MODELOS HIDROTERMALES DE EMERGENCIA PARA *Echinochloa crus-galli* Y *Digitaria sanguinalis* EN MAÍZ

J. Izquierdo, M. Gallart, R. Galve
Dept. Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia. UPC, Esteve Terradas, 8.
08860 Castelldefels, Barcelona. E-mail: jordi.izquierdo@upc.es

Resumen: La determinación del período de emergencia de las principales malas hierbas permite precisar mejor el momento de realización de los tratamientos herbicidas. El objetivo de este trabajo es elaborar modelos predictivos de emergencia para *Echinochloa crus-galli* y *Digitaria sanguinalis*, dos de las principales malas hierbas del maíz, basados en grados hidrotermales. En diferentes campos comerciales situados en Catalunya se realizó entre los años 2006 y 2010 un seguimiento semanal de las emergencias de las dos especies desde la siembra del cultivo hasta su recolección, utilizando 20 cuadrados permanentes. En total, se obtuvieron 7 series de emergencia. Al mismo tiempo se tomaron datos de temperatura y humedad del suelo. A partir de dos series de emergencia se elaboró un modelo predictivo para cada una de las especies utilizando la función de Gompertz (R^2=0,97 para *D. sanguinalis* y R^2=0,98 para *E. crus-galli*). Los modelos demostraron su utilidad al predecir correctamente las emergencias que fueron observadas en el resto de series (RMSE entre 8,36 y 13,85 para *D. sanguinalis* y entre 3,93 y 4,36 para *E. crus-galli*).
Palabras clave: temperatura, humedad, validación, Gompertz, control.

INTRODUCCIÓN

Los flujos de emergencia de la mayoría de las especies dependen de factores abióticos como la temperatura y la humedad del suelo. Cada año, las semillas necesitan acumular una determinada cantidad de calor y humedad, es decir, grados hidrotermales, para iniciar el proceso de germinación, el cual cesa a partir de un determinado momento. El conocimiento preciso del periodo de emergencia permite programar el mejor momento para la realización de la medida de control pertinente. Los grados hidrotermales necesarios para el inicio y final de la emergencia son característicos de cada especie. Determinar este periodo de emergencia y modelizarlo es útil para predecir las emergencias en campañas

futuras (GRUNDY, 2003) y mejorar la eficacia de las medidas de control. El objetivo de este trabajo es elaborar modelos predictivos de emergencia para *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. y *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop basados en grados hidrotermales.

MATERIAL Y MÉTODOS

El seguimiento de las emergencias se realizó en campos comerciales de maíz entre los años 2006 y 2010. Los campos estaban situados en Vilanova del Vallès (Barcelona) en 2006 y 2007, en otro distinto de la misma localidad en 2009, la Roca del Vallès (Barcelona) en 2008 y 2009, Mollerussa (Lleida) en 2010 y Miralcamp (Lleida) en 2010. En total, se realizaron 7 seguimientos de emergencias que consistieron en contar semanalmente los individuos emergidos en 20 cuadrados de 0,5m x 0,5m, colocados desde el inicio del cultivo hasta la cosecha en cada campo. Los cuadrados se cubrieron con un plástico en el momento del tratamiento herbicida para evitar que resultara afectado el proceso de germinación. También se colocó un sensor de temperatura y otro de humedad en el suelo para hacer el seguimiento de estas variables durante el muestreo. Con estos datos, se calcularon los grados hidrotermales (GHT) que necesitó cada espacie para germinar según:

$$\text{GHT} = \sum_{i=1}^{n}(T_m - T_b)(\varphi_m - \varphi_b)$$

donde T es la temperatura media (m) del suelo o base (b) de la especie y φ el potencial hídrico medio del suelo (m) o base (b) de la semilla. Se tomó T_b de *E. crus-galli* = 11,7C (MARTINKOVA *et al.*, 2005) y T_b de *D. sanguinalis* = 8,4C (MASIN *et al.*, 2005). Se tomó $GHT = \sum(T_m - T_b)$ si se consideraba que el suelo estaba húmedo (lectura del sensor de humedad > 0,5 V, que correspondería al potencial hídrico base) y $GHT = 0$ en caso contrario.

Para el desarrollo del modelo hidrotermal se utilizaron los datos de germinación del 2006 y 2007. Los GHT calculados se relacionaron con los datos semanales de emergencia (y) mediante las funciones:

$$\text{Gompertz: } y = 100\, exp^{(-exp^{(-k(GHT-m))})}$$

$$\text{Weibull: } y = 100(1 - exp^{(-(k(GHT-m))^c)})$$

donde y representa el porcentaje de emergencia estimado acumulado, k es la pendiente (tasa de emergencia estimada por GHT), m es el intervalo hasta el inicio de las emergencias y c es un parámetro de forma de la curva. Aunque las dos funciones tuvieron un buen ajuste para ambas especies (R^2>0,97 en todos los casos), se seleccionó Gompertz por su menor complejidad (menos parámetros) y su buena validación posterior.

Los modelos así seleccionados se validaron con las series de datos de emergencia de los años 2008 a 2010 (5 series en el caso de *E. crus-galli* y 3 en el de *D. sanguinalis*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos hidrotermales elaborados describen correctamente las emergencias de *D. sanguinalis* (n=38; RMSE=48,7; R^2=0,97) y *E. crus-galli* (n=38; RMSE=30,86; R^2=0,98) observadas en el campo (Tabla 1 y Figura 1). Según ellos, *D. sanguinalis* inicia la emergencia a los 316 GHT y alcanza el 90% de emergencia a los 582 GHT después de la siembra. *E. crus-galli* inicia la emergencia a los 86 GHT y llega al 90% de emergencia a los 189 GHT.

Dichos modelos, utilizados con fines predictivos en el resto de localidades, estimaron con un ligero retraso el inicio de las emergencias de *D. sanguinalis* pero, en

general, las estimaciones se correspondieron aceptablemente con las emergencias observadas en ambas especies, con R^2 oscilando entre 0,84 y 0,96 y RMSE entre 8,36 y 13,85 para *D. sanguinalis*, y con R^2 oscilando alrededor de 0,98 y RMSE alrededor de 4 para *E. crus- galli* (Figura 2).

El punto más conflictivo de todo el proceso para la aplicación por parte del agricultor de estos modelos es la determinación del contenido de humedad del suelo, ya que el instrumental necesario es caro y la heterogeneidad existente dentro de los campos incrementa la variabilidad en la acumulación de grados hidrotermales por parte de las semillas.

Tabla 1. *Valores estimados de los parámetros de la función de Gompertz con los errores estándar entre paréntesis.*

Especie	*k*	*m*
Digitaria sanguinalis	0,0085 (0,0007)	316,80 (8,63)
Echinochloa crus-galli	0,0219 (0,0016)	86,36 (2,55)

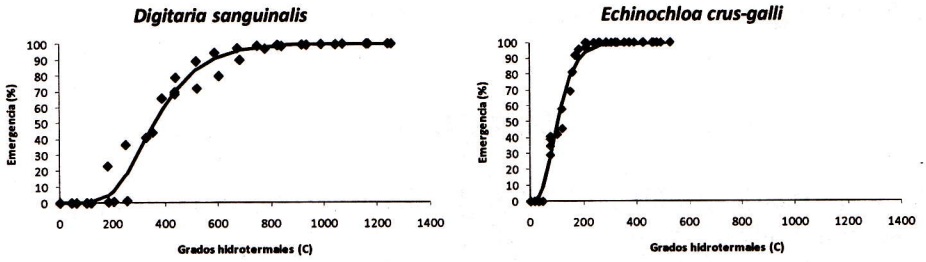

Figura 1. *Emergencia acumulada observada en función de los grados hidrotermales en Vilanova del Vallès durante los años 2006 y 2007 para las dos especies (♦) y ajuste de Gompertz (—) realizado. Cada punto es la media de 20 cuadrados de muestreo.*

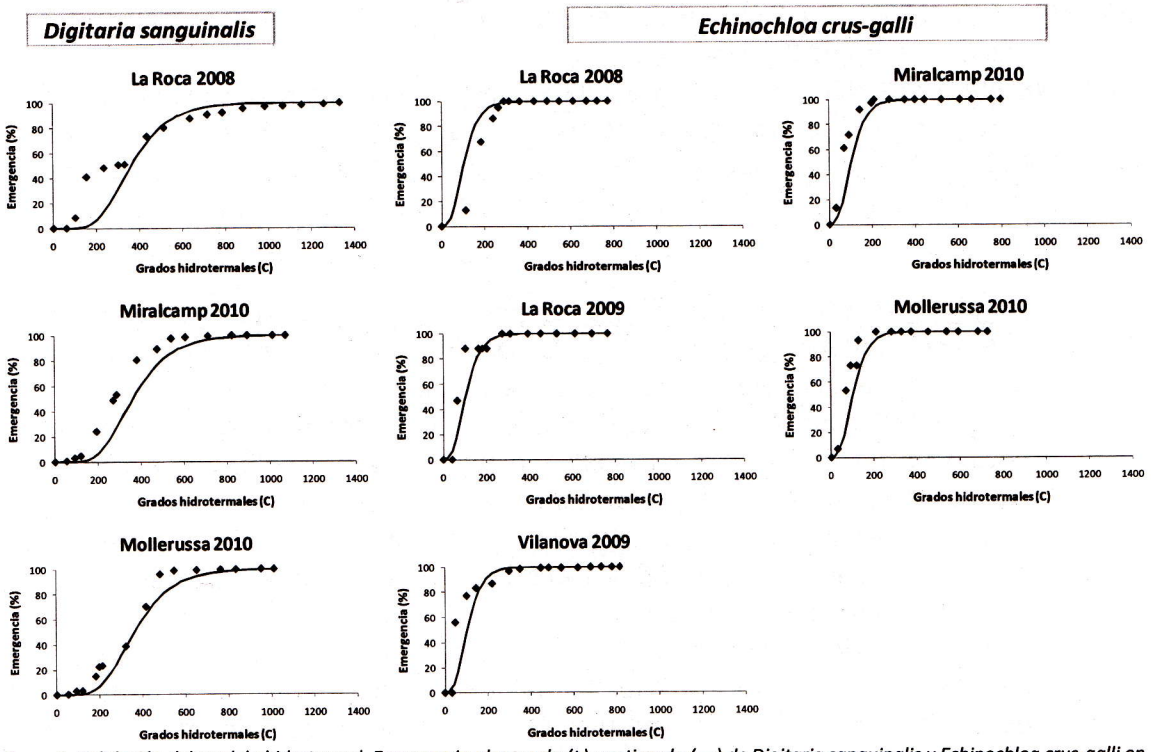

Figura 2. *Validación del modelo hidrotermal. Emergencia observada (♦) y estimada (—) de Digitaria sanguinalis y Echinochloa crus-galli en diferentes localidades y años. Cada punto es la media de 20 cuadrados de muestreo.*

En todos los campos objeto de estudio, el primer riego no se realizó hasta transcurridas unas semanas después de la siembra, pero los registros de humedad del suelo indicaron carencia de agua durante este periodo inicial. En maíces en donde el riego se realice desde la siembra, el simple seguimiento de la temperatura del suelo (modelos termales) sería suficiente para predecir las emergencias (DORADO *et al.*, 2009). Por otro lado, los bajos grados hidrotermales requeridos para iniciar la germinación de *E. crus-galli* probablemente están asociados al efecto estimulador del laboreo debido a la presencia de algún fotoreceptor en la semilla de esta especie (CASAL *et al.*, 1998).

La validación de los modelos en otros escenarios permitirá conocer mejor sus posibilidades como herramientas de lucha a gran escala contra estas malas hierbas del maíz.

AGRADECIMIENTOS

A la SEMh por la beca 2009 que contribuyó a este estudio. Trabajo financiado por el proyecto de investigación AGL 2005-06180-C03-01.

BIBLIOGRAFÍA

CASAL, J.; SÁNCHEZ, R.; BOTTO, J. (1998). Modes of action of phytochromes. Journal of Experimental Botany, 49, 127-138.

DORADO, J.; SOUSA, E.; CALHA, I.M.; GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J.L.; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C (2009). Predicting weed emergence in maize crops under two contrasting climatic conditions. Weed Research, 49, 251-260.

GRUNDY, A.C. (2003). Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. Weed Research, 43, 1-11.

MARTINKOVA, Z.; HONEK, A. I.; LUKAS, J. (2005). Seed age and storage conditions influence germination of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). Weed Science, 54, 298-304.

MASIN, R.; ZUIN, M.C.; ARCHER D.W.; FORCELLA, F.; ZANIN, Z. (2005). Weedturf: a predictive model to aid control of annual weeds in turf. Weed Science, 53, 193-201.

Summary: Hydrothermal seedling emergence models for *Echinochloa crus-galli* and *Digitaria sanguinalis* in corn. Determination of the emergency period of the main weeds can clarify the timing of herbicide treatments. Two predictive models of emergency based on hydrothermal degrees were developed for *Echinochloa crus-galli* and *Digitaria sanguinalis*, two major weeds of corn. A weekly monitoring of emergencies based on 20 permanent squares located at different commercial fields in Catalonia was conducted during the growing seasons 2006 to 2010. Seven emergence datasets were obtained. Soil temperature and moisture were also monitored. Models using a Gompertz function were fitted to two emergence datasets (R^2=0.97 for *D. sanguinalis* and R^2=0.98 for *E. crus-galli*). These models were used to predict the emergence in eight fields, giving accurate estimations (RMS between 8.36 and 13.85 for *D. sanguinalis* and between 3.93 and 4.36 for *E. crus-galli*).

Key words: soil temperature, moisture, validation, Gompertz, control.