77$) y Sitio D ($R^2 = 0,96$) (Figura 2). Según el modelo, el inicio de la emergencia tiene lugar a 5GD, y el 50% y 90% de la

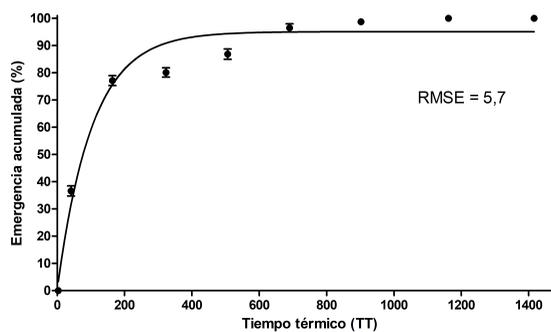


Figura 1 - Emergencia acumulada (%) observada (●) y predicha (□) de *S. tragus* en función del tiempo térmico (TT) acumulado. Las barras de error de los símbolos son el desvío estándar de las cuatro repeticiones. RMSE: error cuadrático medio (e.g. error de predicción).

emergencia se alcanza a 56 y 197GD, respectivamente, indicando un establecimiento rápido de *S. tragus* en comparación con otras especies como por ejemplo *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Echinochloa colonum* (L.) Link, *Setaria geniculata* Sieber ex Kunth y *Urochloa platyphylla* (Munro ex C.Wright) R.D.Webster (Leguizamón *et al.*, 2009).

El presente modelo puede utilizarse para ajustar las aplicaciones herbicidas en rotaciones de trigo-barbecho, de forma que optimicen y reduzcan su número. Reducir el número de aplicaciones de herbicidas disminuirá la presión de selección y consecuentemente el riesgo de desarrollar nuevas poblaciones resistentes a herbicidas (Neve *et al.*, 2009), así como la contaminación ambiental y los costos.

En los últimos años, ha habido un aumento en la demanda social de un manejo más sostenible de los agroecosistemas. En este sentido, los agricultores están poniendo más énfasis en mejorar la eficiencia de las aplicaciones de herbicidas. En este estudio, nuestro modelo térmico describe la emergencia de *S. tragus* con una precisión del 71 al 99%, como se demostró en las pruebas de validación en tres sitios diferentes que representan diferentes condiciones de campo (barbecho y trigo de primavera) durante dos años. Las investigaciones futuras deben centrarse en una validación más amplia del modelo bajo diferentes condiciones climáticas

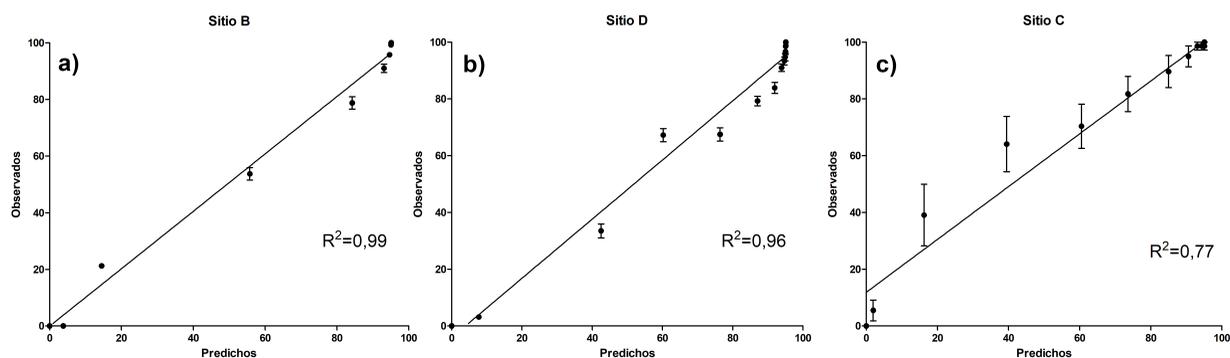


Figura 2 - Validación del modelo Weibull para *S. tragus* en el Sitio B (barbecho 2020), Sitio C (trigo de primavera 2021), y Sitio D (barbecho 2021).

y de manejo del suelo, por ejemplo, laboreo convencional donde las semillas se entierran en capas más profundas del suelo, para ajustar el momento de las medidas de control dirigidas a esta especie (Egea-Cobrero *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

El modelo demostró ser robusto y preciso para representar la emergencia acumulada de plántulas de *S. tragus* y puede utilizarse como una herramienta valiosa para optimizar programas de herbicidas para esta mala hierba en rotaciones propias de zonas semiáridas del noroeste del Pacífico donde *S. tragus* es una especie predominante.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Instituto Nacional de Alimentación y Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-NIFA) a través del proyecto de investigación titulado "Manejo Integrado y Cooperativo del Cardo Ruso (*Salsola tragus*) en el Noroeste del Pacífico Semiárido" (Proyecto No. ORE00339) y por el servicio de investigación agrícola del departamento de agricultura (USDA-ARS) a través del acuerdo cooperativo no asistido No. 58-2074-2-003 (como parte de la iniciativa de resistencia a herbicidas del noroeste del Pacífico).

Los autores agradecen al Dr. Nicholas Genna por su ayuda en el conteo de plántulas de *S. tragus* y a Jennifer Goullie y Kyle Harrison por su ayuda en el establecimiento, mantenimiento y desarrollo de los experimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastida, F.; Lezaun, J.A. & Gonzalez-Andujar, J.L. (2021) - A predictive model for the time course of seedling emergence of *Phalaris brachystachys* (short-spiked canary grass) in wheat fields. *Spanish Journal of Agriculture Research*, vol. 19, n. 3, art. e10SC02. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2021193-17876>
- Beckie, H.J. & Francis, A. (2009) - The biology of Canadian weeds. 65. *Salsola tragus* L. (Updated). *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 89, n. 4, p. 775-789. <https://doi.org/10.4141/CJPS08181>
- Dwyer, D.D. & Wolde-Yohannis, K. (1972) - Germination, emergence, water use, and production of Russian thistle (*Salsola kali* L.). *Agronomy Journal*, vol. 64, n. 1, p. 52-55. <https://doi.org/10.2134/agronj1972.00021962006400010017x>
- Egea-Cobrero, V.; Bradley, K.; Calha, I.; Davis, A.S.; Dorado, J.; Forcella, F.; Lindquist, J.L.; Sprague, C.L. & Gonzalez-Andujar, J.L. (2020) - Validation of predictive empirical weed emergence models of *Abutilon theophrasti* Medik. based on intercontinental data. *Weed Research*, vol. 60, n. 4, p. 297-302. <https://doi.org/10.1111/wre.12428>
- Forcella, F.; Benech-Arnold, R.L.B.; Sanchez, R. & Ghera, C.M. (2000) - Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, vol. 67, n. 2, p. 123-139. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00088-5)
- Grundy, A.C. (2003) - Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research*, vol. 43, n. 1, p. 1-11. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00317.x>
- Leguizamón, E.S.; Rodríguez, N.; Rainero, H.; Perez, M.; Perez, L.; Zorza, E. & Fernández-Quintanilla, C. (2009) - Modelling the emergence pattern of six summer annual weed grasses under no tillage systems in Argentina. *Weed Research*, vol. 49, n. 1, p. 98-106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00669.x>
- Neve, P.; Vila-Aiub, M.M. & Roux, F. (2009) - Evolutionary thinking in agricultural weed management. *New Phytologist*, vol. 184, n. 4, p. 783-793. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03034.x>
- Ogg, A.G. & Dawson, J.H. (1984) - Time of emergence of eight weed species. *Weed Science*, vol. 32, n. 3, p. 327-335. <https://doi.org/10.1017/S0043174500059087>
- Oreja, F.H.; Lyon, D.J.; Gourlie, J.; Wetzel, H.C. & Barroso, J. (2023) - Russian thistle (*Salsola tragus*) post-harvest control and plant dispersal. *Weed Technology*, vol. 37, n. 5, p. 545-553. <https://doi.org/10.1017/wet.2023.58>
- Schillinger, W.F. (2007) - Ecology and control of Russian thistle (*Salsola iberica*) after spring wheat harvest. *Weed Science*, vol. 55, n. 4, p. 381-385. <https://doi.org/10.1614/WS-06-189>
- Young, F.L. (1988) - Effect of Russian thistle (*Salsola iberica*) interference on spring wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, vol. 36, n. 5, p. 594-598. <https://doi.org/10.1017/S0043174500075469>
- Young, F.L. & Whitesides, R.E. (1987) - Efficacy of postharvest herbicides on Russian thistle (*Salsola iberica*) control and seed germination. *Weed Science*, vol. 35, n. 4, p. 554-559. <https://doi.org/10.1017/S0043174500060549>