

¿Deben los modelos de emergencia de *Lolium rigidum* adaptarse en función de las condiciones climáticas?

SOUSA-ORTEGA C¹, CHAMBER E², URBANO JM³, IZQUIERDO J⁴, ESCORIAL C⁵, MARÍ-LEÓN AI⁶, CORDERO F⁷, VARGAS M⁸, SAAVEDRA M⁹, LEZAUN JA¹⁰, PARAMIO JA¹¹, FERNÁNDEZ JL¹², TORRA J¹³, ROYO-ESNAL A^{14*}.

^{1,2,3} Dpto. Ciencias Agroforestales, Universidad de Sevilla, Sevilla.

carlos.sousa.ortega@gmail.com, urbano@us.es

⁴ Dpt. Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelfel·ls, Barcelona.

jordi.izquierdo@upc.edu

⁵ Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Madrid.

escorial@inia.es

⁶ Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA), Zaragoza.

ai.marileon@gmail.com

⁷ Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Toledo.

fercorme@gmail.com

⁸ Field Trial Services Agroconsulting (FTS), Sevilla.

mvgas@fts-spain.com

⁹ Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Córdoba.

mariam.saavedra@juntadeandalucia.es

¹⁰ Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (INTIA), Navarra.

jlezaun@intiasa.es

¹¹ Asociación de Investigación de Mejora del Cultivos de la Remolacha Azucarera (AIMCRA), Valladolid.

paramio15@gmail.com

¹² ADAMA Agriculture España SA, Madrid

jose-luis.fernandez@adama.com

^{13,14} Agrotecnio, Universitat de Lleida, Lleida.

joel@hbj.udl.cat, *aritz@hbj.udl.cat

Resumen: *Lolium rigidum* es una problemática mala hierba a nivel mundial que en España produce importantes pérdidas de cultivo y económicas. El grupo de Biología y Agroecología de Malas hierbas (BAMh) de la SEMh ha estudiado la emergencia de esta especie durante dos campañas, 2016-17 y 2017-18. Para ello, se estableció un experimento en 10 localidades con una población de *L. rigidum* recolectada en Cataluña y se realizó el seguimiento de su emergencia cada 2-7 días. La emergencia se parametrizó en función de registros de temperatura y humedad procedentes de un datalogger enterrado a 2 cm. Los resultados muestran que el uso de los grados térmicos horarios es suficiente para una correcta descripción de la emergencia, desechando la opción de aplicar los grados hidrotérmicos, más comunes en los modelos de malas hierbas de invierno. Sin embargo, la emergencia de esta población de *L. rigidum* fue diferente en el centro y noreste de España respecto al sur, sugiriendo un efecto ambiental debido a su adaptación climática. Por ello, se plantea la necesidad de incluir

poblaciones locales con el fin de adaptar el modelo desarrollado en el presente trabajo para los biotipos climáticos existentes.

Palabras clave: tiempo hidrotérmicos, tiempo térmico, función Weibull.

1. Introducción

Lolium rigidum Gaud. es una mala hierba problemática a nivel mundial. Además de su capacidad competitiva, que reduce las cosechas de los cultivos, desarrolla fácilmente resistencia a herbicidas. Por todo ello ha sido una de las malas hierbas más estudiadas por los científicos, llegando a desarrollar programas específicos para su control, como el RIM (Panell *et al.*, 2004).

Por otro lado, desde un punto de vista práctico, los modelos capaces de describir la emergencia de las malas hierbas han sido estudiados en los últimos años para numerosas especies, entre ellas *L. rigidum* (Izquierdo *et al.*, 2013). La mayor parte de estos trabajos han intentado buscar un modelo único que pudiera ser ampliamente aplicado, pero en la mayoría de los casos la precisión de dichos modelos disminuye a medida que cambian las condiciones en las que éstos fueron desarrollados (Izquierdo *et al.*, 2013). La explicación para esta tendencia puede ser tanto la variación intra-poblacional como inter-poblacional. Dentro del marco global de cambio climático, las dificultades que puede haber a la hora de desarrollar modelos de emergencia comunes pueden ser todavía mayores.

Con el objeto de estudiar el efecto de diferentes condiciones climáticas sobre la emergencia de *L. rigidum*, el Grupo de Trabajo de Biología y Agroecología de Malas hierbas de la SEMh decidió implementar un mismo protocolo de experimentación en varias localidades distribuidas por España.

2. Material y Métodos

2.1. Diseño experimental. Las semillas de *L. rigidum* se recogieron en Solsona (Lleida, Cataluña) en junio de 2016 y se distribuyeron entre todos los participantes. El experimento se ubicó en 10 localidades diferentes (Tabla 1). En cada una de las localidades se instalaron cuadros de 0,25 m x 0,25 m y se sembraron 100 semillas por cuadro, con cuatro repeticiones. La siembra se realizó removiendo el suelo con las semillas hasta una profundidad aproximada de 2 cm, de tal manera que éstas quedaran distribuidas lo más homogéneamente posible. La siembra se realizó en octubre de 2016 (Tabla 1) y los muestreos de las emergencias se realizaron cada 2-7 días de manera destructiva. El seguimiento de las emergencias continuó en la campaña 2017-18. Con el objeto de parametrizar la emergencia, se puso junto al experimento un datalogger, con un termómetro digital y un sensor analógico de humedad a 2 cm de profundidad.

Tabla 1: Coordenadas de las 10 localidades. Se aportan también las abreviaturas y las fechas de siembra.

	Lugar	Abreviatura	Latitud	Longitud	Fecha de siembra
1	Córdoba	COR	37°51'32''N	04°48'03''W	17/10/2016
2	Lleida	LLE	41°37'41''N	0°35'32''E	11/10/2016
3	Madrid	MAD	40°27'29''N	03°45'01''W	10/10/2016
4	Pamplona	NAV	42°49'04''N	01°43'18''W	11/10/2016
5	Sevilla FTS	FTS	37°07'39''N	05°40'37''W	21/10/2016
6	Sevilla ETSIA	ETSIA	37°21'07''N	05°56'20''W	11/10/2016
7	Sevilla 2H	2H	37°21'01''N	05°53'35''W	11/10/2016

8	Toledo	TOL	40°03'18''N	04°25'33''W	11/10/2016
9	Valladolid	VLL	41°38'49''N	04°38'49''W	18/10/2016
10	Zaragoza	ZAR	41°43'46''N	0°48'28''W	07/10/2016

2.2. *Análisis estadístico.* Para el análisis se utilizaron los datos de aquellas localidades y años en los que la emergencia fue superior al 10% para que pudieran ser suficientemente representativos (Guillemin *et al.*, 2013). Los datos de la emergencia acumulada fueron analizados en base a los grados térmicos (TT) ([1] y [3]) y grados hidrotérmicos (HTT) ([2] y [4]) de la siguiente manera:

Si $T_b < T_t < T_o$.

$$TT_t = \Sigma(T_t - T_b) \quad [1]$$

$$HTT_t = \Sigma(T_t - T_b) (H_t - H_b) \quad [2]$$

Y si $T_o < T_t < T_c$:

$$TT_t = \Sigma(T_c - T_t) \quad [3]$$

$$HTT_t = \Sigma(T_c - T_t) (H_t - H_b) \quad [4]$$

Donde T_b es la temperatura base, T_o la temperatura óptima, T_c la temperatura máxima, T_t la temperatura en el tiempo t , H es la humedad y H_b la humedad base. La humedad, a su vez, fue estimada a partir la conductividad eléctrica (EC): dado que la EC aumenta con la falta de humedad, el porcentaje de humedad se estimó con el inverso de los valores mínimos y máximos de EC en el suelo.

Estos datos de emergencia acumulada de analizaron mediante la función de Weibull [5].

$$Y = A * e^{(-e^{(b(\log(T) - \log(T_{50})))})} \quad [5]$$

Donde Y es la emergencia acumulada, A la emergencia máxima, b el ritmo de emergencia en el punto T_{50} , que es el tiempo térmico o hidrotérmico necesario para alcanzar el 50% de emergencia.

La bondad de ajuste de los modelos se analizó mediante el error de la raíz de los mínimos cuadrados (RMSEP) [6].

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad [6]$$

Donde x_i representa el porcentaje de emergencia observado, y_i es el porcentaje de emergencia predicho y n es el número de observaciones.

3. Resultados y Discusión

La emergencia de *L. rigidum* fue superior al 10% en todas las localidades en el primer año de experimentación, pero en el seguimiento del segundo año este valor sólo fue superado en Córdoba. Por ello, se usaron los datos de 2016-17 de nueve localidades más los dos años de Córdoba. Los resultados muestran que la emergencia de esta población de *L. rigidum* se pudo describir tanto con un modelo térmico como con otro hidrotérmico (Figura 1). En ambos casos el error medio de todas las localidades es aceptable, 12,6 y 12,5% respectivamente para el modelo basado en TT y HTT respectivamente (Tabla 2). A pesar de la ligera mejoría obtenida

por el modelo basado en HTT, ésta no resulta significativa, lo que nos llevó a desestimarla debido a la mayor dificultad que entraña el cálculo de los grados HTT respecto a los grados TT.

Por otro lado, se observan dos grupos de localidades, bien diferenciados por el ajuste obtenido con los modelos desarrollados. El primero engloba aquéllas localidades donde el RMSEP es menor del 10%, todas ubicadas en el centro y noreste de España (LLE, MAD, NAV, TOL y ZAR), y el segundo con localidades donde el RMSEP fue mayor del 10% (COR 2016-17 y 2017-18, FTS, 2H, ETSIA y VLL) (Tabla 2).

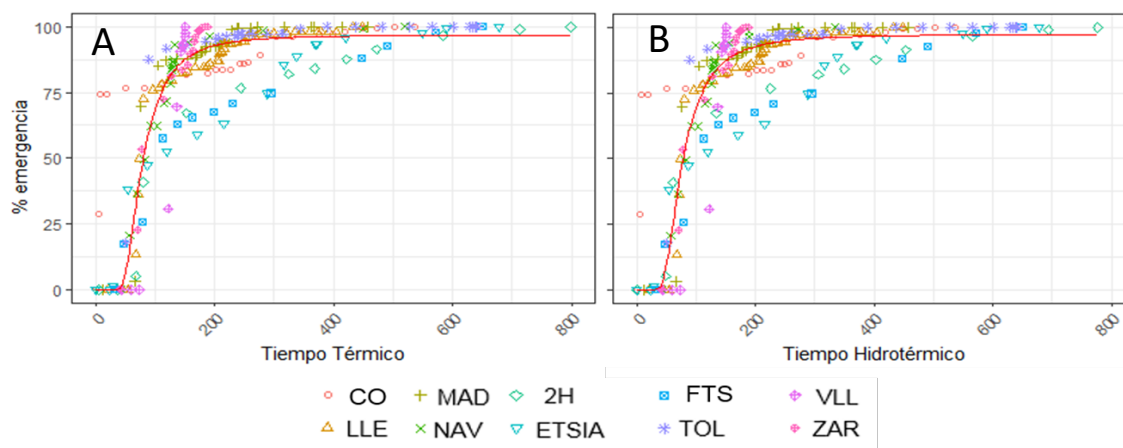


Figura 1: Emergencia acumulada en cada lugar (puntos) y modelo desarrollado (línea), A, en base a tiempo térmico (°C); B, en base a tiempo hidrotérmico (°C). Cada uno de los puntos representa la media de cuatro repeticiones. COR, Córdoba; LLE, Lleida; MAD, Madrid; NAV, Navarra; FTS, Sevilla FTS; 2H, Sevilla 2H; ETSIA, Sevilla ETSIA; TOL, Toledo, VLL, Valladolid; ZAR, Zaragoza.

Tabla 2. Valores de la raíz de los errores medios cuadrados (RMSEP) obtenidos por los modelos para cada localidad en 2016-17 y en Córdoba 2017-18 (única localidad con más del 10% de emergencia el segundo año), y la media de todos ellos.

Localidad	RMSEP modelo TT			RMSEP modelo HTT		
	A = 97,1	b = -3,321	T ₅₀ = 114,2	A = 97,4	b = -3,316	T ₅₀ = 110,3
Córdoba	26,1			25,8		
Lleida	8,3			8,3		
Madrid	8,4			8,4		
Navarra	4,5			4,7		
Sevilla FTS	18,2			18,3		
Sevilla 2H	14,3			12,0		
Sevilla ETSIA	16,3			16,2		
Toledo	6,5			6,3		
Valladolid	21,2			21,7		
Zaragoza	5,5			5,7		
Córdoba (2017-18)	13,9			13,7		
Media	12,6			12,5		

En vista de los resultados se separaron las localidades del centro y del noreste de las del sur y de Valladolid, y se aplicó nuevamente el modelo de Weibull para cada grupo (de las poblaciones del sur se excluyó Valladolid). Como resultado se obtuvieron dos modelos, uno para cada grupo, siendo los resultados muy diferentes (Tabla 3): el modelo desarrollado para las poblaciones del centro y noreste de España fue muy preciso (Figura 2A) y obtuvo un RMSEP medio de 5,9 (Tabla 3), mientras que el modelo desarrollado para las poblaciones del sur fue menos preciso (Figura 2B), obteniendo un RMSEP de 15,2.

Estos resultados sugieren que la adaptación a las condiciones climáticas de origen de la población escogida determinó su emergencia en el resto de localidades. Así, la emergencia fue muy parecida en localidades climáticamente más próximas, mientras que en aquéllas que presentaron climas diferentes, ésta varió. Queda, por lo tanto, la duda de si el comportamiento de la emergencia de las poblaciones locales, sobre todo aquéllas de las localidades del Sur, difiere o no de la población utilizada en este ensayo, y la necesidad o no de desarrollar modelos de emergencia específicos para cada región climática. Los estudios futuros del Grupo de Trabajo BAMh se dirigen hacia este aspecto.

Tabla 3. Valores de la raíz de los errores medios cuadrados (RMSEP) obtenidos con la función de Weibull para las localidades del Norte (A) y las del Sur (B), para describir la emergencia de *L. rigidum*. Norte: Lleida, Madrid, Navarra, Toledo y Zaragoza; Sur: Córdoba, Sevilla FTS, Sevilla 2H y Sevilla ETSIA. Se aportan los parámetros A, b y T_{50} de las fórmulas correspondientes. Los parámetros base fueron $T_b = 7,0^{\circ}\text{C}$, $T_o = 10,6^{\circ}\text{C}$ y $T_c = 20,4^{\circ}\text{C}$ en las localidades del norte, y $T_b = 7,0^{\circ}\text{C}$, $T_o = 7,5^{\circ}\text{C}$ y $T_c = 19,0^{\circ}\text{C}$ en las localidades del sur.

	RMSEP	A	b	T_{50}
Localidades Norte	5,9	98,40961	-3,602511	66,88
Localidades Sur	15,2	106,4847	-0,8516805	60,35

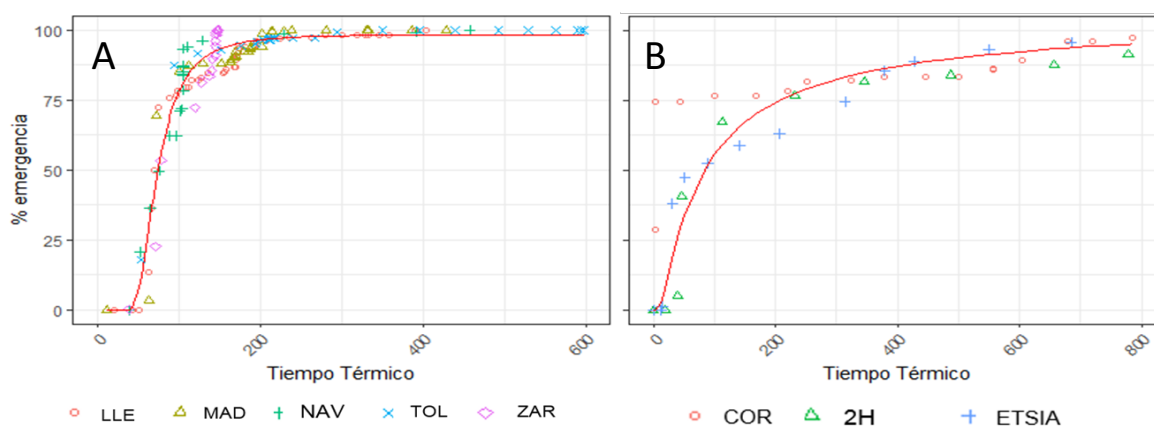


Figura 2: A, modelo Weibull de emergencia basado en tiempo térmico para las localidades del Norte (RMSEP = 5.9), excepto Valladolid; B, modelo Weibull de emergencia basado en tiempo térmico para las localidades del Sur (RMSEP = 15.2). COR, Córdoba; LLE, Lleida; MAD, Madrid; NAV, Navarra; FTS, Sevilla FTS; 2H, Sevilla 2H; ETSIA, Sevilla ETSIA; TOL, Toledo; ZAR, Zaragoza.

4. Conclusiones

Se ha desarrollado con éxito un modelo para la emergencia de *L. rigidum*, pero probablemente su aplicabilidad sea limitada al centro y noreste de España. Por otro lado, se demuestra la necesidad de validar este modelo con poblaciones locales, así como desarrollar otros modelos que puedan describir mejor la emergencia de poblaciones de *L. rigidum* adaptadas a condiciones climáticas diferentes a la utilizada en este trabajo.

5. Agradecimientos

Este estudio ha sido cofinanciado por la Cátedra Adama y por la Sociedad Española de Malherbología (SEMh). Así mismo, queremos agradecer a todas las personas que, de un modo u otro, han colaborado en la toma de datos de los experimentos.

Referencias

GUILLEMIN JP, GARDARIN A, GRANGER S, REIBEL C, MUNIER-JOLAIN N & COLBACH N (2013) Assessing potential germination period of weeds with base temperature and base water potentials. *Weed Research* 53, 76-87.

IZQUIERDO J, BASTIDA F, LEZÁUN JA, SÁNCHEZ DEL ARCO MJ & GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL (2013) Development and evaluation of a model for predicting *Lolium rigidum* emergence in winter cereal crops in the Mediterranean area. *Weed Research* 53, 269-278.

PANELL DJ, STEWART V, BENNETT A, MONJARDINO M, SCHMIDT C & POWLES SB (2004). RIM: A bioeconomic model for integrated weed management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agricultural Systems* 79, 305-325.

Should emergence models for *Lolium rigidum* be adapted depending on the climatic conditions?

Summary: *Lolium rigidum* is a worldwide spread noxious weed that produces important yield and economic losses in Spain. The Working Group of Weed Biology and Agroecology (BAMh) of the Spanish Weed Science Society (SEMh) has studied its emergence pattern over two seasons, 2016-17 and 2017-18. A common experiment was set in 10 sites over Spain, using the same *L. rigidum* population, harvested in Catalonia, in all of them, and its emergence was followed every 2-7 days. The emergence was parametrized with temperature and humidity data, recorded by a datalogger buried at 2 cm in the soil. The results show that thermal time is enough for a fair description of the emergence, discarding the use of hydrothermal time models, more common when describing the emergence of winter weeds. But the emergence of this population of *L. rigidum* was different in the Northern and Central sites of Spain from the Southern sites, suggesting an effect due to its climatic adaptation. For this reason, the inclusion of local populations is considered in order to adapt the developed model to the climatic biotypes of each site.

Keywords: hydrothermal time, thermal time, Weibull.