

LUPIFEN II: UN MODELO FENOLOGICO PARA EL LUPINO BLANCO (*Lupinus albus* L.)

A. C. RAVELO y ANA M. PLANCHUELO⁽¹⁾

Recibido: 09/05/96

Aceptado: 17/07/96

RESUMEN

Se desarrolla un modelo fenológico denominado LUPIFEN II para nuevos cultivares de lupino blanco (*Lupinus albus* L.), que permite pronosticar las fechas de las fases fenológicas de emergencia, floración, fructificación y maduración. Se utilizaron funciones lineales para los procesos de vernalización, inducción fotoperiódica y acumulación térmica. Dichas funciones fueron calibradas y validadas con datos provenientes de las campañas 1991 y 1992 para los cultivares L2040, L2043, L2053 y L2085 en ensayos llevados a cabo en las localidades de Córdoba, Buenos Aires y Junín. El modelo requiere, para cada lugar de cultivo los siguientes datos: latitud, fecha de siembra, montos de precipitación, temperaturas máximas y mínimas diarias y coeficientes de cultivo y de suelo. Las estimaciones de las fechas de ocurrencia de las fases fenológicas presentaron diferencias no mayor de 5 días con respecto a las fechas observadas y la correlación entre valores estimados y observados fue altamente significativa ($r=0.97$).

Palabras clave: modelo fenológico, *Lupinus albus* L., lupino blanco.

LUPIFEN II: A PHENOLOGICAL MODEL FOR WHITE LUPIN (*Lupinus albus* L.)

SUMMARY

LUPIFEN II, is a new phenological model for improved cultivars of white lupin. The model estimates dates of germination, flowering, podsetting and maturity. Lineal functions were used for the vernalization, photoperiodic induction and thermal accumulation processes. These functions were calibrated and validated using field data for the cultivars L2040, L2043, L2053 and L2085 from experiments carried at Córdoba, Buenos Aires and Junín during 1991 and 1992. Data needed for the model are: latitude, soil coefficients, daily maximum and minimum temperatures and precipitation, sowing date and crop coefficients. The model estimates dates of phenological stages with less of five days of error. Observed and estimated data were highly correlated ($r=0.97$).

Key Works: Phenological model, *Lupinus albus* L., white lupin.

INTRODUCCION

El cultivo del lupino blanco (*Lupinus albus* L.) se conoce desde la antigüedad en las costas mediterráneas y el valle del Nilo por sus semillas ricas en proteínas y aceites. El contenido proteico de las semillas es uno de los más elevados entre las leguminosas cultivadas para grano, con un porcentaje que alcanza el 34 % considerando el grano

entero y 41 % considerando sólo los cotiledones (Pompei y Lucisano, 1976), y los porcentajes de aceites varían entre 8,7 y 16,0 % del peso seco (Planchuelo y Fuentes, 1994). Los rendimientos en grano son muy variable según las características de las variedades y los métodos de cultivo y oscilan entre 500 y 4000 kg/ha (López Bellido, 1984).

⁽¹⁾ CONICET/Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. C. C. 509, 5000 Córdoba, Argentina.

La capacidad adaptativa del lupino blanco para diferentes condiciones ambientales del Noroeste de Estados Unidos fue tratado por Goldstein en 1984 quien clasificó a los cultivares en: invernales, semi-invernales y primaverales siendo estos últimos subdivididos en tardíos, estándares, termo-sensitivos y enanos. Por otro lado, Vavilov y Gataulina (1984), clasificaron tres biotipos primaverales de la ex-Union Soviética en tempranos medios y de maduración tardía de acuerdo a su ramificación y duración del ciclo. Los estudios fenológicos realizados por Reeves *et al.* (1977) para *Lupinus albus* y *L. angustifolius* en Victoria (Australia), demostraron que las condiciones foto-térmicas regulan la duración de los subperíodos nacimiento-iniciación de la floración mientras que el subperíodo de la floración está correlacionado negativamente con la duración del día. Sylvester-Bradley (1979) establecieron que los factores que más influyen en el rendimiento son las temperaturas primaverales y las condiciones de humedad durante la floración. Williams y Brocklehurst (1983), por otro lado, señalaron los efectos de la vernalización y el fotoperíodo en variedades invernales, intermedias y primaverales de distintos orígenes, con el objeto de efectuar una mejor selección genética de variedades de ciclos primaverales cortos para zonas frías y de altas latitudes. Rahman y Gladstones (1972, 1973, 1974) y Putman *et al.* (1993) describen la acción de la temperatura y el fotoperíodo bajo condiciones controladas y a campo mientras que Clapham y Barnes (1988) y Clapham *et al.* (1991) analizaron los requerimientos de vernalización en distintos cultivares de lupino blanco.

Publicaciones recientes proveen información fenológica respecto al desarrollo del área foliar (Harzic *et al.*, 1995), y a la arquitectura de la planta en relación al porcentaje de ramificaciones laterales (Fagnano y Postiglione, 1995; Huyghes *et al.*, 1995). Por otro lado, estudios llevados a cabo en Europa sobre el análisis del comportamiento de determinados genotipos (Shield y Milford, 1995) al igual que los modelos fisiológicos (Milford *et al.*, 1995) y de crecimiento (Fernandez, *et al.*, 1995) demuestran la importancia de los estudios fenológicos del lupino blanco en los países europeos.

Los datos proporcionados en los trabajos cita-

dos precedentemente, han sido utilizados como información de base para la diagramación de los algoritmos que sustentan la nueva versión del modelo LUPIFEN (Ravelo y Planchuelo-Ravelo, 1987). Esta nueva versión permite pronosticar con mayor exactitud las fechas de ocurrencia del nacimiento, floración, fructificación y maduración en nuevos cultivares de lupino blanco.

MATERIALES Y METODOS

El modelo fenológico LUPIFEN II, ha sido programado en lenguaje Fortran y utiliza datos meteorológicos diarios, datos de suelo y de cultivo. Los datos considerados son los siguientes:

1. Constantes iniciales del modelo

Latitud (negativa para el hemisferio Sur)

Parámetros de suelo (densidad aparente y humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente)

2. Datos meteorológicos diarios

Temperaturas máxima y mínima (°C)

Precipitación (mm)

3. Observaciones fenológicas

Fechas de siembra, nacimiento, principio y fin de las fases floración, fructificación y maduración

Las variedades utilizadas para la calibración y validación del modelo fueron: L2040, L2043, L2053 y L2085 obtenidas por Resource Seed Inc. en California, E.E.U.U. Los ensayos se realizaron durante las campañas 1991 y 1992 en las localidades de Córdoba (Departamento Capital, Facultad de Ciencias Agropecuarias), en Buenos Aires (Villa Ortuzar, Facultad de Agronomía) y en Junín (Pcia. de Bs. As.). Los datos meteorológicos fueron obtenidos de estaciones convencionales próximas a las parcelas experimentales. Las observaciones fenológicas fueron realizadas durante visitas frecuentes a los ensayos según la metodología establecida por Planchuelo-Ravelo (1989). La Figura 1 ilustra las fases fenológicas del lupino desde la siembra a la maduración del cultivo.

DESCRIPCION DEL MODELO

El crecimiento y desarrollo de la planta están condicionados por la acción de la temperatura (termoperíodo), la humedad del suelo y la duración del día (fotoperíodo). Esta especie requiere durante las primeras etapas de crecimiento una acumulación de

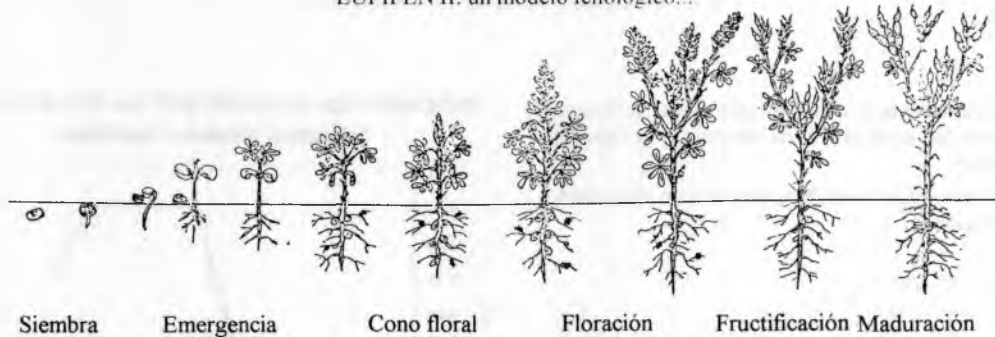


Figura 1: Estadios fenológicos del lupino blanco.

horas de frío, con temperaturas inferiores a 10°C, para satisfacer los requerimientos de vernalización (Huyghe, 1990). Se ha demostrado (Rahman y Gladstones, 1972) que la vernalización es un proceso continuo de acumulación térmica en función de la intensidad, duración de las bajas temperaturas y fase fenológica de la planta (fase termosensible). Una vez satisfechos los requerimientos de vernalización, la planta responde a la acción de temperaturas más elevadas (por encima de los 10°C) con un desarrollo adecuado de los procesos reproductivos (Rahman y Gladstones, 1974). Asimismo, siendo el lupino una planta de días alargándose, la duración del día posee un efecto de control sobre la floración durante la fase fotosensible. Los diferentes umbrales fototérmicos y de humedad edáfica fueron establecidos a través de la revisión de investigaciones sobre el lupino y luego fueron ajustados de forma de minimizar las diferencias entre las fases fenológicas estimadas y observadas.

El modelo LUIFEN II calcula la respuesta fenológica diaria de la planta (RF) a la acción del fotoperíodo, la temperatura y la humedad edáfica con la siguiente ecuación:

$$RF = Fdd \times (Ftp + Ftv) \times Fhs$$

Fdd = representa la función que estima la respuesta al fotoperíodo (F) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Fdd &= X_1 \text{ si } F < U_1 \\ &= X_2 \text{ si } F > U_2 \\ &= X_1 + [(F - U_1) / (X_2 - X_1)] * (U_1 - U_2) \text{ si } U_1 < F < U_2 \end{aligned}$$

Donde: X_n y U_n son coeficientes para el subperíodo considerado, teniendo en cuenta que el lupino florece después del solsticio invernal, se utilizaron 11 horas de luz como el umbral de fotoinducción y una acción de inducción creciente hasta las 16 horas de fotoperíodo. F es la duración del fotoperíodo, el cual fue estimado para cada día mediante el cálculo de la duración del día en función de la latitud y adicionándole la duración de los crepúsculos.

Ftp es igual a la función que estima la respuesta a las temperaturas medias diarias (T) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Ftp &= Y_1 \text{ si } T < N_1 \text{ o } T > N_4 \\ &= Y_2 \text{ si } N_2 < T < N_3 \\ &= Y_1 + [(T - N_1) * (Y_2 - Y_1) / (N_2 - N_1)] \text{ si } N_1 < T < N_2 \\ &= Y_1 + [(N_4 - T) * (Y_2 - Y_1) / (N_4 - N_3)] \text{ si } N_3 < T < N_4 \end{aligned}$$

Donde: Y_n y N_n son coeficientes para el subperíodo considerado. La acción de la temperatura se consideró a partir de un umbral de 10°C. A partir de este umbral, la acción térmica dependió del subperíodo considerado. Por ejemplo, entre el nacimiento y el principio de la floración, la temperatura tuvo un efecto creciente hasta alcanzar los 20°C. En el rango de 20 a 26°C se estableció el mayor efecto térmico y un efecto decreciente a medida que la temperatura aumenta hasta los 36°C, cuando su acción es nula. La contribución de cada nivel térmico al desarrollo fenológico del lupino dependió del subperíodo en consideración. Por ejemplo, durante la floración la acumulación térmica es de 0,9 unidades mientras que durante la Siembra-Nacimiento es de 1,4 unidades.

Ftv es igual a la función que estima la respuesta a la acción vernalizante de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Ftv &= Z_1 \text{ si } T > M_2 \\ &= Z_2 \text{ si } T < M_1 \\ &= Z_1 + [(M_2 - T) / (Z_2 - Z_1)] * (M_2 - M_1) \text{ si } M_1 < T < M_2 \end{aligned}$$

Donde: Z_n y M_n son coeficientes para el subperíodo considerado. La acumulación de temperaturas vernalizantes se efectúa para temperaturas inferiores a 10°C lográndose un máximo de efecto (0,7 unidades) en temperaturas iguales o inferiores a 0°C.

Una vez satisfecho el requerimiento de vernalización, que ocurre en los estadios juveniles, el programa asigna a Ftv el valor de la unidad y comienza entonces la acción de acumulación de temperaturas por encima de los 10°C lo cual es cuantificado con la función Ftp.

F_{hs} representa a la función que estima la respuesta a la humedad edáfica (H) de acuerdo a la siguientes ecuaciones:

-Subperíodos: siembra-nacimiento, floración y Fructificación.

$$\begin{aligned}
 F_{hs} &= V_1 \text{ si } H < L_1 \\
 &= V_2 \text{ si } H > L_2 \\
 &= V_1 + [(H-L_1) \times (V_2 - V_1) / (L_2 - L_1)] \text{ si } L_1 < H < L_2
 \end{aligned}$$

- Subperíodos: nacimiento a principio de floración y maduración.

$$\begin{aligned}
 F_{hs} &= V_1 \text{ si } H < L_1 \\
 &= V_4 \text{ si } H > L_4 \\
 &= V_1 + [(H-L_1) \times (V_2 - V_1) / (L_2 - L_1)] \text{ si } L_1 < H < L_2 \\
 &= V_2 + [(H-L_2) \times (V_3 - V_2) / (L_3 - L_2)] \text{ si } L_2 < H < L_3 \\
 &= V_3 + [(H-L_3) \times (V_4 - V_3) / (L_4 - L_3)] \text{ si } L_3 < H < L_4
 \end{aligned}$$

Donde: V_n y L_n son los coeficientes para el subperíodo considerado. Se consideró que los niveles de humedad edáfica tienen un efecto diferencial de alargar o acortar el proceso fenológico según el subperíodo de que se trate. Durante el período nacimiento-principio de floración, un elevado contenido de humedad en el suelo favorece el crecimiento vegetativo y retrasa la aparición de los órganos florales. Un alargamiento de la maduración ocurre por causas similares. H es un índice de humedad de suelo desarrollado por Ravelo y Decker (1979).

Para el subperíodo siembra-nacimiento, la temperatura del suelo se estimó mediante el promedio ponderado de la temperatura media del aire de los últimos 14 días según la siguiente ecuación.

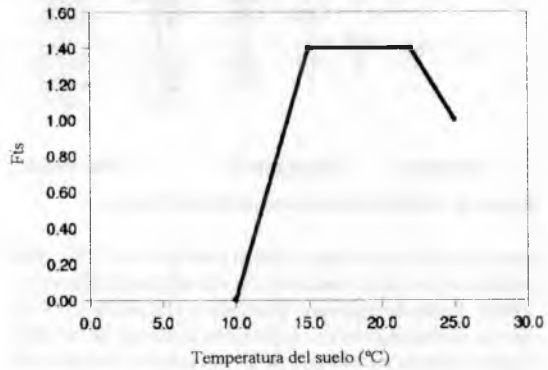
$$T_{\text{suelo}} = \left[\sum_{i=8}^{14} (T_{x_i} + T_{n_i}) / 2 * \sum_{i=1}^7 2(T_{x_i} + T_{n_i}) / 2 \right] / 21$$

siendo diari
$$T_{\text{suelo}} = \left[\sum_{i=8}^{14} (T_{x_i} + T_{n_i}) / 2 * \sum_{i=1}^7 2(T_{x_i} + T_{n_i}) / 2 \right] / 21$$

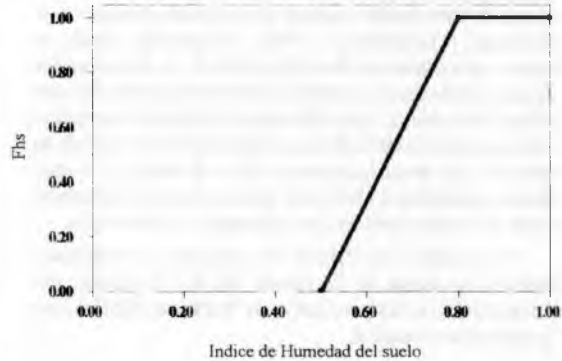
La acción de la temperatura cuando fue considerada efectiva cuando superaba los 10°C (Rahman y Gladstone, 1973). Este nivel térmico deberá ser ajustado para otras especies que responden a menores temperaturas (*L. angustifolius*) o a mayor temperaturas edáficas (*L. cosentinii*) según estudios de Herbert (1987) y von Baer (1991).

En las Figuras 2 se muestran las expresiones gráficas de las diferentes funciones para los diferentes subperíodos. Dependiendo del momento que se considere en la vida de la planta (desde el nacimiento a la maduración) RF será el resultado de una o varias

FUNCION PARA LA TEMPERATURA DEL SUELO (Fts)
Subperíodo Siembra a Nacimiento



FUNCION PARA LA HUMEDAD DEL SUELO (Fhs)
Subperíodo: Siembra a Nacimiento



FUNCION PARA LA DURACION DEL DIA (Fpp)
Subperíodo Nacimiento a Principio de Floración

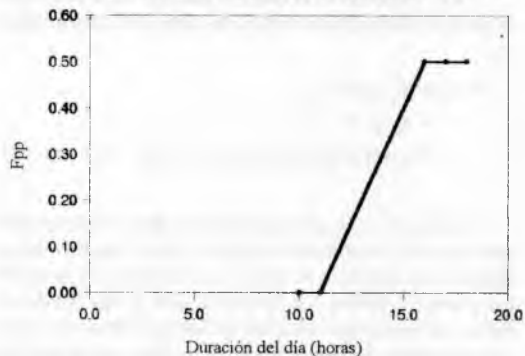


Figura 2: Funciones utilizadas en el modelo fenológico para los distintos subperíodos del lupino.

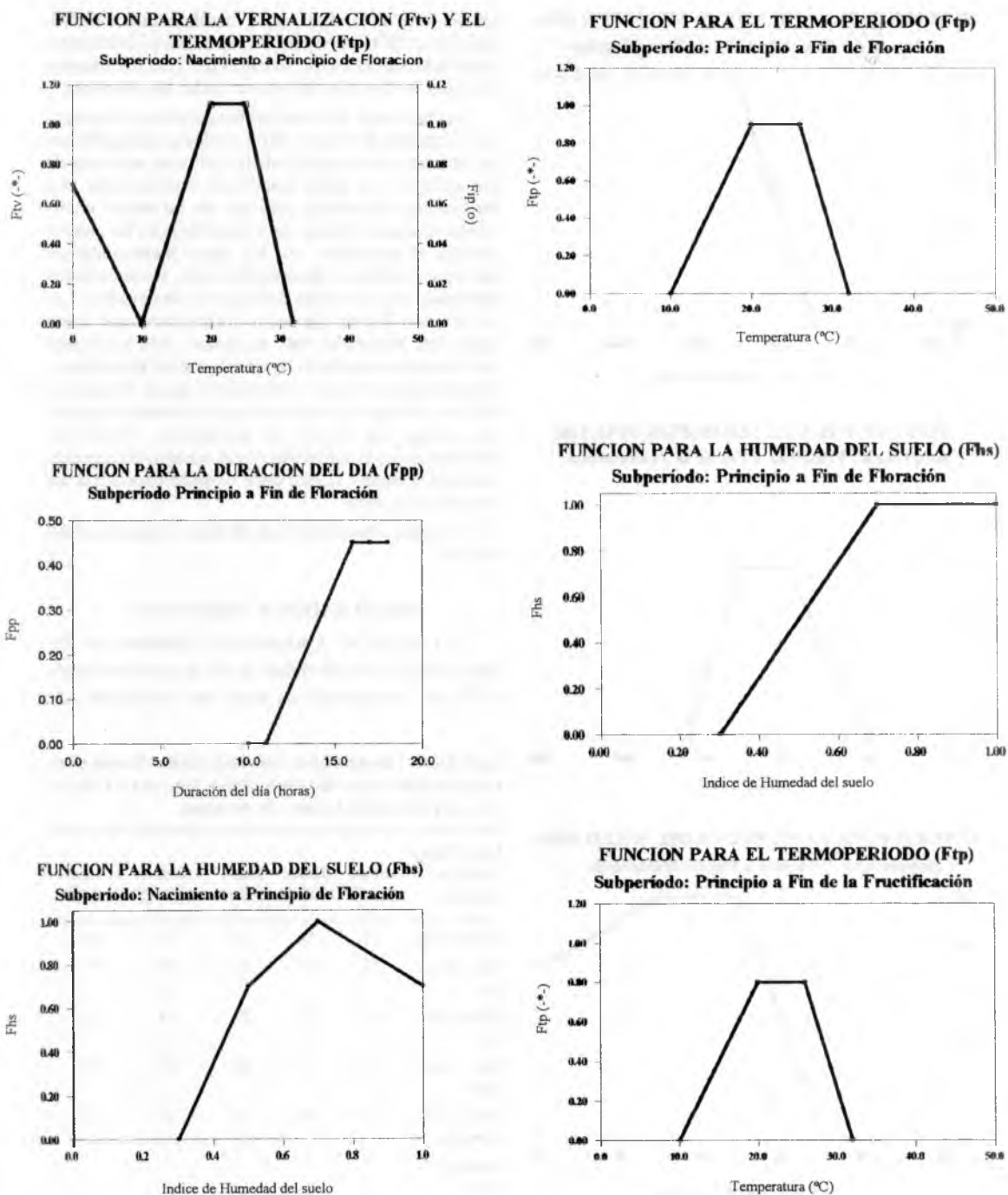
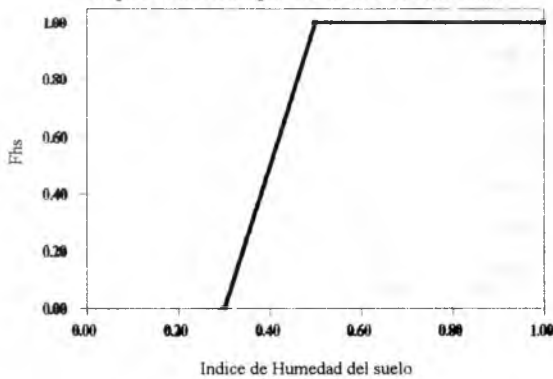
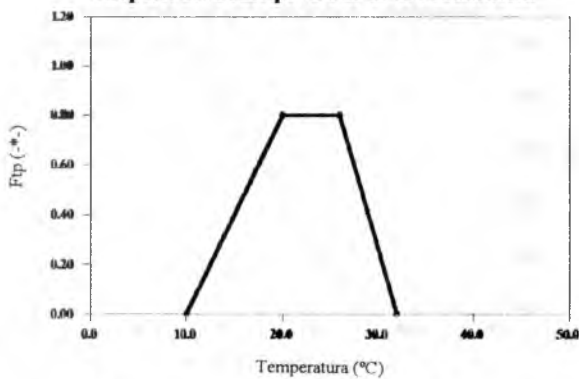


Figura 2 (continuación): Funciones utilizadas en el modelo fenológico para los distintos subperíodos del lupino.

FUNCION PARA LA HUMEDAD DEL SUELO (Fhs)
Subperíodo: Principio a Fin de Fructificación



FUNCION PARA EL TERMOPERIODO (Ftp)
Subperíodo: Principio a Fin de la Maduración



FUNCION PARA LA HUMEDAD DEL SUELO (Fhs)
Subperíodo: Principio a Fin de Maduración

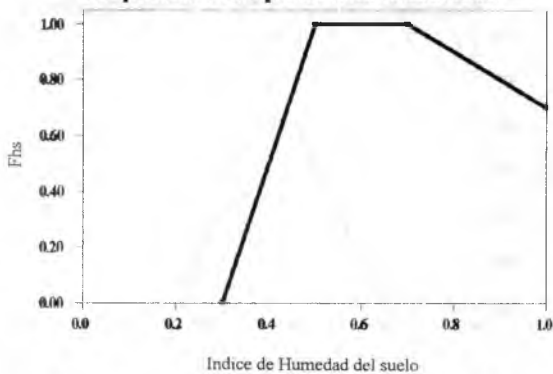


Fig. 2 (continuación): Funciones utilizadas en el modelo fenológico para los distintos subperíodos del lupino.

funciones. Por ejemplo, para el subperíodo siembra-nacimiento sólo intervienen las funciones de la temperatura y humedad del suelo, mientras que para nacimiento-principio de floración intervienen todas las funciones.

Las funciones de respuesta del cultivo a la temperatura, humedad del suelo y fotoperíodo fueron calibradas con los datos provenientes de las primeras siembras de los ensayos en cada localidad considerada. La metodología de trabajo consistió en establecer coeficientes iniciales teóricos para las diferentes funciones, ejecutar el programa con los datos meteorológicos diarios y el índice de humedad de suelo y comparar los resultados con los datos fenológicos observados. Los coeficientes fueron ajustados interactivamente hasta lograr las diferencias más pequeñas entre las fechas estimadas por el modelo y las observaciones fenológicas. Cuando esto se logró, se consideró que el modelo se hallaba calibrado. La validación del modelo consistió en estimar las fechas de nacimiento, floración, fructificación y maduración de los ensayos de segunda y tercera siembras, siendo estos considerados como las parcelas de control.

La figura 3 muestra el flujo de datos y resultados del modelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro N° 1 muestra la duración de los subperíodos considerados desde la siembra hasta el fin de la maduración para las localidades de

Cuadro N° 1 Duración de los subperíodos fenológicos en las localidades de Junín (Pcia. Bs. As.) y Córdoba para distintas fechas de siembra.

Localidad y Fecha de Siembra	Junín 2/7/92	Junín 17/7/92	Junín 5/8/92	Córdoba 21/6/92	Córdoba 8/7/92
Siembra-nac.	20	25	15	22	23
Nac-princ. flor.	57	51	50	70	65
Princ. a fin flor.	30	23	21	31	29
Princ. a fin fruct.	31	30	24	42	38
Princ. a fin de madur.	19	19	20	12	10
Duración total del ciclo	166	154	148	175	159

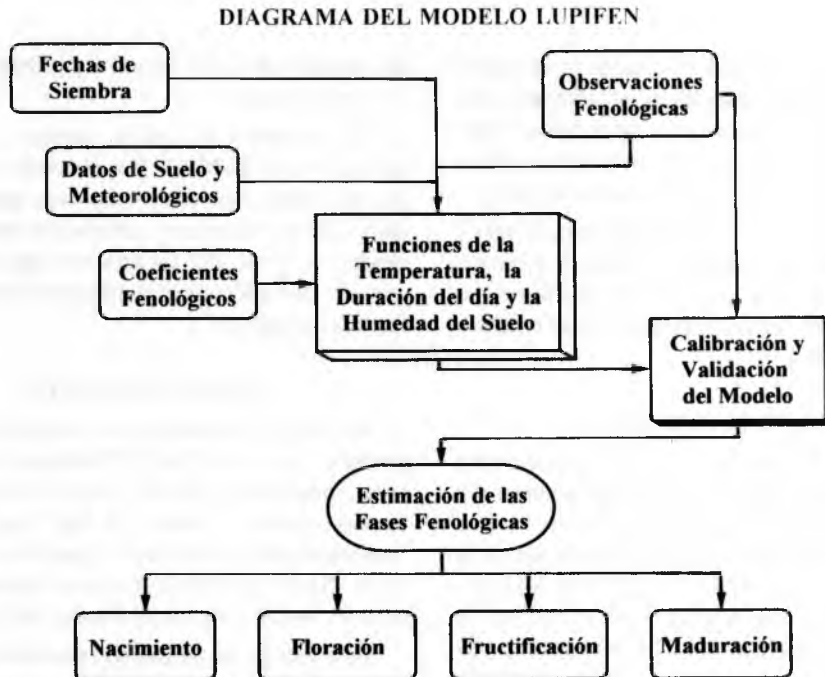


Figura 3: Diagrama del modelo Lupifen II

Junín y Córdoba durante la campaña 1992. Puede apreciarse que existe una relación entre la fecha de siembra y la duración total del ciclo del cultivo así como la duración de los subperíodos. Cada subperíodo y, en consecuencia, el ciclo total se acortan a medida que las siembras se retrasan. La reducción del ciclo del cultivo por retraso en la fecha de siembras tiene un importante efecto en la disminución de los rendimientos, habiéndose observado reducciones de hasta 52 kg/ha por cada día de retraso respecto de la fecha óptima de siembra (Putman *et al.*, 1991). En la siembra más tardía (tercer siembra del ensayo de Junín) el ciclo se acorta en 18 días con respecto a la primer siembra.

El modelo ha simulado las respuestas de los cultivares a las épocas de siembra estimando, con sólo 5 días de diferencia, la fecha de la maduración. Estos resultados son suficientemente precisos como para permitir la utilización del LUPIFEN II en una subrutina de un modelo de rendimientos.

En la figura 4 se presentan los resultados del proceso de validación con las fechas estimadas y observadas de todas las fases fenológicas de las

segundas y terceras siembras en todas las localidades. Como se puede observar existe una estrecha relación entre las fechas estimadas y observadas. La mayor diferencia en las estimaciones corresponde a la fase de maduración para los ensayos de Junín en donde, las fechas estimadas fueron el 21 de diciembre y el 7 de enero, mientras que las observadas fueron el 15 y 30 de diciembre. Este

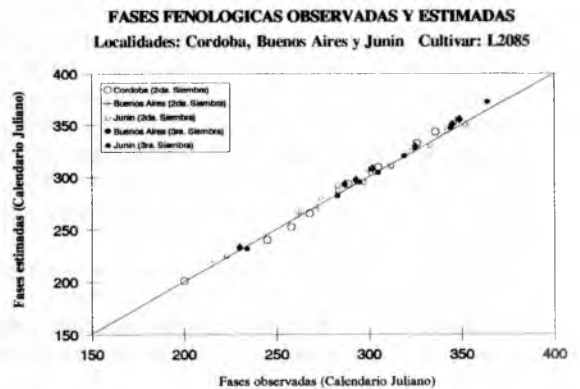


Figura 4: Fases observadas y estimadas del lupino blanco en diferentes fechas de siembra en las localidades consideradas.

desfasaje en el cálculo del proceso de maduración, puede deberse a las enfermedades que afectaron a los ensayos, las cuales pueden haber adelantado el proceso de maduración. El modelo no considera el efecto de las enfermedades sobre las fases fenológicas.

La mejor estimación fue obtenida para la fase de floración en todas las épocas de siembra, con errores de estimación de sólo 1 ó 2 días. El coeficiente de correlación entre fechas fenológicas observadas y estimadas fue de 0,97.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante la calibración y validación del modelo han sido satisfactorios. Se pudo demostrar que los algoritmos utilizados en LUPIFEN II permiten una buena estimación de la ocurrencia de las fases fenológicas. Además presenta una mayor sensibilidad en el cálculo de la respuesta de reducción del ciclo del cultivo por retraso en la fecha de siembras, con respecto a la primera versión del modelo. Este aspecto permite incorporar al LUPIFEN II como subrutina de programas de modelos de rendimientos, dado que

la duración del ciclo afecta significativamente a los rendimientos.

Se considera necesario ampliar el área de aplicación de LUPIFEN II realizando experimentos de campo con otros cultivares para obtener datos que permitan una calibración universal del modelo y a su vez incorporar algoritmos que consideren el efecto de las enfermedades sobre las fases fenológicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Ings. Agrs. Daniel Sorlino y María del Pilar Villarino por la información suministrada de los ensayos realizados en Buenos Aires y Junin. Al Ing. Agr. Roberto Zanvettor por los datos de los ensayos en Córdoba. Al Sr. Gene Aksland de Resource Seeds, Inc. por proveer semillas de los cultivares utilizados.

Este trabajo fue subsidiado parcialmente por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba y el Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas de la provincia de Córdoba (CONICOR).

BIBLIOGRAFIA

- CLAPHAM, W.M. and S.L. BARNES. 1988. The requirements for vernalization in white lupin. *Agron. Abstr. Amer. Soc. Agron.*: 123-124. Madison Wisc.
- CLAPHAM, W.M., S.L. BARNES and C.J. CROSBY. 1991. Thermosensitivity in white lupin. *Proc. 6th Inter. Lupin Conf.*: 307-310. Temuco, Chile.
- FAGNANO, M. and L. POSTIGLIONE. 1995. Physiologic and productive behaviour of sweet lupins (*Lupinus spp.*): whole plant and single branches analysis. *2nd. Eur. Conf. Grain Leg.*: 252-253. Copenhagen, Suecia.
- FERNANDEZ, E.J., L. LOPEZ-BELLIDO, M. FUENTES and J.E. CASTILLO, 1995. LUPINMOD: A lupin growth model for mediterranean conditions. *2nd. Eur. Conf. Grain Leg.*: 138-139. Copenhagen, Suecia.
- GOLDSTEIN, W. 1984. Growth type of the white lupin and their suitability for cropping in the Pacific Northwest USA. *Proc. 3rd. Inter. Congress.*: 558-559. La Rochelle, Francia.
- HARZIC, N. C. HUYGHES and J. PAPINEAU, 1995. Leaf area development in a dwarf autumn-sown white lupin (*Lupinus albus* L.) *2nd. Eur. Conf. Grain Leg.*: 52. Copenhagen, Suecia.
- HERBERT, S. J. 1987. Cultural practices and production constraints in lupines. *Proc. Sym. Grain Leg. Alt. Crops*: 185-194. St. Paul, Minnesota.
- HUYGHES, C., 1990. Winter growth of autumn sown white lupin (*Lupinus albus* L.): Main apex growth model. *Proc. 6th Inter. Lupin Conf.*: 299-306. Temuco Chile.
- HUYGHES, C., N. HARZIC and B. JULIER, 1995. Relationship between main stem structure and light interception efficiency among determinate autumn-sown white lupins. *2nd. Eur. Conf. Grain Leg.*: 45. Copenhagen, Suecia.
- LOPEZ BELLIDO, L., 1984. Estado actual del lupino en el mundo. *Proc. 3rd. Inter. Lupine Congress.*: 488-510, La Rochelle, Francia.

- MILFORD, G. T. SCOTT, R. JONES, P. SIDONS and C. HUYGHES. 1995. The use of simple physiological models of plant development to predict where autumn-sown, determinate white lupins (*L. albus* L.) might be grown in the UK. *2nd. Eur. Conf. Grain Leg.*: 136-137. Copenhagen, Suecia.
- PLANCHUELO-RAVELO, A.M., 1989. Collecting soybean experimental data for yield simulation models: An experience for Ecuador. *Proc. World Soybean Res. Conf. IV*: 163-168. Buenos Aires, Argentina
- PLANCHUELO, A. y E. FUENTES, 1994. Las especies de *Lupinus* y sus características como cultivo proteoleguminoso. *Oleaginosos 7*: 22-26. Argentina.
- POMPEI, C. e M. LUCISANO. 1976. Il lupino, una leguminosa antica con un nuovo futuro. Progetto Finalizzato. Ricerca di nuove fonti proteiche e nuove formulazioni alimentari, 127 pp. Ed. Tecnos Milano.
- PUTMAN, D.H., L.H. FIELD, J. GUNSOLUS, K. AYISI and L. HARDMAN, 1991. Production factors for white lupin. En, R. Meronuck, H. Meredith and D. Putman. *Lupin production and utilization guide*: 6-15. Univ. of Minnesota, St. Paul.
- PUTMAN, D., S.R. SIMMONS and L. HARDMAN, 1993. Vernalization and seeding date effects on yield and yield components of white lupin. *Crop Sci.* (33): 1076-1083.
- RAHMAN, M.S. and GLADSTONES, 1972. Control of lupin flower initiation by vernalization, photoperiod and temperature under controlled environment. *Austr. J. Exp. Agric. and Anim. Husb.*, (12): 638-645.
- RAHMAN, M.S. and GLADSTONES, 1973. Temperatures responses of lupin species during germination and flower development. *Austr. J. Exp. Agric. and Anim. Husb.*, (39): 259-262.
- RAHMAN, M.S. and GLADSTONES, 1974. Effects of temperature and photoperiod on flowering and yield components of lupin genotypes in the field. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* (14): 205-213.
- RAVELO, A.C. and W.L. DECKER, 1979. The probability distribution of a soil moisture index. *Agr. Meteor.* 20:301-312.
- RAVELO, A. C. y A.M. PLANCHUELO-RAVELO, 1987. Lupifen: Un modelo fenológico para el lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *Actas III Reun. Argent. Agrometeorología*: 75-84. Vaquerías, Córdoba, Argentina.
- REEVES, T.G., K.A. BOUNDY and H.D. BROOKE, 1977. Phenological development studies with *Lupinus angustifolius* and *L. albus* in Victoria, Australia. *Aust. J. Exp. Agric. and Animal Husb.* 17:637-644.
- SHIELD I. and G. MILFORD, 1995. The performance of autumn-sown, determinate genotypes of white lupin (*Lupinus albus*) in different regions of the United Kingdom. *2nd. European Conf. Grain Leg.*: 144-145. Copenhagen, Suecia.
- SYLVESTER-BRADLEY, R., 1979. Lupins are more affected by weather than most crops. *Arable farming*: 60-65.
- VAVILOV, P. P. and G. G. GATAULINA, 1984. Growth and development pattern of different spring forms of *Lupinus albus*. *Proc. 3rd Inter. Lupine Conf.*: 562-565, La Rochelle, Francia.
- VON BAER, D., 1991. Comparative advantages of lupin. *Proc. 6th Int. Conf.*: 141. Temuco-Pucón, Chile.
- WILLIAMS W. and S. K. BROCKLEHURST, 1983. Environmental factors affecting plant development in *Lupinus albus*: The effect of chilling and photoperiod during seedling development of flowering. In R. THOMPSON and R. CASEY. *Perspectives for peas and lupins as protein crops*: 59-71. Martinus Nijhoff Publishers. The Hague.