

PREDICCIÓN DE LA FENOLOGÍA DE *Vicia faba* L.: ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS CON EL MODELO CROPGRO- faba bean USANDO EXPERIMENTOS DE MÚLTIPLES FECHAS DE SIEMBRA

Confalone, A.¹; Boote, K.²; Lizaso, J.³; Sau, F.⁴

¹Agrometeorología, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Av. República de Italia n° 780, Azul, CP 7300, Argentina.

²Department of Agronomy, University of Florida, Gainesville, FL 3261

³Departamento de Producción Vegetal-Fitotecnia, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 España

⁴Departamento de Biología Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 España

E-mail: aec@faa.unicen.edu.ar

Palabras clave: faba bean, fenología, modelización

INTRODUCCIÓN

Entre los modelos de leguminosas más mecanicistas se puede destacar el modelo CROPGRO. Boote *et al.* (2002) adaptaron el CROPGRO para simular el crecimiento del haba (*Vicia faba* L.), naciendo así, CROPGRO-faba bean (incluido en el paquete DSSAT V4) en el que la tasa de desarrollo se expresa como día fisiológico (DF) transcurrido por día del calendario (día) (Ec. 1) y es una función multiplicativa de la temperatura (T) y fotoperíodo (P). Cada una de estas funciones adopta valores comprendidos entre 0 y 1.

$$DF / \text{día} = f(T) \cdot f(P) \quad (1)$$

Por tratarse de un modelo nuevo, las temperaturas cardinales que afectan la fenología fueron derivadas de la literatura científica (Evans, 1959; Manschadi *et al.* 1998; Qi *et al.*, 1999; Stutzel, 1995 a,b) y en todos los casos los valores fueron obtenidas con datos de temperatura media en ensayos bajo condiciones controladas. Así, los valores obtenidos pueden no tener el mismo significado que los que se usan en modelos que trabajan con temperaturas horarias obtenidas en condiciones de campo, y por tanto pueden causar distorsiones en las predicciones de fenología.

En los modelos mecanicistas de crecimiento de cultivos, determinar los valores óptimos de los parámetros de una simulación mediante iteraciones, en los que el investigador va cambiando sucesivamente dichos valores en los archivos correspondientes, puede requerir un tiempo de computación excesivo, ya que el número de combinaciones posibles puede ser muy alto. Por eso, muchos investigadores en los últimos años han desarrollado distintos métodos para tratar de optimizar simulaciones mediante técnicas automáticas o semiautomáticas, es decir buscar valores óptimos o cercanos al óptimo de los parámetros de entrada mediante un programa de ordenador que varía el valor de los coeficientes mediante criterios preestablecidos. Uno de esos métodos es el temple simulado (simulated annealing) (Goffe *et al.*, 1994). Se trata de un algoritmo de aproximación a la solución óptima, fundamentado en la analogía con el

comportamiento de sistemas termodinámicos simples. El programa de temple simulado acoplado a las salidas del modelo CROPGRO-faba bean cuyos parámetros se pretenden optimizar ya ha sido utilizado con éxito con modelos de cultivo del DSSAT (Calmon *et al.*, 1999; Lizaso *et al.*, 2001). El objetivo de este trabajo es calibrar el submodelo de fenología del modelo CROPGRO-faba bean e indicar las posibles modificaciones necesarias para predecir correctamente el desarrollo del cultivo de haba en un amplio rango de fechas de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Finca de Prácticas de la Escuela Politécnica Superior (EPS) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) situada en Lugo (43°04' N; 7°30' W; 480 m de altitud), durante los años 2004/2007. El cultivar de haba sembrado fue 'Alameda', de crecimiento indeterminado, a la densidad de 35 plantas/m² y con una distancia entre hileras de 0,35 m.

Los tratamientos consistieron en seis fechas de siembra que se repitieron durante tres años consecutivos desde noviembre a mayo. Durante el segundo año de ensayo, se agregaron dos fechas de siembra con el objetivo de tener una base de datos mayor para parametrización: una siembra temprana, el 1 de septiembre de 2005 y otra tardía, el 19 de junio de 2006. El cultivo se mantuvo en condiciones no limitantes en cuanto a requerimientos de agua y nutrientes, como se describe en Confalone *et al.* (2010)

Cada dos días se realizaron observaciones visuales para determinar las fases fenológicas en cada parcela de cada fecha de siembra: emergencia, floración, inicio de formación de vainas y madurez fisiológica; todos ellos estadios fenológicos importantes en CROPGRO, ya que estos eventos desencadenan cambios en el reparto de asimilados. Los datos experimentales de los dos primeros años fueron utilizados para la calibración de los parámetros, mientras el tercer año fue usado para validar el proceso de calibración. Con el objetivo de calibrar el modelo buscando los coeficientes que permitan mejorar el modelo CROPGRO-faba bean, se utilizó el modelo mismo como una herramienta para la optimización de los coeficientes que regulan las temperaturas cardinales y el fotoperíodo, los que a su vez afectan los procesos

vegetativos y reproductivos. El hecho de usar el modelo como una herramienta de optimización fue importante ya que el modelo utiliza temperaturas horarias para las sumas térmicas, método desarrollado por Parton y Logan (1981) mientras que otros métodos generalmente utilizan valores de temperatura media, afectando así el cálculo de la tasa de desarrollo.

El optimizador fue conectado con el CROPGRO, y así los dos ejecutables compartieron archivos.

Para cuantificar la mejora conseguida en el proceso de optimización de parámetros (aumento de precisión), se calcularon la suma de cuadrados del error (SSE), la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y un índice de ajuste (d ; Willmott, 1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron los nuevos parámetros del modelo, los que pueden ser observados en la Tabla 1, así como los valores originales del modelo, que son los que aparecen por defecto al ejecutar el mismo.

Tabla 1. Valores de los parámetros calibrados del submodelo fenológico del haba *cv.* Alameda.

CODIGO	originales	modificados
CLDL	24	24
PPSEN	-0.031	-0.053
EM-FL	23.0	11.5
FL-SH	11.0	5.8
SH-MF	46.8	34.6

CLDL: fotoperíodo crítico (horas) por encima del cual el desarrollo reproductivo no es afectado por la longitud del día; **PPSEN:** pendiente de la tasa relativa (1/horas) de desarrollo para longitudes del día inferiores a CLDL ó sensibilidad fotoperiódica; **EM-FL:** tiempo (días fisiológicos) desde emergencia a la primera flor, duración mínima con temperatura (T) y fotoperíodos (F) óptimos. (T y F op); **FL-SH:** tiempo (días fisiológicos) desde la primera flor a la primera vaina (T y F op); **SH-PM:** tiempo (días fisiológicos) desde la primera vaina a madurez fisiológica (T y F op)

La inclusión del efecto del fotoperíodo en el submodelo que predice la duración del subperíodo fenológico EM-FL, permite aumentar de modo sensible la precisión de las predicciones tanto en el proceso de calibración como en el de validación. Esto permite confirmar la hipótesis, ampliamente aceptada en la literatura científica, de que el alargamiento de los días acelera la tasa de progresión hacia la floración en *Vicia faba* L., la temperatura basal (T_b) calibrada y validada pasa a ser de -3.8 °C; con una temperatura óptima variando entre 22.9 °C (T_{opt1}) y 30.9 °C (T_{opt2}), considerando la temperatura máxima (T_x) = 45 °C. En cambio, la inclusión del fotoperíodo en el subperíodo fenológico Floración-Primera vaina, empeora la precisión de las predicciones en la validación y en consecuencia se rechaza la hipótesis de que el alargamiento de los días acelera la tasa de progresión hacia el estadio de primera vaina en el *cv.* Alameda. Los nuevos parámetros de este subperíodo son: $T_b = 7.6$ °C; $T_{opt1} = 22.6$ °C;

$T_{opt2} = 31.6$ °C; $T_x = 45$ °C). En el subperíodo SH-MF tampoco se observa un efecto del fotoperíodo y los parámetros fenológicos son: $T_b = 2.6$ °C; $T_{opt1} = 25.6$ °C; $T_{opt2} = 27.9$ °C; $T_x = 45$ °C

CONCLUSIONES

La metodología utilizada con el programa temple simulado acoplado al CROPGRO-faba bean, conjuntamente con datos de campo que proveen un amplio rango de condiciones ambientales logra ajustar los parámetros del modelo original CROPGRO-faba bean incluido en DSSAT 4.0 para permitir una buena predicción los principales eventos fenológicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con apoyo del proyecto de investigación PGIDT05RAG29104PR.

REFERENCIAS

- Boote, K.J., Mínguez, M.I., Sau, F. 2002. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. *Agronomy Journal*, 94: 743-756.
- Calmon, M.A., Batchelor, J.W., Jones, J.T., Ritchie, K.J., Boote, Hammond, L.C.. 1999. Simulating soybean root growth and soil water extraction using a functional crop model. *Trans. ASAE*, 42:1867-1877.
- Confalone, A., Lizaso, J.I., Ruíz-Nogueira, B., López-Cedrón, F.X., Sau F. 2010. Growth, PAR use efficiency, and yield components of field-grown *Vicia faba* L. under various temperature and photoperiod regimes. *Field Crops Res.* 1115, 140-148.
- Evans, L.T. 1959. Environmental control of flowering in *Vicia faba* L. *Ann. Bot.* 23:521-546.
- Goffe, W.L., G.D. Ferrier, Rogers, J.1994. Global optimization of statistical functions with simulated annealing. *Journal of Econometrics*, 60: 65-99
- Lizaso, J.I., W.D. Batchelor, Adams, S.S. 2001. Alternate approach to improve kernel number calculation in CERES-Maize. *Trans. ASAE*, 44:1011-1018.
- Manschadi, A.M., J. Sauerborn, H. Stutzel, W. Gobel, Saxena, M.C.. 1998. Simulation of faba bean (*Vicia faba* L.) growth and development under Mediterranean conditions: Model adaptation and evaluation. *Eur. J. Agron.* 9:273-293.
- Parton, W., Logan, J. 1981. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agr Forest Meteorol.* 23: 205-216.
- Qi, A., T.R. Wheeler, J.D.H. Keatinge, R.H. Ellis, R.J. Summerfield, Craufurd, P.Q. 1999. Modelling the effects of temperature on the rates of seedling emergence and leaf appearance in legume cover crops. *Exp. Agric.* 35:327-344.
- Stutzel, H. 1995a. A simple model for simulation of growth and development in faba beans (*Vicia faba* L.): I. Model description. *Eur. J. Agron.* 4:175-185.
- Stutzel, H. 1995b. A simple model for simulation of growth and development in faba beans (*Vicia faba* L.): II. Model evaluation and application for the assessment of sowing date effects. *Eur. J. Agron.*, 4:187-195.
- Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63: 1309-1313.

Comité Organizador

El Comité Organizador de la XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología está conformado de la siguiente manera:

Presidente Ing. Agr. Inés Mormeneo i.mormeneo@gmail.com	Vicepresidente Ing. Agr. Esteban Barelli bcbb@bcp.org.ar
Secretario Ing. Agr. Dr. Federico Bert fbert@agro.uba.edu.ar	Pro Secretario Sra. María José Nagali mjnagali@bcp.org.ar
Tesorero Srta. Nuray Besbudak nuraybesbudak@gmail.com	Pro Tesorero Ing. Agr. Omar Elía range@criba.edu.ar

Miembros Colaboradores

Lic. María Paula Abrego	Dra. Lilian Elosegui
Ing. Agr. (M. Sc.) Oscar Bravo	Ing. Agr. (M. Sc.) Alicia Morant
Ing. Agr. Eduardo Campi	Ing. Agr. Dora Nizovoy
Prof. Adriana Chanampa	Met. (M.Sc.) Claudia Palese
Dra. Marisa Cogliati	Lic. Silvina Spagnolo
Ing. Agr. (Dra.) Lilian Descamps	Srta. Liliana Zabala

Presidente Comité Científico

Ing. Agr. (M. Sc.) Antonio de la Casa

Áreas Temáticas

La XIII Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología enfocará las siguientes líneas de investigación:

1. Recursos hídricos. Evaluación, planificación y gestión
2. Productividad y cambio climático. Producción vegetal, animal, Forestal
3. Teledetección, GPS y GIS
4. Estadísticas y Modelos agroclimáticos
5. La Agricultura ecológica y las fuentes de energía alternativa
6. Estaciones y redes de estaciones meteorológicas
7. Instrumental y Servicio Agrometeorológico
8. La Agrometeorología, el agro negocio, seguros agrícolas
9. Predicción de riesgos agroclimáticos

10. La didáctica en Agrometeorología

11. Agrometeorología y Biometeorología

