

## **MODELO DE SIMULACIÓN DE FENOLOGÍA DE SOJA (SI.FE.SOJA): UNA HERRAMIENTA ÚTIL PARA EVITAR EL ESTRÉS HÍDRICO DURANTE EL PERIODO CRÍTICO.**

Hugo Felipe Peltzer<sup>1</sup>, Nelson Gerardo Peltzer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INTA EEA Paraná, Ruta 11 Km. 12,5 (3101), Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

hpeltzer@parana.inta.gov.ar

<sup>2</sup> Ingeniería en Informática. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH). Universidad Nacional del Litoral. Ciudad Universitaria, Santa Fe, Argentina.

nelson.peltzer@gmail.com

**RESUMEN.** SIFESOJA es un modelo de simulación de fenología de soja, que permite estimar la fecha de ocurrencia de los principales estados fenológicos reproductivos: plena floración (R2), inicio del llenado de granos (R5), máximo diámetro de semillas (R6), madurez fisiológica (R7) y madurez de cosecha (R8) según la escala de Fehr y Caviness (1977). La posibilidad de predecir la fecha de ocurrencia de las distintas etapas del cultivo de soja, resulta de gran interés para la toma de decisiones en el manejo del mismo. También se puede realizar la simulación inversa: eligiendo la fecha de ocurrencia del período crítico (R5) y el cultivar, el modelo calcula la fecha de siembra. Otra función es la comparación, entre dos cultivares elegidos, del perfil de comportamiento en altura y rendimiento al variar la fecha de siembra. La primera versión de este software desarrollado por el INTA Paraná se difundió durante el año 2005 y su uso estuvo recomendado para la provincia de Entre Ríos. A partir de entonces todos los años se desarrolla una nueva versión, incorporándose avances en la prestación que han permitido mejorar la precisión y el área geográfica de utilización. El uso principal es la elección del cultivar y la fecha de siembra para evitar la coincidencia del período crítico con estrés hídrico (escape), como así también la programación de monitoreos de plagas y enfermedades y la predicción del momento de cosecha.

**PALABRAS CLAVE.** Software, soja, fenología, simulación, cultivares.

## 1 Descripción general

La duración de las etapas del desarrollo del cultivo de soja están reguladas por el fotoperíodo y la temperatura (Boote et al 1989)[1]. La sensibilidad fototérmica varía en los distintos genotipos, siendo mayor en los cultivares de ciclo más largos. El fotoperíodo y la temperatura varían con la ubicación geográfica (Latitud) y con la época del año (fecha de siembra) generando una compleja interacción genotipo-ambiente que torna difícil la predicción de las etapas fenológicas del cultivo, sin la ayuda de una herramienta adecuada. La posibilidad de predecir la fecha de ocurrencia de las distintas etapas del cultivo de soja, resulta de gran interés para la toma de decisiones en el manejo del mismo.

Desde la campaña agrícola 1995/96, en la EEA INTA Paraná, se realizaron ensayos con cultivares de soja de distintos grupos de madurez (GM III al VIII) y en diferentes fechas de siembra (desde el 10 de septiembre al 15 de Febrero). Se registró la fecha de los estadios fenológicos reproductivos (Escala de Fehr y Caviness) [2], se midió la altura de plantas y el rendimiento de granos. Mediante la utilización del software TableCurve 2D [3] se obtuvieron ecuaciones de regresión de la duración desde la siembra hasta distintos estadios fenológicos reproductivos (R2, R5, R6, R7 y R8) en función de la fecha de siembra y para cada cultivar. También se obtuvieron regresiones, para los distintos cultivares, de altura de planta y rendimiento en función de la fecha de siembra. A partir de estas regresiones se desarrolló un software que utiliza estas ecuaciones modelando el comportamiento de los cultivares.

Durante la campaña 2008/09 se realizaron réplicas de los ensayos en los extremos norte (La Paz) y sur (Gualectuay) de la provincia de Entre Ríos con el fin de incorporar al modelo un algoritmo que ajuste en función de la latitud. Al final de cada campaña se desarrolla una nueva versión hasta llegar a la actual (SIFESOJA 2012) la que ha alcanzando difusión y utilización fuera de los límites provinciales.

Ante la demanda de profesionales de la agronomía y productores de diferentes regiones del país, se decidió desarrollar una versión del software que pueda ser utilizado en la totalidad de la región sojera Argentina. Para ello se trabajó con una base de datos de INTA generada en ensayos de fechas de siembra y cultivares en distintas Estaciones Experimentales del país. Los trabajos en ejecución se realizan en el marco de un proyecto financiado por la Agencia de Ciencia, Tecnología e Innovación de Entre Ríos (ACTIER). Además se firmó un convenio de vinculación tecnológica entre el INTA y la empresa AGROBIN la que realizará la difusión y comercialización del software.

Actualmente Si.Fe.Soja 2012 se encuentra en etapa de exitosa comercialización, teniendo en su haber miles de descargas y cientos de licencias vendidas que fueron adquiridas por productores y profesionales de la agronomía de todo el país.

Además es importante mencionar su amplio uso en el ambiente académico. Sobre esto podemos decir que actualmente es usado con fines didácticos por cinco universidades nacionales: UNER, UBA, UNT, UNRC, UNNE. Y además varias otras instituciones de otros países están interesadas en llevar la experiencia de Si.Fe.Soja a sus países. Entre ellas podemos mencionar a la Universidad de la República Uruguay, el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba y el Proteinnvorsingstiging (Protein research foundation) de Sudáfrica.

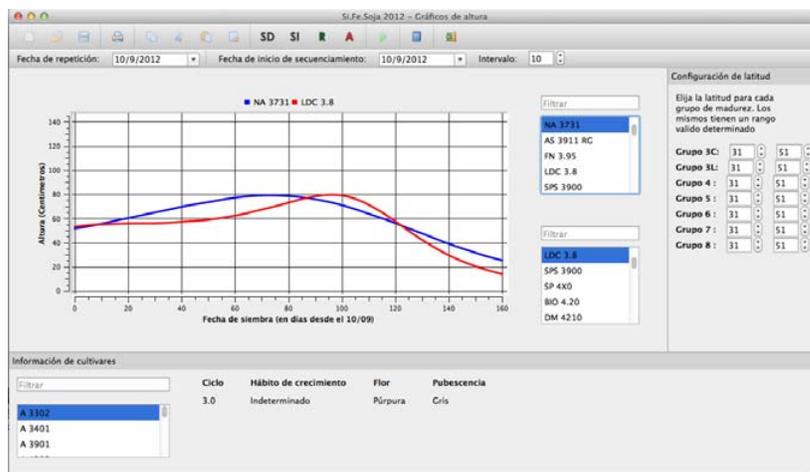
El uso principal de este modelo está relacionado con la elección del cultivar y la fecha de siembra evitando que el período crítico coincida con altas probabilidades de estrés hídrico, como así también la programación de monitoreos de plagas y enfermedades y la predicción del momento de cosecha.

## 2 Materiales y métodos

Entre los modelos de simulación podemos distinguir dos tipos básicos: los modelos mecanicistas y los modelos empíricos, también llamados modelos estadísticos (Christopher Teh, 2006). Los modelos mecanicistas son de difícil utilización bajo circunstancias precisas y detalladas ya que requieren un elevado número de entradas para su correcto funcionamiento, muchas de las cuales son muy difíciles de obtener para realizar la simulación. Por otra parte los modelos empíricos son considerablemente más sencillos y tienen un número menor de entradas. Esto facilita la implementación y el uso de los mismos. Es de esperar que los modelos mecanicistas se comporten mejor que los modelos empíricos, no obstante esto no es necesariamente cierto.

Como se menciono antes, Si.Fe.Soja es un modelo empírico construido a partir regresiones multivariadas de distinto orden y tipo. El software cuenta con un procesador algebraico que le permite interpretar complejas ecuaciones de hasta diez coeficientes de doble precisión en microsegundos, otorgando así la posibilidad de realizar *batches* de simulaciones de forma casi instantánea.

El software fue desarrollado bajo el estándar de C++ y gracias a esto tiene la posibilidad de correr en múltiples plataformas. Actualmente esta disponible para Windows y Mac Os X, mientras que se encuentran en desarrollo las versiones para Linux, Android y BlackBerry 10. Para la interfaz de usuario se utilizo el *framework* QT que otorga una interfaz de usuario amigable y la librería QWT para graficar los perfiles de comportamiento de Rendimiento y Altura vs Fecha de siembra. Tanto QT como QWT tienen soporte multiplataforma.



**Fig. 1.** Captura de pantalla de la versión 2012 de Si.Fe.Soja para Mac Os X. En la misma puede observarse la interfaz de usuario.

Para el manejo de datos de entrada se optó por un formato binario propio con el fin de encapsular los datos y obtener un rápido acceso a los mismos. De igual forma para la versión actual los archivos de salida se manejan a través de un formato propio que permite guardar los resultados de las simulaciones.

### 3 Validación

Se compararon datos simulados con SIFESOJA 2012 con datos de fenología registrados en Paraná en 6 fechas de siembra con 18 cultivares para los estadios fenológicos R2, R5, R6, R7, R8 y con datos registrados en la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja (RECSO) solamente para floración (R2) y madurez (R8) en distintas localidades ubicadas entre 23° 48' y 38° 20' de latitud sur. El total de datos comparados en Paraná fue de 540 y en la RECSO fue de 290.

La validación en Paraná muestra que el 64,4 % de los casos el desvío es igual o menor a 3 días y el 80,3% es igual o menor a 5 días. Si se consideran fechas de siembra desde noviembre en adelante estos valores crecen al 81,1% y 94,2% respectivamente.

La validación con datos de RECSO los desvíos fueron  $\leq$  a 3 días en el 61,1% de los casos,  $\leq$  5 días en el 79,2% y  $\leq$  7 días en el 91,3%. Se asume menor precisión en los registros fenológicos de la RECSO dada las características en la conducción de los ensayos, lo que determinaría el menor ajuste.

Considerando la totalidad de los datos comparados (830) se obtuvo un desvío medio de 3,38 días. En las figuras 2 y 3 se muestra la distribución de frecuencia de los desvíos entre datos simulados y observados en Paraná y RECSO respectivamente.

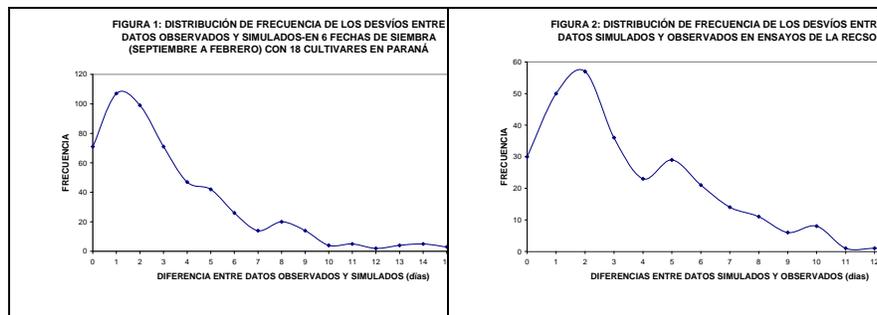


Fig. 2. y 3. Gráficos de distribución de frecuencia de los desvíos entre datos observados y simulados en Paraná y otras ciudades de Argentina.

#### 4 Próximas líneas de investigación

Si bien se cuenta las validaciones expuestas previamente, se planea hacer un análisis estadístico más profundo sobre el comportamiento de Si.Fe.Soja 2012. En este análisis se utilizaran muestras de ensayos que no fueron considerados al desarrollar el modelo y se calcularan distintos estadísticos sobre estas muestras.

Para facilitar esta tarea se pretende desarrollar un modulo para Si.Fe.Soja 2012 que posibilite en primera instancia realizar rápidamente operaciones de carga de datos de campañas reales, realizar operaciones estadísticas y correr procesos por lotes que permitan la automatización de pruebas.

Para este fin, se pretende integrar una consola que interprete Python dentro de Si.Fe.Soja 2012. Esto otorgara al modelo la posibilidad de contar con las funcionalidades de Python. Luego de realizar esta tarea se integrara un modulo o librería con funciones estadísticas específicas que sirvan de base para desarrollar el modulo de automatización de pruebas. Habiendo configurado Python con potencial gráfico y estadístico se procederá a crear los batches que realicen las pruebas propiamente dichas. Para esto será necesario que los *scripts* que se escriban en Python tengan acceso a las funciones y procedimientos nativos de C++ con los que Si.Fe.Soja 2012 hace las simulaciones.

Una vez finalizado este trabajo y teniendo en cuenta la bibliografía especializada se seleccionaran los estadísticos acordes para la validación del modelo ya que los mismos tienen características especiales y deben elegirse cuidadosamente de acuerdo al modelo que se quiere validar.

## 5 Bibliografía

- 1 BOOTE, K.J; JONES, J.W. y HOOGENBOOM, G. 1989 – Simulating growth and yield response of soybean to temperature and photoperiod. Actas de la IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja. Buenos Aires – Marzo de 1989. Tomo I pp 273-278.
- 2 FEHR, W.R. y CAVINESS, C.E. 1977 -Stages of soybean development. Special Report 80. Cooperative Extension Service.Agriculture and Home Economics Exp. Stn Iowa State University, Ames, Iowa. 11: 929-931.
- 3 TableCurve 2D Versión 5.01 Copyright © SYSTAT Software Inc. 2002
- 4 TEH, C.B.S. 2006. Introduction to mathematical modeling of crop growth: How the equations are derived and assembled into a computer program. BrownWalker Press, Boca Raton, Florida, U.S., -Book