

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN MODELO AGROMETEOROLÓGICO PARA SOJA

Yolanda Villacampa¹, Ferran Verdu, Adriana Confalone²

ABSTRACT - Crop productivity is mainly related to complex interactions between climate and crop ecophysiological processes. Solar radiation, air temperature and water availability affect plant growth. This trial was performed at the experimental station of the Facultad de Agronomía de Azul - UNCPBA, Buenos Aires, Argentina throughout three agricultural seasons. The model uses the sum of degree days to predict dry matter accumulation and the maximum interception of photosynthetically active radiation throughout the cycle in order to adjust the radiation model in a soybean crop. The purpose of this article is to evaluate the stability of this model from the study achieved in Verdu et al. (2002). In order of that the stability of the models obtained in the article Confalone et al. (2002) is analyzed and also is considered a new methodology (Verdú et al., 2005) to improve the model obtained for IAF in the case of the rainfed treatment getting a more stable model.

INTRODUCCIÓN

La soja es una leguminosa de gran importancia económica la cual es cultivada bajo condiciones ambientales muy variables y predominantemente sin irrigación. La mayoría de las veces está sujeta a déficit hídrico, con mayor o menor intensidad lo que puede afectar su crecimiento (MUCHOW et al., 1993). De esta forma, tanto su desarrollo como su rendimiento son muy dependientes de la precipitación pluvial, principalmente debido a la distribución irregular durante el ciclo del cultivo.

La radiación solar, la temperatura y el agua son los principales elementos agrometeorológicos que regulan los procesos metabólicos de las plantas. En condiciones atmosféricas, junto a otros elementos atmosféricos, se comportan como un sistema orgánico y complejo, por lo que resulta difícil explicar el comportamiento de los cultivos. A pesar de las simplificaciones de la realidad hechas por los modelos, estos son una valiosa herramienta para la comprensión de la conducta de estos sistemas complejos (Ford, 1999).

Para diversas especies vegetales, creciendo en condiciones no limitantes, ocurre una relación lineal entre la acumulación de materia seca y la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo, permitiendo el ajuste de un modelo simple para la estimación de la producción potencial en un determinado lugar (Monteith, 1977; Gosse et al., 1986). Este trabajo se desarrolla un análisis de la estabilidad de modelos de crecimiento de la soja, por informaciones de radiación solar y temperatura durante el ciclo del cultivo, en diferentes condiciones hídricas, descritos con detalles en Confalone et al. (2002). El estudio de la estabilidad se basa en lo realizado en Verdú y Villacampa, (2005), basado en un análisis de Monte Carlo, se ven los efectos producidos en el modelo a partir de perturbaciones realizadas en los datos experimentales, mediante la función de

sensibilidad. Una mayor sensibilidad nos conduce a considerar un modelo menos estable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de los modelos, se utilizaron datos experimentales de tres años agrícolas provenientes de Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina (latitud: 36°45'S; longitud: 59°50'W; altitud: 132m).

El clima de la región es templado húmedo con influencia oceánica del tipo fundamental Cfb (Köppen, 1931), que predomina en la región centro-este de la provincia de Buenos Aires.

El suelo fue caracterizado como Argiudol típico, según Soil Taxonomy (USDA-SMSS, 1990), con alto contenido de materia orgánica.

Los tratamientos utilizados fueron: 1.- con irrigación (suelo mantenido próximo a capacidad de campo) y no irrigado (recibiendo solamente lluvia). Semanalmente fueron determinados el peso seco de 0.5 m² de cultivo (incluyendo las raíces), el índice de área foliar (IAF) y la radiación fotosintéticamente activa incidente e interceptada fue medida con un sensor cuántico lineal (PAR-Li-COR, inc.).

De esta forma, el modelo propuesto, detallado en Confalone et al. (2002) puede ser expresado como resultado de la siguientes ecuaciones:

$$MS = -0,1600E-9 * GD^4 + 0,5999E-3 * GD^2 + 1,2627 * GD - 501,1677 \quad Ec. 1$$

(R² = 0,91)

donde: MS: Materia seca, GD: acumulación de grados día. Y también por la siguiente ecuación:

$$MS = EUR (RFA_{inc} * \beta * (1 - \exp^{-k * IAF_{gd}})) \quad Ec. 2$$

donde: MS: Materia seca, EUR: Eficiencia de utilización de la radiación (Monteith, 1977), RFA_{inc}: radiación fotosintéticamente activa incidente, β : máxima eficiencia de interceptación, k: coeficiente de extinción, IAF_{gd}: calculado por la regresión entre la acumulación de grados día (GD) y el IAF observado.

Para ser utilizado en la ecuación 2, se obtuvieron modelos del IAF en función de los GD de los que en este artículo se estudiará su estabilidad, procediendo de la misma forma con el modelo de materia seca (ecuación 1).

Para obtener una ecuación de ajuste que mejor represente el IAF en función de los grados día se utilizaron distintos programas SPLUS (1997) y MODELHSS (Cortés, 2000) que desarrollan las metodologías que construyen ecuaciones matemáticas analizadas respectivamente en SPLUS (1997), Villacampa (1999) y Cortés (2000). Además en este artículo de ha utilizado una nueva metodología (Verdú, 2005) para la obtención de un modelo más estable que represente el IAF en el caso no irrigado.

¹ E.U. Dpto. Matemática Aplicada. E.P.S.A. Universidad de Alicante. Apto.99. E-03080, Alicante, España.

² Agrometeorología. Facultad de Agronomía de Azul-UNCPBA. CC 47, 7300-Azul, Buenos Aires, Argentina.

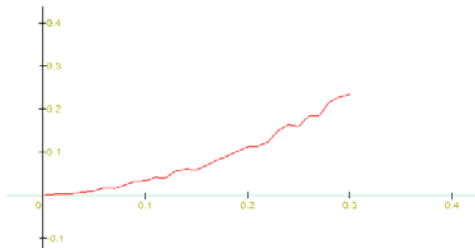
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las ecuaciones obtenidas se seleccionó la mejor y que se corresponde con la obtenida con el programa MODELHSS. Se hace distinción entre el cultivo irrigado y seco.

La ecuación de ajuste del IAF en función de los grados día para el cultivo irrigado con coeficiente de determinación de 0,79 obtenida es:

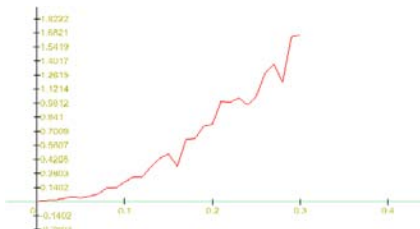
$$IAF = -0,1059E-11 * GD^4 - 0,3931E-5 * GD^2 + 0,1445E-1 * GD - 3,7875.$$

Para una perturbación en los datos iniciales del 30%, la representación de la sensibilidad del modelo a partir de la función de sensibilidad, nos indica que no supera la misma variación:



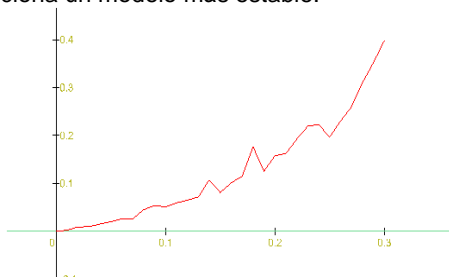
No ocurre lo mismo con IAF para el caso de cultivo de secano que la sensibilidad de la mejor ecuación obtenida:

$$IAF = -0,9472E-12 * GD^4 - 0,3515E-5 * GD^2 + 0,1079E-1 * GD - 2,6338, \text{ con Coeficiente de Determinación } [0,74], \text{ que como se desprende del dibujo su sensibilidad es mayor y supera el 30\% de variación:}$$



Por este motivo se ha utilizado un nuevo algoritmo para determinar familias de modelos que fueran más estables, (Verdú, F.,2005) obteniendo un nuevo modelo:

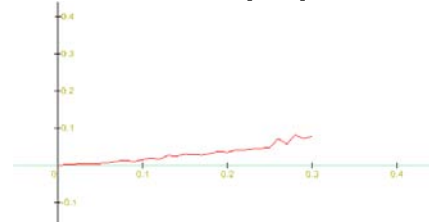
$$IAF = -8,3744E-6 * GD^2 + 0,01584 * GD - 3,8745, \text{ con coeficiente de determinación } [0,74], \text{ que resulta ser más estable, lo que se desprende de su sensibilidad que resulta ser menor que la del anterior modelo y proporciona un modelo más estable:}$$



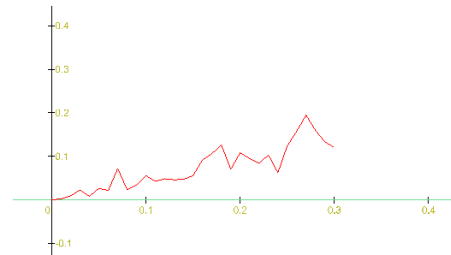
Los modelos obtenidos de materia seca en función de grados día son estables. Para el cultivo irrigado el modelo

$$MS = -0,1600E-9 * GD^4 + 0,5999E-3 * GD^2 + 1,2627 * GD - 501,1677$$

Coeficiente de Determinación [0,91] se obtiene:



Y para el cultivo de secano $MS = -0,8029E-3 * GD^2 + 2,5566 * GD - 836,5342$ coeficiente de Determinación [0,95]



La producción de MS y el IAF en soja pueden ser estimadas a partir de modelos de relación con la temperatura media del aire a través de la acumulación de grados-día y con la sumatoria de radiación fotosintéticamente activa incidente, considerando la RFA interceptada. Además el estudio de la estabilidad ha permitido mejorar el modelo para el IAF en el caso de cultivo de secano.

REFERENCIAS

- Confalone, A., Y. Villacampa, M. Cortés, M. Navarro. Soybean growth as a function of air temperature and photosynthetic active radiation. Revista Brasileira de Agrociencia. v.8, n.3, p. 185-189, 2002.
- Cortés, M. Un nuevo algoritmo para la modelización de sistemas altamente estructurados. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante. España., 232p, 2000
- Ford, A. Modeling the environment. Island Press, Washington D.C., 401p. 1999.
- Gosse, G.; Varlet-Grancher, C.; Bonhomme, R. et al. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. Agronomie, Paris, v.6, p.47-56, 1986.
- Köppen, W. Grundriss der klimakunde, Walter de Gruyter, Berlin, 1931, 338p.
- Monteith, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. Phil Trans.R. Soc., London, v.281, p.277-294, 1977.
- Muchow, R.C.; Robertson, M.J.; Pengelly, B.C. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. Field Crops Research, Amsterdam, v.32, n.1, p.1-6, 1993.
- SPLUS. Guide to statistics. Data analysis. Products division, Math soft. United States.1997.
- USDA-SMSS. Department of Agriculture. Soil Management Support Services. Keys to soil taxonomy, (tech monograph, 19). Washington, 422p. 1990.
- Verdú, F.; Villacampa, Y. A computer program for a Monte Carlo analysis of sensitivity in equations of environmental modelling obtained from experimental data. Advances in Engineering Software. Volumen 33, Núm.6 Pag. 351-359.2002
- Verdú F. Un algoritmo Computacional para la construcción de modelo no lineales y el estudio de su estabilidad. Tesis Doctoral 2005.
- Villacampa, Y.; Usó, J.L. Mathematical models of complex structural systems. A linguistic vision. International Journal of General Systems, New York, v.28, p.37-52, 1999.