



Foto: Monika Kavanová

# CRONOSOJA UY: un nuevo modelo de predicción fenológica para el cultivo de soja en Uruguay

Ing. Agr. MSc. Dr. Alan David Severini<sup>1</sup>,  
Lic. Biol. Dr. Monika Kavanová<sup>2</sup>, Ing. Agr. MSc. Sergio  
Ceretta<sup>2</sup>, Ing. Agr. Dr. Santiago Álvarez Prado<sup>3,4</sup>,  
Téc. MSc. María Elena Fernández Long<sup>3</sup>,  
Programador Aníbal Crespo<sup>3</sup>, Ing. Agr. MSc.  
Dr. María Elena Otegui<sup>1,3,4</sup>, Ing. Agr. MSc. Dr. Claudia  
Rosa Cecilia Vega<sup>5</sup>, Ing. Agr. MSc. Sebastián Zuil<sup>6</sup>,  
Ing. Agr. Dr. Martín Acreche<sup>4,7</sup>,  
Ing. Agr. MSc. Ruth Fabiola Scholz Drodowski<sup>8</sup>,  
Ing. Agr. Dr. Román Augusto Serrago<sup>3,4</sup>,  
Ing. Agr. Dr. Daniel Julio Miralles<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental Agropecuaria Pergamino -  
INTA Argentina

<sup>2</sup>Programa de Investigación en Cultivos de Secano -  
INIA Uruguay

<sup>3</sup>Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires  
(Argentina)

<sup>4</sup>CONICET, Argentina

<sup>5</sup>Estación Experimental Agropecuaria Manfredi - INTA Argentina

<sup>6</sup>Estación Experimental Agropecuaria Rafaela - INTA Argentina

<sup>7</sup>Estación Experimental Agropecuaria Salta - INTA Argentina

<sup>8</sup>IPTA Capitán Miranda, Paraguay

El modelo CRONOSOJA UY permite predecir las fechas de los diferentes estadios fenológicos del cultivo de soja e incorpora predicción del riesgo de helada y agua disponible en los diferentes estadios. Esto otorga importantes beneficios para la toma de decisiones de manejo, la optimización del rendimiento del cultivo y la calidad del grano.

El modelo CRONOSOJA UY aporta a la línea de trabajo desarrollada en 2015 por INIA para la estimación de ocurrencia de "Estadios Fenológicos" para Maíz, Sorgo, Girasol y Soja, disponible en el portal INIA <http://www.inia.uy/gras/Alertas-y-herramientas/Utilidades>. En 2021 fue liberado para uso gratuito el modelo

CRONOSOJA UY, disponible en <http://cronosoja.agro.uba.ar>. CRONOSOJA UY es una herramienta en línea que permite predecir las fechas de los diferentes estadios fenológicos del cultivo de soja, sumando como diferencial el trabajar con datos climáticos y predicciones a nivel local de secciones policiales de Uruguay,

predicción climática (riesgo de helada) y agua disponible en los diferentes estadios fenológicos y la inclusión de predicciones específicas para 34 cultivares (entre ellos varios cultivares Génesis desarrollados por INIA) así como la generación de predicciones “genéricas” por grupo de madurez (desde GMII a GMVII).

Predecir las fechas de los diferentes estadios fenológicos es importante para la toma de decisiones de manejo en el cultivo. El modelo permite seleccionar las fechas de siembra óptimas para la combinación de genotipo y localidad para que el período crítico se sitúe en condiciones ambientales más favorables, optimizando el rendimiento del cultivo y la calidad del grano.

### ¿CÓMO SE ESTIMAN LAS FECHAS DE LOS ESTADIOS FENOLÓGICOS?

El modelo CRONOSOJA fue calibrado para 34 cultivares con un total de 41 conjuntos de datos de ensayos fenológicos llevados a cabo entre 2016 y 2019 en ocho localidades de Argentina, Uruguay y Paraguay. Las localidades cubren el rango de latitud 27.2 - 35.6 (°S) y de longitud 55.8 - 65.5 (°W).

El modelo fue ajustado para los cultivares y también para cada GM, mediante métodos estadísticos bayesianos. El modelo se basa en un conjunto de ecuaciones matemáticas que incorporan: (i) el fotoperíodo (definido por el largo del día, la sensibilidad al fotoperíodo del genotipo, y el largo de fotoperíodo óptimo) y (ii) las temperaturas cardinales que definen la tasa de desarrollo (temperaturas base, óptima y crítica) para estimar las fechas de los estadios fenológicos (Severini *et al.* 2019).

Los estadios fenológicos que estima el modelo a partir de la elección de una fecha de siembra son los siguientes: emergencia (EM), floración (R1), fructificación (R3), inicio de llenado de grano (R5), máximo tamaño de grano (R6), madurez fisiológica (R7) y 95% de vainas marrones (R8), según la escala más utilizada (Fehr &

En soja, una buena combinación de cultivar y fecha de siembra expone al cultivo a condiciones ambientales que maximizan el rendimiento en una cierta localidad.

Caviness 1977). La salida del modelo resalta también las fechas de inicio y fin del período crítico.

El modelo fue validado con datos fenológicos de 112 genotipos provenientes de 38 ensayos del Programa de Mejoramiento de Soja de INIA colectados durante las zafas 2012-2020 en condiciones de secano y bajo riego en las localidades La Estanzuela y Young (Figura 1).

Los datos de la Figura 1 corresponden a seis de los 34 genotipos calibrados y representan los valores (en días desde la siembra) predichos por el modelo versus los valores observados de los estadios R1, R5, R7 y R8 en las diferentes fechas de siembra y localidades entre los años 2012-2020. La línea punteada representa el ajuste perfecto. En promedio, el error de la predicción expresado como porcentaje de la duración del estadio fue 3% (R1), 2% (R5), 1% (R7) y 3% (R8).

### ¿CÓMO SE ESTIMA EL CONTENIDO DE AGUA ÚTIL EN EL SUELO?

El modelo incluye una estimación del contenido de agua útil, basado en el modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA, Fernández Long *et al.*, 2012; Fernández Long., 2017). Este modelo, desarrollado en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), es utilizado

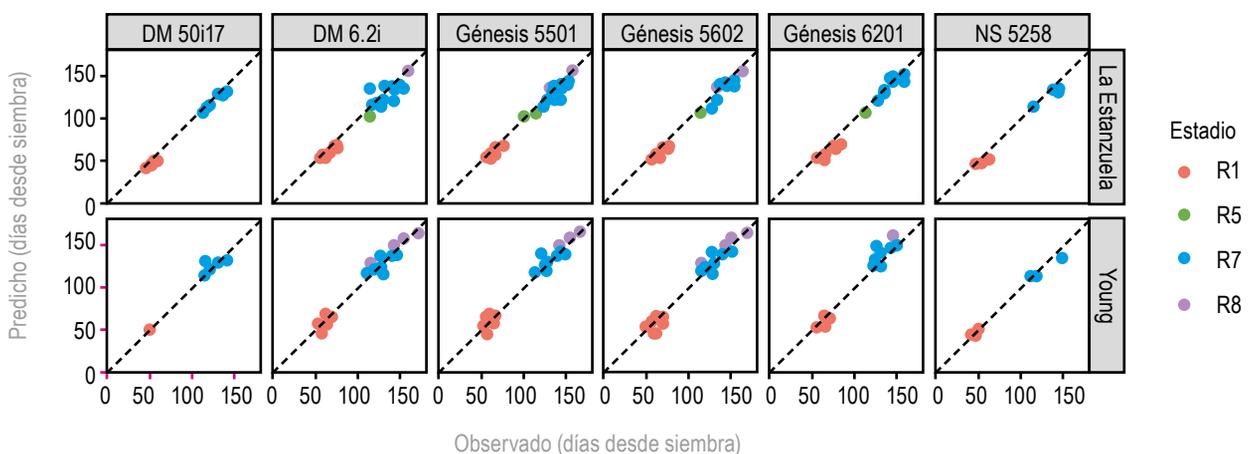


Figura 1 - Validación del modelo CRONOSOJA UY.

para el monitoreo de humedad del suelo por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina:

Acceda **AQUÍ**

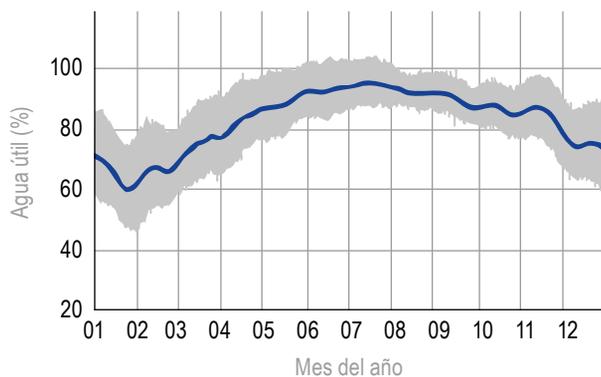
El modelo BHOA establece un balance entre la demanda atmosférica de agua (la evapotranspiración potencial, EP), la oferta de agua (la precipitación, PP) y el agua almacenada en el suelo. Los datos diarios históricos para calcular EP y PP se obtuvieron de la base de datos satelitales del proyecto POWER NASA (NASA-POWER Project: National Aeronautics and Space Administration-Prediction of Worldwide Energy Resources) para el período 1985-2019. El modelo BHOA determina una función de extracción de agua del suelo que depende de su textura y de los coeficientes hidrológicos para el tipo de suelo. Para mayores detalles:

Acceda **AQUÍ**

El agua útil promedio se calculó considerando la profundidad de suelo de 100 cm. En CRONOSOJA UY los valores para cada sección policial son expresados como porcentaje de agua útil y su desvío estándar (Figura 2).

### ¿CÓMO SE ESTIMA LA PROBABILIDAD DE HELADAS?

Para estimar el riesgo de bajas temperaturas a la siembra, se incluyó la probabilidad de ocurrencia de heladas, calculada sobre la base de datos históricos de temperatura mínima del proyecto POWER NASA. Para CRONOSOJA UY el fenómeno de helada como riesgo agrícola se definió como temperatura del aire (medida en abrigo meteorológico a 1,5 m sobre el suelo) por debajo de 3°C. Para la emergencia se consideró un período de 15 días centrado en la fecha estimada, y para el resto de las fases se calculó la probabilidad sobre un período de 45 días centrado en la fecha estimada.



**Figura 2** - Agua útil en el suelo (%) para una localidad en el departamento de Soriano. La línea indica el valor diario promedio mientras que en gris está el desvío estándar para el período 1985-2019.

### ¿CÓMO ACCEDER A LA HERRAMIENTA CRONOSOJA UY?

CRONOSOJA UY presenta una interfaz amigable, intuitiva y simple de usar. Se accede al modelo bajo el dominio "http://cronosoja.agro.uba.ar/" y es de uso gratuito. La primera vez que un usuario accede, debe registrarse con una cuenta de e-mail. Cuando recibe el e-mail de confirmación, puede comenzar a utilizar la herramienta.

Acceda **AQUÍ**

### ¿CÓMO USAR LA HERRAMIENTA CRONOSOJA UY?

La pantalla de entrada es la que muestra la Figura 3.

## Modelo Cronos

Los modelos de la serie CRONOS son softwares sencillos basados en modelos termo-fotoperiódicos que permiten predecir la ocurrencia de distintos eventos fenológicos en los cultivos para una amplia variedad de cultivares disponibles comercialmente en los países de la región del Cono Sur.

**Cronosoja® AR**  
Sistema de estimación de fenología en Argentina

Ingresar

**Cronosoja® PY**  
Sistema de estimación de fenología en Paraguay

Ingresar

**Cronosoja® BR**  
Sistema de estimación de fenología en Brasil

Ingresar

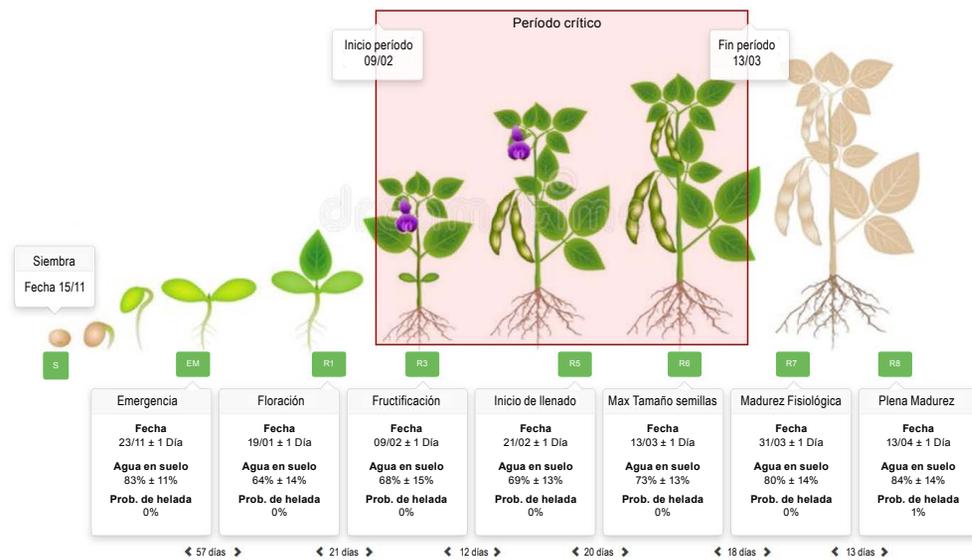
**Cronosoja® CL**  
Sistema de estimación de fenología en Chile

Ingresar

**Cronosoja® UY**  
Sistema de estimación de fenología en Uruguay

Ingresar

**Figura 3** - La entrada al modelo CRONOSOJA, con los diferentes módulos para países de la región.



Fuente: <https://es.dreamstime.com> (libre de derechos)

**Figura 4** - Pantalla de salida del modelo CRONOSOJA UY mostrando la fecha estimada de los estadios fenológicos, el contenido de agua útil en el suelo y la probabilidad de heladas. El recuadro rojo marca el inicio y fin del período crítico.

Una vez que el usuario selecciona el modelo de CRONOSOJA UY, debe seleccionar en el menú desplegable un departamento y sección policial (el modelo incluye 19 departamentos y 263 secciones policiales), un cultivar (contiene 34 cultivares comerciales de soja) y una fecha de siembra. Si no está incluido el cultivar de interés del usuario, se recomienda elegir por su grupo de madurez (e.j. para un cultivar de GM V que no está en la lista desplegable debe seleccionarse como cultivar: Genérico GM V). La salida del modelo incluye las fechas estimadas de ocurrencia de los estadios fenológicos, así como el riesgo de ocurrencia de heladas y el contenido de agua útil en el suelo para cada estadio fenológico (Figura 4).

Para cada estadio fenológico el modelo permite desplegar (pulsando sobre el botón con el nombre del estadio fenológico en verde), una ventana nueva donde se pueden ver imágenes del estadio seleccionado y además una breve explicación de los procesos que están ocurriendo en esa fase. Para conocer más sobre el desarrollo del modelo y desplegar un mapa con todas las secciones policiales disponibles en el modelo, se sugiere consultar el ícono "AYUDA".

## EL DESARROLLO DEL MODELO CRONOSOJA

El modelo CRONOSOJA, originalmente desarrollado para Argentina, fue ampliado con módulos para los países de

CRONOSOJA UY incluye también una predicción del riesgo de heladas y el contenido de agua útil en el suelo.

El modelo CRONOSOJA UY ayuda a predecir las etapas fenológicas del cultivo para situar el período crítico en la época con condiciones ambientales más favorables.

la región por un grupo interdisciplinario de profesionales compuesto por investigadores de la FAUBA Argentina, INTA Argentina, INIA Uruguay e IPTA Paraguay, a través del proyecto "Bases fisiológicas y genéticas de las respuestas de trigo y soja a limitantes bióticas y abióticas: estudios orientados al mejoramiento genético y al manejo de los cultivos en el Cono Sur" financiado por PROCISUR.

## BIBLIOGRAFÍA

Fehr, W.R., Caviness, C.E. 1977. Stages of soybean development (No. 87).

Fernández Long, M. E., L. Spescha, I. Barnatán y G. M. Murphy. 2012. Modelo de balance hidrológico operativo para el agro (BHOA). Revista Agronomía & Ambiente 32(1-2):31-47.

Fernández Long, M. E. 2017. Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA). En: "JASMIN", Joint Assessment of Soil Moisture Indicators (JASMIN) for southeastern South America (Valoración conjunta de indicadores de humedad del suelo para la región sudeste de Sudamérica). Editorial Facultad de Agronomía. Pág: 35-39.

NASA-POWER Project Data Sets [WWW Document]. 2018. NASA. URL <https://power.larc.nasa.gov/>.

Severini A.D., Prado S.A., Otegui M.E., Vega C.R.C., Zuil S., Kavanová M., Ceretta S., Acreche M., Scholz Drodowski R.F., Serrago R.A., Miralles D.J. 2019. Predicting soybean development with a simple photothermal dynamic algorithm. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15521/1/204-trabajo-29-07-2019-17-08.pdf> En: 7º Congreso de Soja del MERCOSUR, MERCOSOJA, Asociación de la Cadena de la Soja Argentina, Rosario, 4 al 5 de septiembre 2019.