

Modelo de hidrotiempo para la salida de la dormición en semillas de *Lithospermum arvense*

G.R. Chantre, M.R. Sabbatini, G.A. Orioli (Departamento de Agronomía/CERZOS, Universidad Nacional del Sur/CONICET, Argentina. E-mail: gchantre@criba.edu.ar).

Lithospermum arvense L. es una maleza anual de invierno que invade cultivos de trigo del sur de la provincia de Buenos Aires en Argentina. Al momento de la dispersión primaria sus semillas presentan dormición fisiológica parcial. El objetivo del presente trabajo consistió en modelar la salida de la dormición de las semillas de *L. arvense* a través de los cambios en los parámetros de hidrotiempo de la población durante el proceso de post-maduración. Las semillas fueron almacenadas en seco a 5, 15, 24 y 30°C durante 180 días y durante ese lapso fueron incubadas a 10°C a diferentes potenciales agua al cabo distintos períodos de post-maduración. El potencial agua base medio de la población ($\psi_{b(50)}$) se redujo progresivamente con el incremento en el tiempo y la temperatura de post-maduración. La constante de hidrotiempo (θ_H) y el desvío estándar del potencial agua base (σ_{ψ_b}) no mostraron una tendencia estadísticamente significativa en relación con el tiempo o la temperatura de post-maduración. Basado en estos resultados, se desarrolló un modelo de tiempo térmico que utiliza el $\psi_{b(50)}$ como indicador del status de dormición de la población. El modelo describe los cambios en los valores de $\psi_{b(50)}$ como función de un índice de tiempo térmico de post-maduración (θ_{AT}) que cuantifica la acumulación de unidades de tiempo térmico (°Cd) para la salida de la dormición. La validación del modelo con datos independientes de campo mostró una predicción aceptable del tiempo y los porcentajes de germinación.

PALABRAS CLAVE: maleza anual, germinación, dormición, post-maduración.

INTRODUCCIÓN

Lithospermum arvense L. (= *Buglossoides arvensis* (L.) I.M. Johnston) es una especie anual facultativa de invierno nativa de Eurasia. En Argentina, particularmente en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires, *L. arvense* se ha convertido recientemente en una maleza de creciente importancia en cereales de invierno (CHANTRE *et al.*, 2009b).

Al momento de la dispersión primaria las semillas de *L. arvense* presentan dormición fisiológica, requiriendo un período de post-maduración para la salida de la dormición (BASKIN y BASKIN, 1998). Según Baskin y Baskin (1998), la post-maduración es el proceso mediante el cual las semillas de las especies anuales de invierno salen de la dormición luego de la exposición a temperaturas cálidas. Según Bradford (1995), los cambios en el status de dormición de las semillas pueden ser modelados en relación con el potencial agua base de la población (Ψ_b) de acuerdo al concepto de hidrotiempo propuesto por Gummerson (1986). Los modelos de hidrotiempo describen la respuesta germinativa al potencial agua (Ψ) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\theta_H = (\Psi - \Psi_{b(g)}) t_g \quad (1)$$

donde θ_H es el hidrotiempo (Mpa h) requerido para la germinación, Ψ es el potencial agua del medio (MPa), $\Psi_{b(g)}$ es el potencial agua base que previene la germinación de una fracción g de la población, y t_g es el tiempo de germinación de dicha fracción g . El modelo asume que Ψ_b se encuentra normalmente distribuido en la población con una media ($\Psi_{b(50)}$) y un desvío (σ_{Ψ_b}) mientras que θ_H se considera constante (BRADFORD, 1990).

La temperatura es el factor principal del ambiente que regula los cambios en el status de dormición en hábitats templados (BENECH-ARNOLD *et al.*, 2000). Por lo tanto, los modelos de tiempo térmico pueden ser muy útiles para cuantificar los cambios en la distribución de los parámetros de hidrotiempo de la población en relación con las condiciones de post-maduración. El objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar un modelo de tiempo térmico para la salida de la dormición en semillas de *L. arvense* basado en los cambios en los parámetros de hidrotiempo de la población durante el proceso de post-maduración.

Material y métodos

Tratamientos de post-maduración. Las semillas de *L. arvense* fueron cosechadas de un campo de trigo localizado en las cercanías de Bahía Blanca (latitud 38°44'S, longitud 62°16'O), Argentina, al momento de la dispersión primaria (Diciembre 2006). Luego de la cosecha fueron almacenadas en cámaras de crecimiento a temperaturas constantes de 5, 15, 24 y 30°C durante 180 días. Se evaluó la germinación en semillas recién cosechadas y al cabo de 60, 87, 118 y 180 días de post-maduración.

Protocolo de germinación. Se colocaron 50 semillas de *L. arvense* en una caja de petri de 9 cm de diámetro conteniendo 2 hojas de papel de filtro humedecidas con 5 ml de agua destilada o diferentes soluciones de polietilenglicol (PEG 6000) estableciendo potenciales agua de -0.2, -0.4, -0.8 y -1.2 MPa. Las soluciones de PEG 6000 fueron preparadas de acuerdo a Michel y Kaufmann (1973). Las cajas de petri se envolvieron con parafilm para evitar la evaporación y se colocaron en una cámara de germinación a una temperatura óptima de 10°C (CHANTRE *et al.*, 2009a). Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, excepto para la evaluación del modelo donde se usaron seis réplicas. Se aplicó un régimen fotoperiódico de 12 h. La germinación se monitoreó a intervalos regulares al cabo de un período de incubación de 21 días. Los porcentajes de germinación se calcularon sobre la fracción de semillas viables previamente determinada mediante test de viabilidad de tetrazolio 0.1%.

Cálculo de los parámetros de hidrotiempo. Las curvas de germinación acumulada obtenidas bajo los diferentes potenciales agua (0, -0.2, -0.4, -0.8 y -1.2 MPa) para cada tratamiento de post-maduración fueron analizadas mediante regresiones repetidas utilizando el método probit a fin de obtener los parámetros de hidrotiempo de la población ($\Psi_{b(50)}$, Θ_H y $\sigma\Psi_b$). El modelo de hidrotiempo aplicado fue previamente descrito por Bradford (1990, 1995) y Dahal y Bradford (1990).

Desarrollo de un modelo de tiempo térmico para la salida de la dormición. A fin de cuantificar el efecto del tiempo y la temperatura de post-maduración sobre los cambios en los pará-

metros de hidrotiempo de la población se utilizó un índice que permite cuantificar la acumulación de unidades de tiempo térmico de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Theta_{AT} = (T_s - T_i)t_{dr} \quad (2)$$

donde Θ_{AT} es el tiempo térmico de post-maduración, T_s es la temperatura de post-maduración, T_i es la temperatura base (por debajo de la cual no se acumula tiempo térmico) y t_{dr} es el tiempo de post-maduración. La temperatura base de post-maduración en *L. arvense* fue previamente estimada en -6°C (CHANTRE *et al.*, 2009a). El desarrollo del modelo se resume en los siguientes párrafos:

1. Determinar los parámetros de hidrotiempo para semillas almacenadas en seco a 5, 15, 24 y 30°C durante distintos tiempos de post-maduración.
2. Caracterizar los cambios en el $\Psi_{b(50)}$ en función del tiempo y la temperatura de post-maduración, y derivar ecuaciones que relacionen la tasa de cambio de este parámetro con Θ_{AT} .
3. Usar la ecuación desarrollada en (2) para predecir los cambios en el $\Psi_{b(50)}$ de semillas enterradas a campo y usar dichos valores para simular la germinación y contrastar con los datos obtenidos en forma experimental.

Evaluación del modelo. Se realizó un experimento en condiciones de campo a fin de comparar las predicciones del modelo con datos independientes. Las semillas de *L. arvense* fueron cosechadas al momento de la dispersión primaria (Enero 2008) y luego enterradas a campo en bolsas plásticas cribadas (350 semillas por bolsa). Al cabo de 30, 70 y 95 días fueron exhumadas e incubadas de acuerdo al protocolo de germinación descrito anteriormente. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con seis repeticiones.

Resultados y discusión

Se observó una reducción progresiva en los valores de $\Psi_{b(50)}$ a medida que el tiempo ($P < 0.001$) y la temperatura ($P < 0.01$) de post-maduración se incrementaron. Los cambios observados en el $\Psi_{b(50)}$

fueron adecuadamente descritos como funciones lineales negativas del tiempo de post-maduración a cada temperatura de almacenamiento (Figura 1). Análogamente, Bauer *et al.* (1998) observaron patrones lineales de reducción del $\Psi_{b(50)}$ con el tiempo de post-maduración en semillas de *Bromus tectorum*. Contrariamente, los valores de Θ_H y $\sigma\Psi_b$ no mostraron una variación consistente en relación con el tiempo o la temperatura de post-maduración ($P > 0.05$). Los cambios en el $\Psi_{b(50)}$ fueron adecuadamente modelados como una función exponencial negativa respecto del índice de acumulación de tiempo térmico de post-maduración (Figura 2). Como se infiere de la Figura 2, la tasa de reducción del $\Psi_{b(50)}$ (expresada en MPa °Cd⁻¹) fue mayor durante los primeros 3000 °Cd para luego reducirse a medida que las semillas suplían su requerimiento de tiempo térmico para la salida de la dormición. Batlla y Benech-Arnold (2004) reportaron un patrón exponencial negativo de reducción del $\Psi_{b(50)}$ en función de la acumulación de tiempo térmico de estratificación en semillas de *Polygonum aviculare*.

La capacidad predictiva del modelo de tiempo térmico desarrollado se evaluó con datos obtenidos de un experimento independiente. La proporción de semillas germinadas se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$p(\Psi_{b(g)}) = \Phi[(\Psi_{b(g)} - \Psi_{b(50)})/\sigma\Psi_b] \quad (3)$$

donde p es la proporción de semillas germinadas a un valor dado de Ψ_b correspondiente a una fracción g de la población. Φ es la integral de la probabilidad normal, $\Psi_{b(50)}$ y $\sigma\Psi_b$ son la media y el desvío estándar de la distribución normal.

La simulación de los porcentajes de germinación obtenidos a partir de semillas exhumadas se basó en la estimación de los valores de $\Psi_{b(50)}$ en función de Θ_{AT} (ecuación Figura 2). Los parámetros Θ_H y $\sigma\Psi_b$ se consideraron constantes para el proceso de simulación, utilizándose valores promedios ($\sigma\Psi_b = 0.29$ MPa y $\Theta_H = 219$ MPa h).

El modelo desarrollado logró estimar adecuadamente las curvas de germinación observadas (raíz cuadrado medio de error = 10.8) habiéndose obtenido una buena correlación entre los porcentajes de germinación observados y los valores predichos (coeficiente de correlación de Pearson, $r = 0.96$).

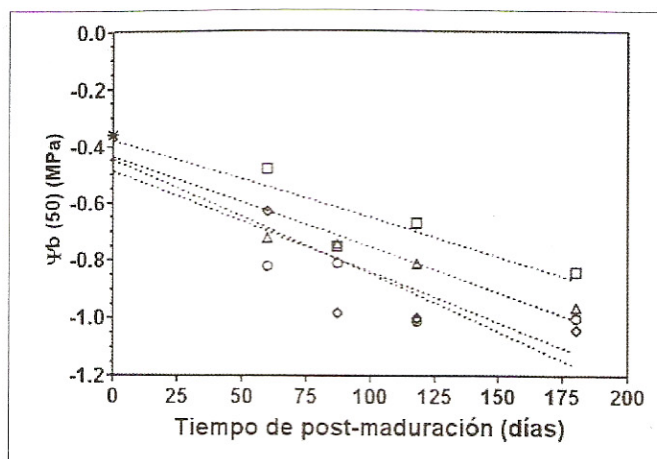


Figura 1. Valores estimados de $\Psi_{b(50)}$ para semillas recién cosechadas (*) y almacenadas en seco a 5°C (□), 15°C (Δ), 24°C (○) y 30°C (◇) en función del tiempo de post-maduración. Las líneas punteadas corresponden a ecuaciones lineales ajustadas para cada temperatura de post-maduración con $R^2 > 0.80$.

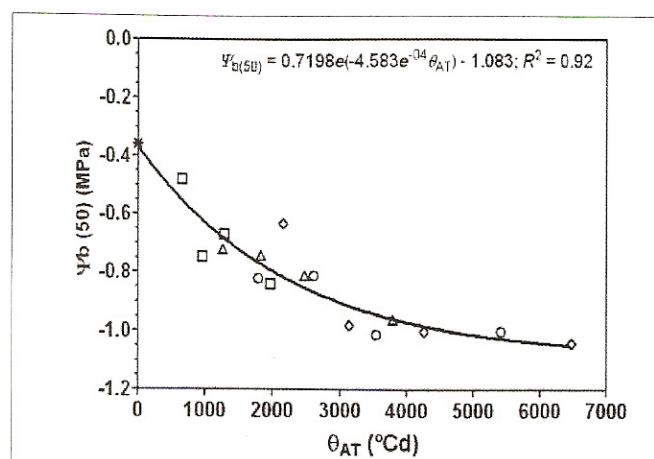


Figura 2. Valores estimados de $\Psi_{b(50)}$ para semillas recién cosechadas (*) y almacenadas en seco a 5°C (□), 15°C (Δ), 24°C (○) y 30°C (◇) en función del tiempo térmico de post-maduración (Θ_{AT}).

Conclusiones

La decisión de desarrollar un modelo de tiempo térmico para la salida de la dormición de *L. arvense* basado en los cambios en el potencial agua base medio de la población ($\Psi_{b(50)}$) durante el proceso de post-maduración permitió una adecuada predicción del comportamiento germinativo de semillas sometidas a distintos tratamientos de post-maduración a campo.

Summary: Hydrotime model for *Lithospermum arvense* L. seed dormancy release.

Lithospermum arvense L. is an annual weed which invades wheat crops of the south area of the Buenos Aires province in Argentina. At the time of their natural dispersal, they show conditional physiological dormancy. The objective of the present work was to model *L. arvense* seed dormancy release through the changes in population hydrotime parameters during the after-ripening process. Seeds were dry stored at 5, 15, 24 and 30°C during 180 days and after different after-ripening time-periods they were incubated at 10°C at different water potentials. The population mean base water potential ($\Psi_{b(50)}$) progressively decreased as after-ripening time and temperature increased. The hydrotime

constant (Θ_H) and the standard deviation of the base water potential ($\sigma\Psi_b$) showed no statistically significant trend in relation to the after-ripening time and temperature. Based on these results, a thermal time model which uses $\Psi_{b(50)}$ as an indicator of the dormancy status of the population was developed. The model describes the changes in $\Psi_{b(50)}$ as a function of an after-ripening thermal time index (Θ_{AT}) which quantifies the accumulation of thermal time units (°Cd) for seed dormancy release. Model validation performed with independent data from a field experiment showed an acceptable prediction of timing and percentage of seed germination.

KEY WORDS: annual weed, germination, dormancy, after-ripening.

BIBLIOGRAFÍA

- BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. (1998). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. San Diego, 49-378.
- BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R.L. (2004). A predictive model for dormancy loss in *Polygonum aviculare* L. seeds based on changes in population hydrotime parameters. *Seed Science Research* 14, 277-286.
- BAUER, M.C.; MEYER, S.E.; ALLEN, P.S. (1998). A simulation model to predict seed dormancy loss in the field for *Bromus tectorum* L. *Journal of Experimental Botany* 49, 1235-1244.
- BENECH-ARNOLD, R.L.; SÁNCHEZ, R.A.; FORCELLA, F.; KRUK, B.C.; GHERSA, C.M. (2000). Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research* 67, 105-122.
- BRADFORD, K.J. (1990). A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology* 94, 840-849.
- BRADFORD, K.J. (1995). Water relations in seed germination. En: *Seed development and germination*. Kigel, J.; Galili, G. Marcel Dekker. New York, 351-396.
- CHANTRE, G.R.; BATLLA, D.; SABBATINI, M.R.; ORIOLI, G.A. (2009a). Germination parameterization and development of an after-ripening thermal-time model for primary dormancy release of *Lithospermum arvense* seeds. *Annals of Botany* 103, 1291-1301.
- CHANTRE, G.R.; SABBATINI, M.R.; ORIOLI, G.A. (2009b). Effect of burial depth and soil water regime on the fate of *Lithospermum arvense* seeds in relation to burial time. *Weed Research* 49, 81-89.
- DAHAL, P.; BRADFORD, K.J. (1990). Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II. Germination at reduced water potential. *Journal of Experimental Botany* 41, 1441-1453.
- GUMMERSON, R.J. (1986). The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany* 37, 729-741.
- MICHEL, B.E.; KAUFMANN, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology* 51, 914-916.