

María Laura Supiciche  
María de las Mercedes Longás  
Guillermo Rubén Chantre  
Mario Ricardo Sabbatini  
Ana María Castro.

Las ingenieras agrónomas Supiciche, becaria de CONICET, y Longás, alumna de posgrado, y los doctores Chantre y Sabbatini, investigadores del CONICET, son docentes del Departamento de Agronomía, UNS. La doctora Castro es investigadora del CONICET y docente de la Universidad de La Plata. Contacto: [mlsupiciche@cerzos-conicet.gob.ar](mailto:mlsupiciche@cerzos-conicet.gob.ar)

# La dormición de semillas de raigrás y su asociación a la sensibilidad y resistencia a glifosato

El raigrás es una importante maleza de cereales de invierno de la región pampeana que ha generado resistencia a glifosato.

Los biotipos susceptibles y resistentes, frecuentemente se diferencian además de su sensibilidad al herbicida, por otros caracteres ecofisiológicos. Conocer las variaciones en dichos atributos, permitiría determinar el potencial de dispersión temporal y espacial a la vez que estimar el éxito adaptativo de estos biotipos en la región. La emergencia es el principal evento fenológico que determina el éxito en la invasión de una maleza en un sistema agrícola. Las malezas anuales de invierno producen sus semillas hacia el final de la primavera, cuando las condiciones ambientales son inadecuadas para el establecimiento de las plántulas, por lo que muchas especies poseen dormición en sus semillas, que consiste en mecanismos innatos para impedir la germinación. Por lo tanto, la dinámica de este mecanismo regula los flujos de emergencias de las malezas, mediante la sincronización de la germinación, optimizando la probabilidad de establecimiento de las plántulas en el campo. Es sabido que el éxito de las prácticas de control de malezas depende en gran medida del momento en que se realizan y el tiempo de la emergencia de las malezas problema. Sin embargo, se sabe muy poco sobre cómo los tratamientos con herbicidas modifican la evolución de rasgos fenológicos heredables como la dormición y cómo interactúa con la evolución de resistencia, por lo que un entendimiento profundo debería ser considerado para poderse anticipar a la evolución conjunta de estos rasgos y las consecuencias que pueda tener en la durabilidad de las prácticas de cultivo.

## La resistencia a herbicidas y sus costos biológicos

La resistencia es la capacidad heredable de algunos individuos, dentro de una determinada población de malezas, de sobrevivir y reproducirse después de

haber sido expuestos a una dosis de herbicida que normalmente hubiese sido letal para los individuos de una población normal de la misma especie. La resistencia es producto de una mutación (cambio en el ADN) que confiere tal capacidad de sobrevivir al herbicida y dentro de una población de malezas naturalmente existen individuos con esta mutación, pero en muy baja frecuencia. Con la aplicación repetida de un mismo herbicida los individuos resistentes se ven favorecidos al crecer libres de competencia, dejando descendientes y de esta manera aumentando su frecuencia con el tiempo. Por otro lado, toda mutación trae aparejada un cambio en la capacidad de los individuos de afrontar las exigencias del ambiente y es frecuente ver que individuos resistentes presentan en general un peor desempeño cuando se los compara con susceptibles en ausencia del herbicida. Este impacto negativo en el valor adaptativo (*fitness*) explica en parte porque éste rasgo es raro en poblaciones de malezas en las que no se ha ejercido la presión de selección a través del uso del herbicida. Por lo tanto, la tasa de evolución de resistencia a herbicidas es resultado de la combinación de los efectos de costos y beneficios de poseer genes de resistencia. Si bien esto no está generalizado en todos los grupos de herbicidas, se observó en muchas malezas resistentes, por ejemplo, se ha determinado que individuos de *Senecio vulgaris* resistentes a triazinas tienen una reducción en la eficiencia fotosintética y por lo tanto una penalidad en el *fitness*. Otros autores encontraron en *Lolium rigidum* que la resistencia al glifosato se origina por una disminución de la tasa de transporte hacia los meristemas de crecimiento. Actualmente, hay poca información disponible en la literatura acerca del costo en el *fitness* de malezas resistentes a glifosato relacionado a procesos tales como la germinación, dormición y emergencia en relación a individuos susceptibles.

## La dormición en raigrás

Las semillas de raigrás (*Lolium* sp.) maduran en la planta madre durante la primavera y al momento de su dispersión natural presentan dormición (Figura 1). Los cambios en el nivel de dormición ocurren en respuesta a cambios en los factores ambientales, siendo la temperatura del suelo el principal agente regulador de la salida de la dormición de semillas. En raigrás, luego de un período de postmaduración (*after-ripening*) en los meses cálidos y secos del verano y parte del otoño, las semillas suplen sus requerimientos térmicos para salir de la dormición y se producen germinaciones hacia finales del otoño o principios del invierno, cuando las precipitaciones son suficientes para sostener el desarrollo y crecimiento de la planta.

El nivel de dormición de una población de semillas puede determinarse de acuerdo a la amplitud del rango térmico permisivo para la germinación. La periodicidad estacional de la emergencia a campo en especies anuales resulta del efecto combinado de la periodicidad estacional de la temperatura del suelo y de la amplitud del rango de temperaturas permisivas para la germinación, cuyo rango está definido por la diferencia entre las temperaturas cardinales base ( $T_b$ ) y máxima ( $T_c$ ) de germinación, es decir las temperaturas por debajo y por encima de las cuales no se produce la germinación. A su vez, la amplitud de dicho rango estará definida por el nivel de dormición de las semillas que dependerá de los cambios térmicos estacionales. De esta manera, los cambios en el nivel de dormición se evidencian a través de cambios en la temperatura máxima de germinación. Hacia fines de la primavera, la germinación se ve impedida

debido a que  $T_c$  se encuentra muy por debajo de la temperatura del suelo y con las altas temperaturas estivales se produce un aumento en el rango permisivo para la germinación a través del aumento de  $T_c$ , de manera que cuando la temperatura del suelo es menor a  $T_c$  pero mayor a  $T_b$  se produce la germinación. A medida que aumenta la salida de la dormición de las semillas con el tiempo se produce un incremento en los porcentajes y tasas de germinación. Por lo tanto, la germinación a campo estará restringida al período de tiempo en el cual la temperatura del suelo, se solapa con el rango térmico permisivo para la germinación.

## Modelando la dormición en susceptibles y resistentes

Los modelos teóricos desarrollados para predecir la tasa de aparición y estabilidad de las poblaciones de malezas resistentes incluyen atributos de valor adaptativo como el nivel de dormición poblacional, la velocidad de germinación, el peso de las semillas, etc. El raigrás genera grandes perjuicios en los cultivos de cereales invernales y tanto el anual como el perenne (*Lolium multiflorum* y *L. perenne*, respectivamente) han sido señalados en el sudeste y sudoeste de la provincia de Buenos Aires como especies que han generado resistencia al herbicida glifosato. Por ello, los autores del presente trabajo están desarrollando modelos matemáticos con base ecofisiológica que describen la respuesta germinativa poblacional de individuos susceptibles y resistentes a glifosato en función de la temperatura, con el fin de facilitar la predicción y detección de posibles diferencias en los flujos de emergencia a campo. Para tal objetivo

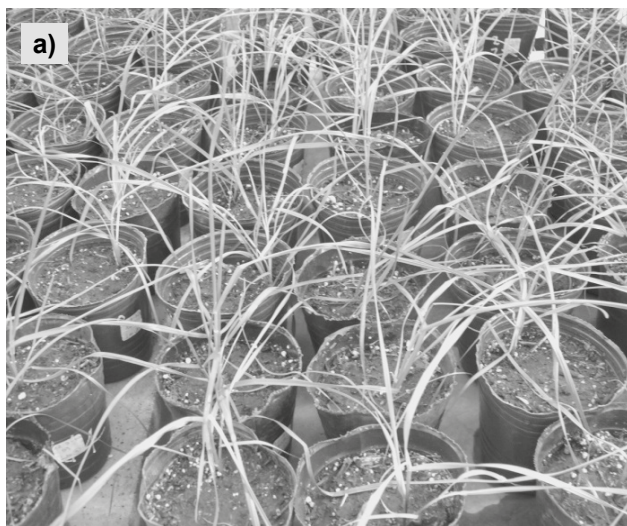
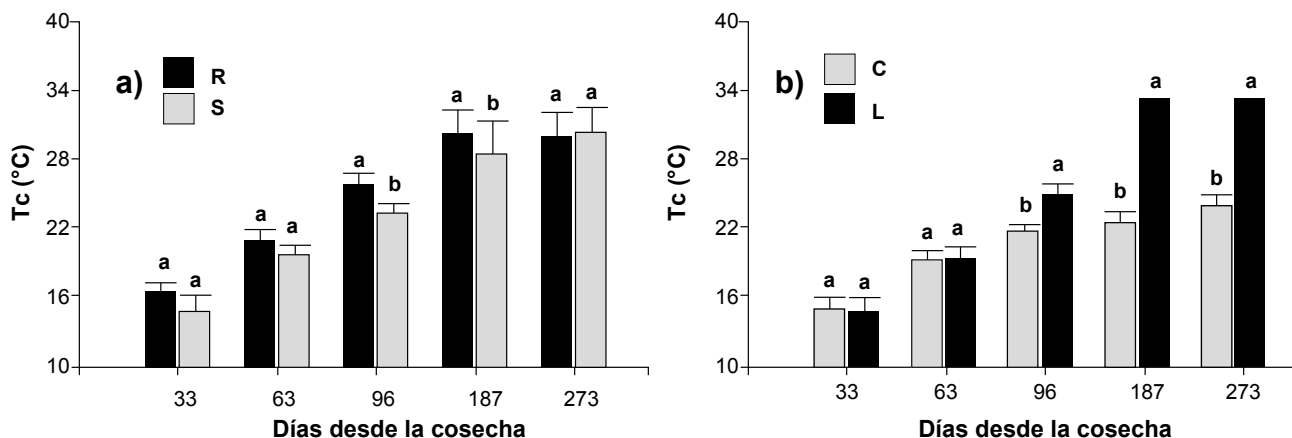


Figura 1. *Lolium* sp. a) planta en estado vegetativo, b) cariopse (fruto).



**Figura 2.** Temperatura máxima media en distintos momentos (33, 63, 96, 187, 273 días después de la cosecha) para: a) dos subpoblaciones (S, susceptible y R, resistente a glifosato) y b) dos condiciones de postmaduración (C, campo y L, laboratorio). Columnas con letra distinta difieren significativamente (Tukey,  $p < 0,05$ ).

se colectaron semillas de raigrás en un campo con un historial de aplicación de glifosato de 5-7 años. A partir de éstas se obtuvieron varias generaciones y se seleccionaron dos subpoblaciones: susceptibles y resistentes a glifosato (S y R, respectivamente). Las plantas fueron criadas en condiciones similares, pero cruzadas de manera aislada, las R por un lado y las S por otro. Semillas maduras de ambas subpoblaciones fueron cosechadas y sometidas a distintas condiciones y tiempos de postmaduración. Un grupo de semillas fue enterrado en campo (C) y otro fue colocado bajo condiciones de laboratorio (L). Se midió germinación en distintos momentos, bajo diferentes regímenes térmicos. Estos datos fueron analizados matemáticamente para obtener los parámetros óptimos que caracterizan la respuesta germinativa de las dos subpoblaciones, utilizando un modelo de tiempo térmico. De esta manera, se pudo comparar los cambios en la temperatura máxima media ( $T_{C(50)}$ ) de las subpoblaciones. Se observó que la  $T_{C(50)}$  estuvo influen-

ciada por la condición y tiempo de postmaduración en ambas subpoblaciones, siendo mayor en los últimos momentos en resistentes comparado con susceptibles y almacenadas en laboratorio respecto a aquellas enterradas en el campo (Figura 2).

### Consideraciones finales

A partir de estos resultados preliminares se podría inferir que existen diferencias en ciertos parámetros germinativos en raigrás S y R, lo que podría traducirse en posibles momentos de emergencia diferentes. Actualmente se continúa con el análisis de los datos obtenidos y se están cuantificando las diferencias en los parámetros asociados a cambios en el nivel de dormición de raigrás S y R a glifosato, considerándose que resulta una premisa insoslayable para poder instrumentar prácticas más eficientes y sustentables de control de malezas resistentes en sistemas agrícolas.

### Bibliografía

Chantre, G.R., Batlla, D., Sabbatini, M.R. & Orioli, G.A. (2009). 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.

Gronwald, J.W. (1994). Resistance to photosystem II inhibiting herbicides. En S.B. Powles & J.A. M. Holtum, (Eds), *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry* (pp. 27-60). Boca Raton: CRC Press.

Pedersen, B.P., Neve, P., Andreasen, C. & Powles, S.B. (2007). Ecological fitness of a glyphosate-re-

sistant *Lolium rigidum* population: Growth and seed production along a competition gradient. *Basic and Applied Ecology*, Volume 8, Issue 3, 258-268.

Vila-Aiub, M.M., Neve, P. & Powles, S.B. (2009). Fitness cost associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytologist*, 184, 751-767.

Yannicari, M., Vila-Aiub, M., Istilart, C., Acciaresi, H. & Castro, A.M. (2016) Fitness costs associated with evolved glyphosate resistance in *Lolium perenne*. *Weed Science*, 64, 71-79.