

# **IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO CROPSYST PARA LA SIMULACION DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ EN UNA REGIÓN DE ARGENTINA**

## **IMPLEMENTATION OF CROPSYST MODEL FOR MAIZE YIELD SIMULATIONS IN A REGION OF ARGENTINE**

Ing. Agr. Sergio Milera<sup>1</sup>  
Ing. Agr. Dra. Chiara Crotti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área Modelos de Simulación. CIOMTA (Centro de Investigación, Observación y Monitoreo Territorial y Ambiental). Echagüe 7151 Piso 2 (S3004JBS). TEL/Fax: 0342-4601433. Santa Fe, Argentina. [ciomta@ucsf.edu.ar](mailto:ciomta@ucsf.edu.ar).

<sup>2</sup> Directora Proyecto "Cambios Climáticos y Sumideros de Carbono" en el CIOMTA (Centro de Investigación, Observación y Monitoreo Territorial y Ambiental).

### **RESUMEN**

Los modelos de simulación de cultivos son útiles para optimizar prácticas de manejo agronómico, aunque muchos de ellos simulan la interacción ambiente-cultivo sobre un área mínima homogénea. Para trabajar sobre zonas más extensas del terreno, pueden utilizarse Sistemas de Información Geográfica para evaluar la variabilidad espacial de los rendimientos. Este trabajo muestra la obtención de mapas en formato raster de rendimiento de maíz con el modelo CropSyst, en dos departamentos de la provincia de Entre Ríos, utilizando funcionalidades del Sistema Integrado del CIOMTA y una barra de herramientas diseñada para el trabajo con este modelo en el programa ArcGis.

### **ABSTRACT**

Crop simulation models are useful to optimize practical of agronomic management, although many of them simulate the interaction crop-environment on a homogenous minimum area. In order to work on more extensive regions, GIS can be used to evaluate the spatial yield variability. This work shows the obtaining of maize yield raster maps with the CropSyst model, in two departments of the province of Entre Ríos (Argentina), using functionalities of the Integrated System of the CIOMTA and a ArcGis toolbar designed for working with CropSyst in ArcGis.

### **INTRODUCCIÓN**

En las tres últimas décadas, la superficie sembrada con maíz en Argentina se redujo en un 40%, pero la productividad aumentó en un 170%, y los rendimientos medios están consolidándose a lo largo de la región maicera del país por encima de las 6 t/ha (Manny, 2004). La Provincia de Entre Ríos representa una región agrícola donde el maíz está ampliamente difundido luego de la soja y el trigo; se adapta bien a diferentes condiciones de suelo y se avanza constantemente en la mejora de su rendimiento potencial. Los departamentos Paraná y Nogoyá ocupan aproximadamente el 25% de la superficie agrícola provincial, y entre los dos aportan específicamente el 22% de la producción entrerriana de maíz que, según estimaciones de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (2005) alcanzó las 224.239 t en la última campaña, creciendo un 8,12% en superficie respecto a la campaña 2003/04.

Los sistemas agrícolas son altamente complejos y es difícil predecir su comportamiento; sin embargo, la simulación dinámica de ellos es posible gracias a modelos de simulación tales como EPIC, PERFECT, SWRRB, DSSAT v.3 y CropSyst, aunque este último ha sido probado en un número limitado de condiciones (Donatelli et al, 1992). Las investigaciones recientes han demostrado que los modelos de simulación son útiles para elucidar las interacciones que determinan el rendimiento, dado que pueden reproducir el crecimiento diario de las plantas en función del clima, la disponibilidad de agua y nutrientes, el manejo y la variedad utilizada. Una vez calibrados, los modelos

pueden alimentarse con series meteorológicas históricas para evaluar la respuesta del cultivo en su ambiente a determinada práctica y condición inicial, y su impacto económico (Mavromatis et al., 2001).

Los modelos de crecimiento de cultivos proceso-orientados simulan el crecimiento de plantas sobre áreas homogéneas; en ellos el balance de agua y nitrógeno se computa diariamente, considerando las propiedades físicas del suelo y del contenido inicial de agua y nitrógeno mineral (Dardanelli, 2002). En estos modelos, las condiciones del ambiente son tomadas como uniformes para cada caso de simulación; el modelo CropSyst, por ejemplo, considera el desarrollo de un cultivo sobre un área homogénea de 1m<sup>2</sup> (Stockle, 1996). El advenimiento de la agricultura de precisión hizo necesario adaptar estos modelos para que puedan representar la variabilidad espacial en función del manejo u otras variables, ya que en un punto cualquiera de la parcela, el rendimiento es el resultado de un conjunto de factores tales como la población de plantas a cosecha y su genética, el clima, el manejo y los niveles de estrés que las plantas experimentan durante su ciclo (Batchelor et al, op cit).

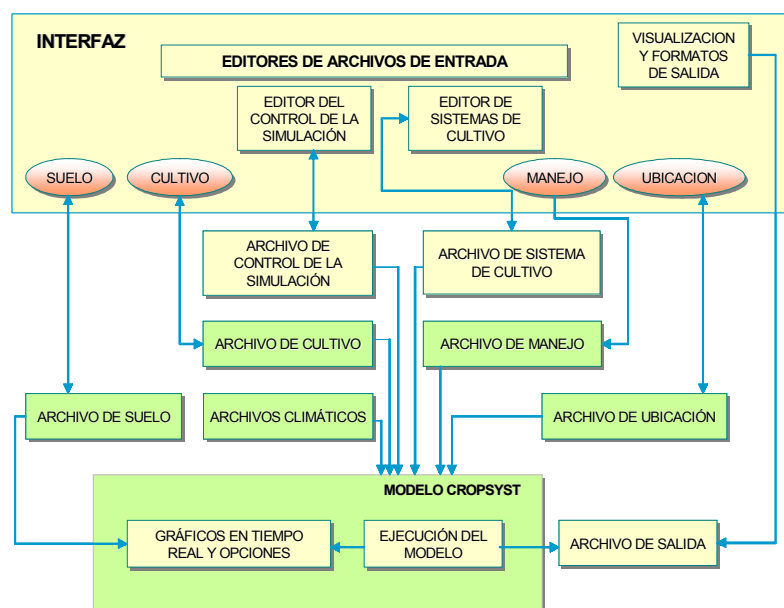
Una forma de obtener resultados a nivel de parcela o lote es correr los modelos para pequeñas áreas homogéneas denominadas *celdas* cuyo conjunto constituye una grilla. En el Centro de Investigación, Observación y Monitoreo Territorial y Ambiental (CIOMTA) se utilizó el modelo CropSyst (Stockle y Nelson, 1998) para evaluar su habilidad de simulación de rendimiento de cultivos en diferentes campañas, trabajando sobre conjuntos de datos meteorológicos, edáficos, agronómicos y del cultivo espacializados por medio de la utilización de un Sistema Integrado que relaciona bases de datos, componentes SIG, programas de control de datos meteorológicos y modelos de simulación a fin de lograr una administración centralizada. La implementación de este Sistema Integrado tiene como finalidad manejar en forma automática y eficiente la información georreferenciada de tipo ambiental, y facilitar la corrida automática de modelos de simulación sobre distintas zonas del territorio en estudio.

Si bien las estadísticas de rendimientos medios provinciales pueden encontrarse en la bibliografía, los datos experimentales referidos a ensayos con CropSyst son escasos en el material bibliográfico existente, y con excepción de los trabajos de Andrade y Col. (2005) no se han encontrado referencias a nivel nacional sobre la utilización de este modelo en condiciones de óptima disponibilidad de agua y nutrientes. En este trabajo se evalúa la habilidad de CropSyst para reproducir el desarrollo del cultivo de maíz en simulaciones sobre series meteorológicas históricas para los departamentos Paraná y Nogoyá de la Provincia de Entre Ríos y la obtención de mapas de rendimiento para este cultivo mediante el acoplamiento del modelo al Sistema Integrado del CIOMTA.

## MATERIALES

### El modelo de simulación

CropSyst permite simular diferentes cultivos extensivos durante varios años, con un intervalo de ejecución diario; simula el balance y absorción de nitrógeno y agua en el suelo, la fenología, la interceptación de radiación por la cubierta vegetal, el crecimiento y desarrollo del área foliar, la producción de biomasa y el rendimiento final, así como la producción y descomposición de residuos de cultivo y la erosión del suelo. Incluye una variedad de opciones agronómicas de manejo, tales como riego, fertilización, manejo de residuos, elección varietal y rotación (Figura 1).



## El Sistema Integrado del CIOMTA (SIC)

El SIC es una estructura dinámica que permite integrar y relacionar diferentes entidades y programas existentes para lograr una administración centralizada de los datos (Milera et al, inédito). El componente fundamental del SIC es una Base de Datos ORACLE organizada en una estructura compuesta por entidades denominadas celdas, de forma rectangular, que permiten la vinculación de información alfanumérica al territorio (Romani, 2004). El usuario puede seleccionar entre dos alternativas de resolución espacial, de 5 km o 1 km de lado. Para la selección de zonas el SIC trabaja con el programa ArcGis 8.3 (ESRI, 1998) con una barra de herramientas diseñada para el trabajo con modelos de simulación. Cuando se definen las coordenadas de una zona de simulación, el Sistema Integrado extrae información de las celdas componentes de la zona seleccionada y construye los archivos de entrada para el modelo, éste ejecuta la simulación para cada celda y los resultados obtenidos se almacenan en las tablas de salida desde donde pueden recuperarse para la generación de los mapas de rendimiento.

## METODOLOGÍA

**Datos experimentales.** CropSyst fue evaluado en su habilidad para simular el rendimiento del cultivo de maíz en diferentes campañas desde el año 1971 hasta el 2003, utilizando datos experimentales para realizar la confrontación con los datos de salida del modelo.

Se simularon condiciones de libre disponibilidad de agua y nutrientes, y condiciones de secano con normal disponibilidad de nutrientes. Para las condiciones de adecuada disponibilidad hídrica y nutricional para el cultivo, las comparaciones y ajustes se realizaron sobre datos experimentales obtenidos de ensayos realizados por la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Paraná (INTA, 1997; 1998a, 1998b, 2002, 2003b y 2004) en la última década. Para las condiciones de normal disponibilidad de agua y nutrientes, los resultados de las simulaciones se compararon con datos de rendimiento de otra bibliografía (SAGPyA, 2005; Rodríguez et al., 2004; Bolsa de Cereales de Entre Ríos, op cit).

A lo largo del período de simulaciones considerado, el rendimiento del cultivo ha experimentado un incremento para la provincia mayor al 400%, según las estimaciones de la SAGPyA (2005, op cit). Gran parte del aumento en productividad se debe a las mejores condiciones de manejo y a la mejora genética alcanzada a través de la incorporación de nuevos caracteres genéticos, que redundan en un mejor aprovechamiento de la radiación y el agua disponible para el cultivo. Estos factores se ven expresados en una mayor biomasa total y un mejor índice de cosecha. En la última década las variaciones en el manejo y los coeficientes genéticos de las variedades no son tan marcados y pueden considerarse medianamente estables.

**Suelos.** Para la caracterización de los suelos se utilizó la información de las Cartas de Suelos de la República Argentina, Departamentos Paraná (INTA, 1998) y Nogoyá (INTA, 2001). Los órdenes de suelos más abundantes en esta región corresponden a molisoles, vertisoles y alfisoles. Los datos de las Cartas de Suelos disponibles para los perfiles edáficos se incorporaron al Sistema Integrado como bases de datos, y se digitalizaron las cartas de suelos con ArcView GIS 3.2 (ESRI, 1992).

**Datos climáticos.** La región de estudio posee un clima templado húmedo de llanura, con una media diaria anual de 18,5°C. La fecha media de primera y última helada es el 1 de julio y el 5 de agosto respectivamente, dando lugar a un período medio con heladas de 35 días al año. Esto determina condiciones favorables para los cultivos de cereales y oleaginosas. Las máximas precipitaciones ocurren de octubre a abril y se caracterizan por su alta intensidad, particularmente en el semestre cálido (INTA, 2003). Se dispuso de series meteorológicas históricas de 33 años de extensión, para el área de estudio, provenientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), incluidas en el SIC. Las estaciones meteorológicas de influencia en la zona seleccionada son Paraná Aero y Gualaguaychú Aero (SMN) y Paraná (INTA) validadas y rellenadas en el CIOMTA.

### Parametrización del modelo

Para parametrizar y validar el modelo, se ajustaron los parámetros correspondientes al cultivo que representaban los coeficientes genéticos y demás parámetros fenológicos de un híbrido simple

de ciclo completo de la zona maicera de Entre Ríos. Los parámetros correspondientes al cultivo se alojan en el archivo de entrada .CRP, mientras que los parámetros relacionados con el suelo se incluyen dentro del archivo \*.SIL. Cada celda selecciona el tipo de suelo predominante en el área comprendida desde los datos de las cartas de suelos, y las propiedades hidráulicas son automáticamente calculadas por el modelo.

Los parámetros meteorológicos y de localización se alojan en el archivo \*.LOC. Aquí se debe incluir la latitud de la región de interés; el sistema también carga automáticamente la ubicación de cada celda y sus correspondientes datos meteorológicos. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizó el modelo de Priestley-Taylor. En el archivo de manejo \*.MGT se confeccionan diferentes esquemas de labranza, nutrición del cultivo, irrigación, aporte de fertilizantes, abonos o enmiendas, conforme a los que se desarrolla en cada zona. En este caso, y por tratarse una tendencia habitual reflejada en la región se trabajó con el sistema de siembra directa.

La calibración es necesaria ya que permite a los usuarios describir el sistema bajo estudio (ejemplo: el ciclo del cultivo, la profundidad del perfil de suelo, etc.); por otra parte, no existe un modelo universal que trabaje con un juego inalterable de parámetros para todas las condiciones (Donatelli y Stockle, op cit). El ajuste de los parámetros necesarios para CropSyst se puede obtener a partir de: a) medidas directas en campo, b) cálculo indirecto a partir de dichas medidas, c) valores citados en el manual de CropSyst u otros estudios similares, o d) ajustando el valor de los parámetros como resultado de correr el programa hasta que el resultado de la simulación coincida con los valores observados en campo (calibración), a criterio del investigador. Si bien corrientemente se considera la primera opción como la más adecuada (Adiscott et al. 1995, citado por Ferrer, 2000), en este trabajo se utilizaron también las opciones c) y d). Se designó el 15 de septiembre utilizó una fecha de siembra temprana para la región (15 de septiembre).

Las calibraciones definitivas se realizaron en los departamentos de Paraná y Nogoyá, si bien previamente se habían ya realizado pruebas de simulación sobre diferentes zonas piloto, dentro y fuera del área de estudio considerada en este trabajo. Dentro del área de estudio, se realizaron también simulaciones puntuales considerando un sitio con suelo Argiudol Ácuico, de la Serie Tezanos Pinto, ubicado en Colonia Ensayo, Departamento Paraná (Entre Ríos). Este suelo es franco arcilloso, de buena aptitud agrícola, caracterizado dentro del Grupo Hidrológico "C" y Condición Hidrológica Buena, según su comportamiento ante la infiltración y el escurrimiento (USDA, 2002).

Fuera del área de estudio, experiencias anteriores de simulación con el modelo fueron ejecutadas considerando zonas agrícolas de las provincias de Corrientes (zona Bella Vista) y Córdoba (zona Marcos Juárez). Estas pruebas de simulación fueron fundamentales para comprender el funcionamiento del modelo, realizar su calibración y parametrización y descubrir su sensibilidad frente a la variabilidad en los datos de entrada.

Las simulaciones de libre disponibilidad de agua y nutrientes se realizaron tomando como fecha de siembra el 15 de septiembre. Para las corridas de simulación en condiciones normales de producción, se realizaron otras simulaciones con el modelo en tres fechas de siembra: temprana (15 de julio), óptima (15 de septiembre) y tardía (15 de noviembre) para las campañas 1993/1994 a 1998/1999. Según datos de la Red de Observaciones Fenológicas de la Argentina, publicadas por Pascale y Damarío (2004) la fecha óptima de siembra para la zona Paraná y Nogoyá estaría comprendida entre el 2 de Septiembre y el 1 de Octubre.

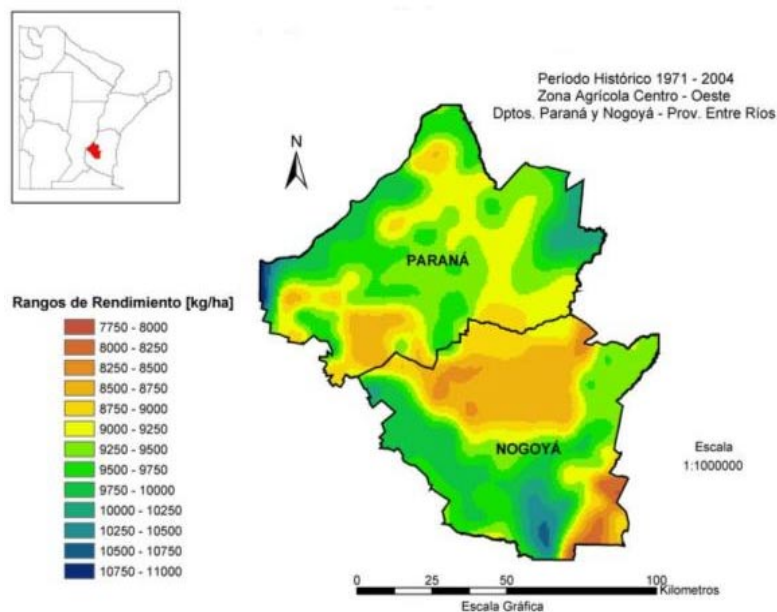
Para evaluar la capacidad de predicción del modelo se confrontaron los resultados de los ensayos experimentales de las campañas con los obtenidos de las corridas de simulación. No se incluyeron en las simulaciones de fechas de siembra los módulos de simulación de nitrógeno, considerando un mismo aporte

Parámetro	Valor
Coefficiente de conversión de la transpiración a biomasa aérea (kPa kg m <sup>-3</sup> )	8,25
Coefficiente de conversión PAR a biomasa (g/MJ)	3
Fracción del IAF máximo a madurez fisiológica	0,8
Área foliar específica (m <sup>2</sup> )	18
Duración foliar (grados día)	850
Coefficiente de extinción de la radiación solar	0,45
Sensibilidad de la duración foliar al estrés hídrico	2
Coefficiente de evapotranspiración del cultivo a <u>canopeo</u> completo	1
Grados día a emergencia	61
Grados día a floración	972
Grados día a llenado de granos	1250
Grados día a madurez fisiológica	1650
Temperatura máxima para el desarrollo (°C)	25
Sensibilidad del índice de cosecha al estrés hídrico durante floración	0,30

definido por el modelo en forma automática para todos los tratamientos. Tampoco se tuvo en cuenta la respuesta del cultivo a las condiciones de salinidad, a la variación atmosférica del CO<sup>2</sup>, a la vernalización ni al fotoperíodo, ni el transporte edáfico de pesticidas. El transporte de agua y solutos a través de las capas de suelo se simuló con el Modelo Cascada. Se utilizó un mismo juego de parámetros para estas simulaciones, teniendo en cuenta los especificados por el manual y otros que se calibraron en función de la bibliografía local (**Cuadro 1**). Se utilizó las funcionalidades del SIC para la generación de los mapas de salida.

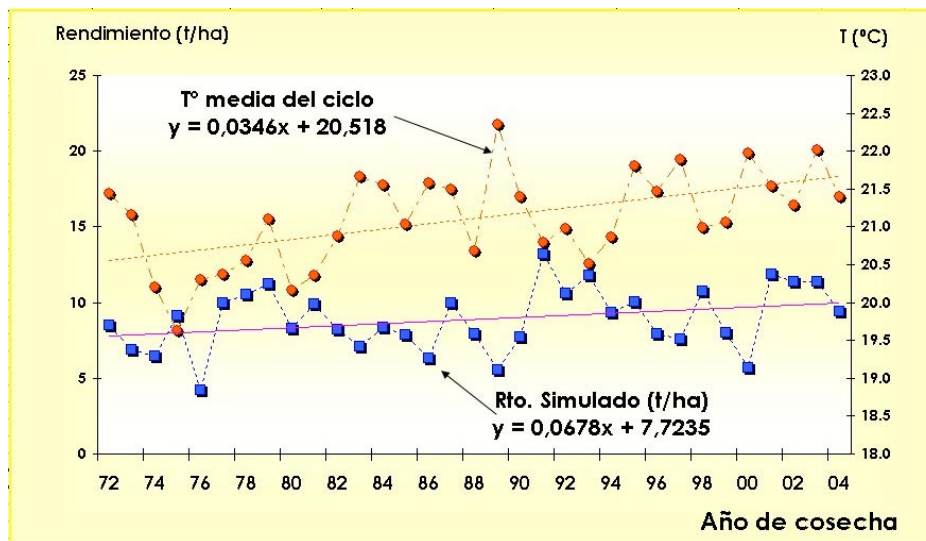
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo el mapa de rendimientos medios simulados de maíz en condiciones de libre disponibilidad de agua y nutrientes, para los departamentos Paraná y Nogoyá (**Figura 2**) a lo largo de la serie meteorológica completa.



Se extrajeron también los valores de rendimientos simulados para una celda de 5km x 5km, situada en Colonia Ensayo, Departamento Paraná, para análisis puntuales de la confiabilidad del modelo. Los resultados de las simulaciones de CropSyst para esta celda en las campañas 1971/1972 a 2003/2004 se muestran en la **Figura 3**. La corrida de simulación muestra que los rendimientos son variables entre años, pero presentan una tendencia levemente creciente conforme nos acercamos a los años más actuales (una línea de tendencia teórica nos indica un incremento en el rinde de aproximadamente 68 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

El uso de gráficos y el cálculo de medidas descriptivas de la diferencia entre los valores observados y simulados son herramientas suficientemente útiles a la hora de decidirse por un modelo u otro, evaluar cambios realizados en el modelo o su posible aplicación para fines de manejo. Con los datos de rendimientos observados de las campañas 1993/1994 a 2003/2004 se realizó un gráfico 1:1, que permite visualizar la correspondencia entre los valores simulados y observados (**Figura 4**). El modelo predijo razonablemente bien las fechas de ocurrencia de los estadios fenológicos, principalmente evaluadas a través de las fechas de emergencia, floración y madurez relativa. También pudo comprobarse que el modelo refleja adecuadamente el efecto de la variación climática interanual sobre el rendimiento del cultivo.

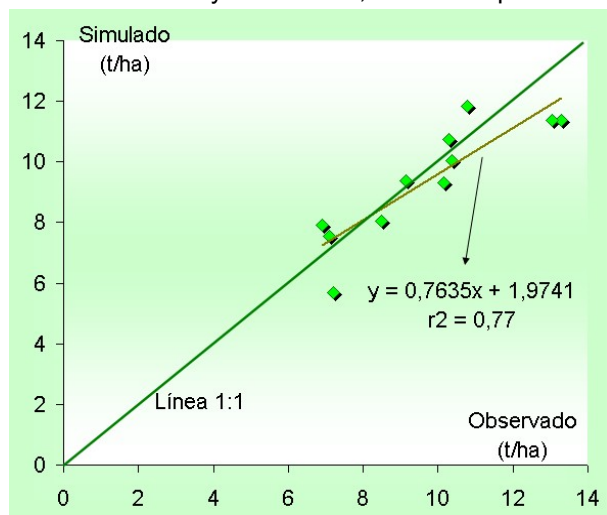


Como puede verse, los resultados presentan un ajuste aceptable ( $r^2 = 0,77$ ) con la pendiente 1:1. Este valor es aceptable si se tiene en cuenta que no pudo chequearse la fiabilidad de los datos experimentales, ni se realizaron ensayos específicos para evaluar la habilidad del modelo. Además, estos valores de correlación son superiores a otros citados en la bibliografía (Ferrer et al, 2000).

Posteriormente se calcularon distintos índices estadísticos que permiten evaluar la habilidad del modelo de simulación (**Cuadro 2**).

Las medidas estadísticas utilizadas se basan en la discrepancia entre los valores simulados y observados. De esta forma, se calcularon la Suma de Cuadrados Residual (SCR), la Suma de Cuadrados del Error Experimental (SCE), la Suma de Cuadrados del Error de Simulación (SCS), la Raíz de la diferencia de Cuadrados Media (RMSE) y el Error Medio Absoluto (EMA). En general, los índices expresan un buen ajuste entre los valores observados y simulados, con excepción de aquellos correspondientes a la campaña 1995/1996. Analizando las discrepancias entre estos valores a través del error medio absoluto para este registro, puede explicarse esta diferencia teniendo en cuenta que para el año 1995 se registraron muy bajas temperaturas mínimas para esta estación -inferiores a la temperatura base del cultivo- en el período comprendido entre el 15 y el 28 de septiembre, las que provocan el retraso de la emergencia de las plántulas del cultivo, y a las cuales el modelo parece no ser tan sensible.

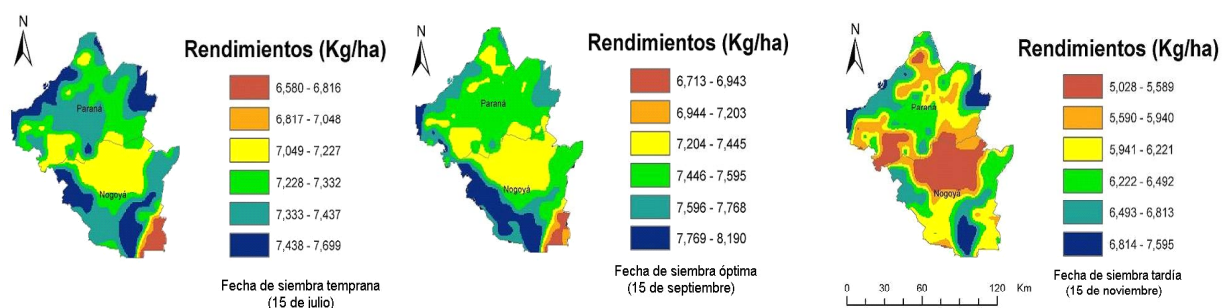
Para las condiciones normales de simulación, los rendimientos medios simulados fueron de 6.210, 5.670 y 4.126 Kg/ha para las fechas de siembra temprana, óptima y tardía respectivamente (**Figura 5**). Si bien no se realizaron comparaciones para cada uno de los tratamientos (por no existir resultados de ensayos en función de las fechas de siembra), aparentemente el modelo describió razonablemente el cultivo y los efectos de las fechas de siembra sobre el desarrollo y rendimiento finales. Merece destacarse también que la fecha de siembra óptima coincide con la duración -observada en la bibliografía- del ciclo de la variedad calibrada, habiendo realizado el modelo un ajuste correcto a las fechas de ocurrencia de los estadios fenológicos.





Año cosecha	Simulado	Observado	Sim (t/ha)	Obs (t/ha)	SCR	SCE	SCS	RMSE	EMA (%)
1994	10880	10150	10,9	10,2	0,533	0,151	1,253	0,730	7,194
1995	10027	10380	10,0	10,4	0,125	0,383	0,071	0,353	3,401
1996	9193	7483	9,2	7,5	2,923	5,189	0,323	1,710	22,849
1997	7559	7100	7,6	7,1	0,211	7,080	4,848	0,459	6,465
1998	11154	10302	11,2	10,3	0,727	0,293	1,942	0,852	8,275
1999	8036	8500	8,0	8,5	0,215	1,590	2,975	0,464	5,459
2000	7401	7212	7,4	7,2	0,036	6,497	5,569	0,189	2,620
2001	11835	10790	11,8	10,8	1,092	1,059	4,302	1,045	9,685
2002	11821	13286	11,8	13,3	2,147	12,426	4,243	1,465	11,029
2003	11371	13038	11,4	13,0	2,779	10,739	2,592	1,667	12,786
2004	9376	9129	9,4	9,1	0,061	0,399	0,148	0,247	2,706
Media	9878	9761	9,88	9,76	0,986	4,164	2,570	0,835	8,406

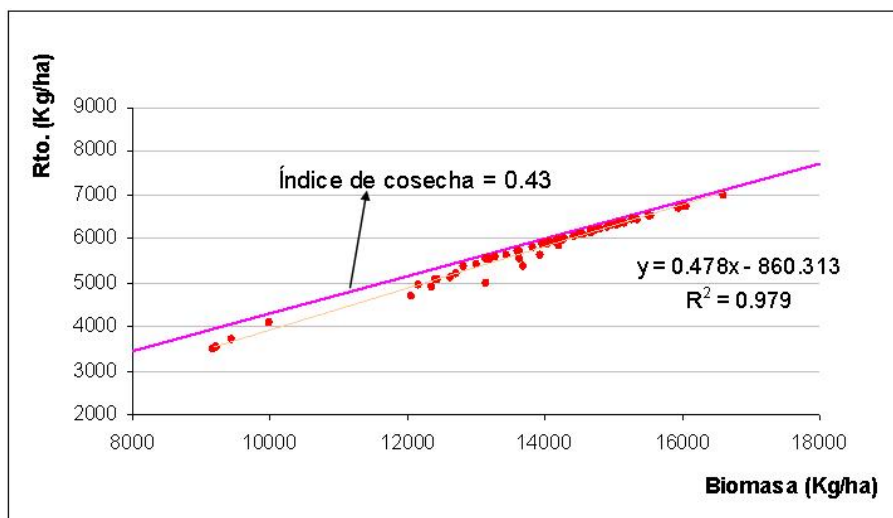
**Cuadro 2.** Rendimientos simulados y observados, campaña 1993/94 a 2003/04, e índices estadísticos.



**Figura 5.** Rendimientos promedio de maíz sembrado en fecha temprana, óptima y tardía para la región considerada.

Adelantar la fecha de siembra al mes de julio permite un mayor período de tiempo para cada etapa, pero a la vez implica aumentar el riesgo de sufrir heladas durante las primeras etapas de crecimiento del cultivo; las bajas temperaturas del suelo, por otra parte, hacen que se demore la emergencia y que las semillas sean más susceptibles a sufrir ataques de hongos e insectos de suelo, lo cual también afecta la adecuada emergencia y establecimiento de la población de plantas. Esto no pareció notarse en el rendimiento medio simulado para la fecha temprana, que fue el mayor de los tres tratamientos. Las razones de este comportamiento anómalo frente a las observaciones corrientes pueden deberse a la dificultad del sistema en permitir calibrar los parámetros “*Cold temperature which begins to damage crop*” y “*Cold temperature which is letal to crop*” que permiten ajustar la sensibilidad del cultivo a las bajas temperaturas, tal y como ocurre en la realidad. Este es un aspecto que deberá mejorarse, de cara a la utilización del modelo en predicciones de rendimiento.

Para evaluar la consistencia del modelo se efectuó un gráfico que relaciona la biomasa aérea total producida y el rendimiento obtenido (**Figura 6**). Es de esperar que las variables climáticas, especialmente la temperatura y precipitación, afecten en forma diferencial al rendimiento según el momento de ocurrencia de la adversidad; el ajuste observado indica una alta correlación entre estas dos variables –biomasa y rendimiento– y una escasa incidencia de las variables de clima y suelo en los rendimientos resultantes.



## CONCLUSIONES

La utilización de Cropsyst como un módulo interno del Sistema Integrado del CIOMTA permite ventajas operativas concretas debido a la posibilidad de aplicación de este modelo en forma automática en zonas definidas sobre una grilla referenciada al territorio, en lugar de realizar simulaciones sobre un único punto. De esta forma puede estudiarse, entre otros resultados que proveen las salidas del modelo, la distribución espacial del rendimiento u otra variable seleccionada gracias a que el sistema construye mapas a partir de los resultados obtenidos desde las simulaciones.

Este trabajo muestra una forma de uso de información climática y agronómica para producir resultados utilizables en la gestión agrícola, como son los mapas departamentales de rendimiento de cultivos. Instancias posteriores deberían contemplar la utilización del Sistema Integrado en el manejo de escenarios meteorológicos futuros, para ofrecer soluciones que sirvan como herramienta para la toma de decisiones. El uso de modelos como el evaluado en este trabajo permitirían ajustar las decisiones de producción a los escenarios esperados, pudiendo aprovechar las circunstancias favorables o reducir los impactos negativos de las condiciones climáticas desfavorables.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addiscott, T., Smith, J. y N. Bradbury, 1995. **Critical evaluation of models and their parameters.** Journal Environmental Quality 24: 803-807. Citado en: Ferrer, F.; Villar, J.M. y C.O. Stockle. 2000. Evaluación del Modelo de Simulación CropSyst para Maíz de Regadío en el Valle del Ebro. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol 15 (3), 2000.
- Batchelor, W.D.; Basso, B. y J.O. Paz. 2002. **Examples of Strategies to Analyze Spatial and Temporal Yield Variability Using Crop Models.** Europ. J. Agronomy 18 (2.002) 141-158.
- Bolsa de Cereales de Entre Ríos. 2005. **Maíz: Estimación del Área Sembrada Campaña 2004/05.** Proyecto SIBER. 5 p.
- Dardanelli, J.L. 2002. **Utilización de Modelos de Simulación para el Manejo Sitio-Específico.** III Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, Argentina.
- Donatelli, M. y C. Stockle. 1999. **The Suite CropSyst to Simulate Cropping Systems.** Short Course at the Middle East Technical University. Dept. of Economics. Ankara, Turkey.
- Donatelli, M.; Stockle, C.; Ceotto, E. y M. Rinaldi. **Evaluation Of Cropsyst For Cropping Systems At Two Locations Of Northern And Southern Italy.** En línea: [http://www.sipeaa.it/mdon/research/cs\\_y\\_paper.htm](http://www.sipeaa.it/mdon/research/cs_y_paper.htm). Consulta: 31 de marzo de 2005.
- ESRI, 1992. **ArcView GIS 3.2.** Environmental Systems Research Institute, Inc. © 1992-1999. All Rights Reserved.



- Ferrer, F.; Villar, J.M. y C.O. Stockle. 2000. **Evaluación del Modelo de Simulación CropSyst para Maíz de Regadío en el Valle del Ebro**. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol 15 (3), 2000.
- INTA. 1997. **Guía Práctica para el Cultivo de Maíz - Campaña 1997**. SAGPyA-INTA-Cambio Rural.
- INTA. 1998 a. **Guía Práctica para el Cultivo de Maíz. Actualización 1998**. Eds SAGPyA-INTA-Cambio Rural.
- INTA. 1998 b. **Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Paraná, Provincia de Entre Ríos**. Plan Mapa de Suelos, Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos. Acuerdo Complementario del Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos, EEA Paraná, Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 17, 114 pp.
- INTA. 2001. **Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Nogoyá, Provincia de Entre Ríos**. Plan Mapa De Suelos, Convenio INTA-Gobierno De Entre Ríos. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 20, (ISSN-0325-9099), 266 p.
- INTA. 2002. **Maíz de Alta Producción - Campaña 2001/02**. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Proyecto de Agricultura Sostenible. [En línea]: <[http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/analisis\\_economico/resultados\\_jornada.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/analisis_economico/resultados_jornada.htm)>. Consulta: 20 de Noviembre de 2004.
- INTA. 2003 a. **Caracterización del área de influencia de la EEA INTA Paraná**. En línea: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/meteorologia/otros\\_documentos/caract\\_clim.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/meteorologia/otros_documentos/caract_clim.htm). Consulta: 8 de marzo de 2.005.
- INTA. 2003 b. **Maíz de Alta Producción, Campaña 2.002/2.003**. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Proyecto de Agricultura Sostenible. [En línea]: <[http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/analisis\\_economico/result\\_maiz.pdf](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/analisis_economico/result_maiz.pdf)>. Consulta: 20 de Noviembre de 2004.
- INTA. 2004. **Resultados Jornada Dinámica Cosecha de Maíz Alta Producción**. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. [En línea]: <[http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/analisis\\_economico/maiz\\_alprod\\_0102.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/analisis_economico/maiz_alprod_0102.htm)> Consulta: 20 de Noviembre de 2004.
- Manny, V. 2004. **El Maíz Juega por el Ascenso**. En línea: <http://www.clarin.com/suplementos/rural/2004/06/26/r-00811.htm>. Consulta: 08 de marzo de 2005.
- Milera, S.; Pautasso, N. y C. Crotti. (Inédito). El Sistema Integrado del CIOMTA. Santa Fe, Argentina. 9 p.
- Mavromatis, T.; Boote, K.J.; Jones, J.W.; Irmak, A.; Shinde, D. y G. Hoogenboom. 2001. **Developing Genetic Coefficients for Crop Simulation Models with Data from Crop Performance Trials**. Crop Sci. 41:40–51.
- Pascale, A.J y E.A. Damario. 2004. **Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología**. Editorial Fac. de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 550 p.
- Rodríguez, M.G.; Engler, P.L. y R.A. Cancio. 2004. **Distribución Geográfica y Evolución de la Superficie Sembrada, Rendimiento y Producción de Maíz, Girasol, Sorgo y Soja en Entre Ríos (Periodo 1984-2004)**. [En línea]: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/analisis\\_economico/04-05](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/analisis_economico/04-05).
- Romani, M. 2004. **Estructuración de Base de Datos y Sistema Integrado**. En: "CIOMTA – Boletín Informativo de Publicación Trimestral". 1 (2) 10-11.
- SAGPyA. 2005. **Estimaciones Agrícolas: Base de Datos**. En línea: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/basedatos.php>. Consulta: 31 de marzo de 2.005.
- Stockle, C. 1996. **CropSyst Model: A Brief Description**. En línea: <http://www.bsyste.wsu.edu/cropsyst/Documentation/articles/description.htm>. Consulta: 14 de octubre de 2004.
- Stockle, C. O. y R. L. Nelson. 1.998. **Cropsyst User's manual (Version 1.0)**. Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA.
- USDA. 2002. **National Soil Survey Handbook**, 430-VI. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. [En línea]: <http://soils.usda.gov/procedures/handbook/main.htm>. Consulta: 23 de abril de 2005.