

# Modelos de simulación: sus posibilidades como herramienta para la planificación agrícola y la toma de decisiones

NOTA TÉCNICA

Sebastián Mazzilli\*, Oswaldo Ernst\*

Los modelos de simulación de crecimiento y rendimiento de cultivos anuales son útiles para integrar el conocimiento disponible. Permiten describir fenómenos, pero también intentan predecirlos en condiciones climáticas, de suelo y de manejo variables. Esa capacidad de predicción es lo que hace que se hayan constituido en herramientas para la evaluación y planificación en diferentes disciplinas, incluyendo las del sector agropecuario (Baethgen y Andregnette, 1994; Boote *et al.*, 1996).

Un ejemplo de utilidad, por haber sido validado para las condiciones locales, es el programa Erosión 5.0, (disponible en [www.fagro.edu.uy/~manejo/](http://www.fagro.edu.uy/~manejo/)), basado en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo o USLE (Wischmeier y Smith, 1960), que se utiliza para estimar pérdidas de suelo. Permite comparar y seleccionar objetivamente estrategias de manejo de suelos y rotación de cultivos en función del riesgo de erosión (García-Préchac 1992).

Existen modelos aplicables a cultivos que, si bien no han sido estrictamente validados para Uruguay, son de amplio uso en el mundo y la región (especialmente Argentina), y existen referencias nacionales de su uso en trigo (Tavella, 1994), cebada (Romero, 1996) y maíz (Sawchik, 1997).

En este trabajo se presentan ejemplos de uso de los modelos Ceres-Wheat (trigo), Ceres-Maize (Maíz) y CropGro (Soja), los cuales se encuentran incluidos dentro de la carcaza DSSAT 3.5 (Decision support system for Agrotechnology transfer), para evaluar hipótesis de trabajo. De contarse con la información requerida para la utilización de estos modelos para las condiciones de Uruguay, podrían ser utilizados como herramientas para el asesoramiento técnico por los Ingenieros Agrónomos.

## HIPÓTESIS 1: ¿Existen pérdidas de rendimiento de los cultivos de invierno en Uruguay asociadas a déficit hídrico?

Existe abundante información sobre las pérdidas ocasionadas como consecuencia del exceso hídrico, ya sea en forma directa o indirectamente a través de su efecto sobre la sanidad de los cultivos. Además de aquellos años caracterizados por deficiencias hídricas, es probable que existan años con deficiencias durante el periodo de encañado y llenado de grano, cuando la demanda del cultivo es alta, especialmente en situaciones de alto rendimiento potencial.

## MÉTODO DE TRABAJO

Para la prueba de la hipótesis se utilizaron dos tipos de suelos, uno correspondiente a la Unidad San Manuel y otro a la Unidad Bequeló. El primero con 60 cm de profundidad y el segundo con 100 cm de profundidad. De esta manera, se estable-

ció un contraste en la capacidad de reserva de agua del suelo.

Se trabajó con un cultivar de trigo de ciclo intermedio (Klein Escorpión), sembrado el 10 de junio, utilizando la rutina sin "limitante de nutrientes". La estimación de rendimiento no contempla posibles pérdidas atribuidas a factores bióticos o abióticos, por lo que se estima el rendimiento potencial en función de la disponibilidad hídrica en el suelo.

Para ambos suelos, se simuló el crecimiento y el rendimiento del cultivo utilizando una base climática de 25 años (1971-1995) para Paysandú (EEMAC). La estimación de rendimiento se realizó considerando dos "tratamientos": 1) la condición de lluvia registrada cada año, y 2) "sin limitaciones hídricas".

El resto de las condiciones de manejo y clima fueron constantes, por lo que la disponibilidad de agua en el suelo explica las diferencias entre estos "tratamientos". El rendimiento "sin limitaciones hídricas" correspondería al potencial para el cultivar y fecha de siembra seleccionada en cada uno de los 25 años.

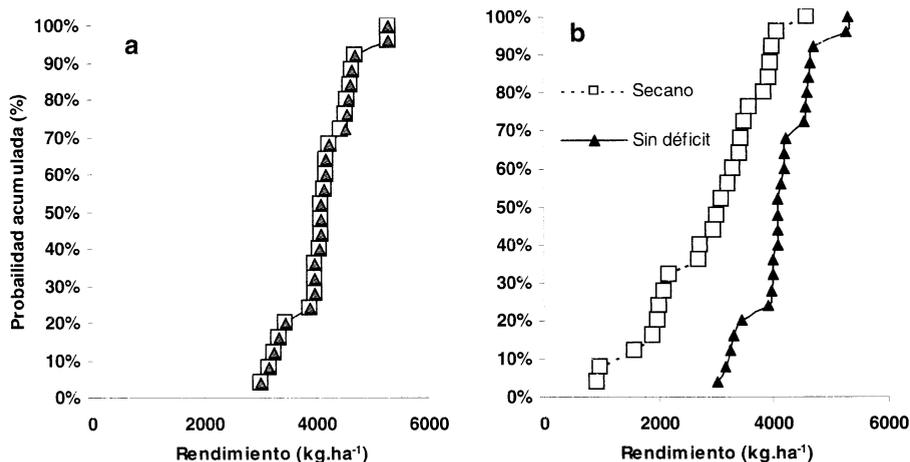


Figura 1. Probabilidad acumulada de rendimientos en trigo (cv Klein Escorpión) para el periodo 1971-1995 en condiciones de lluvia natural y "sin deficiencias hídricas" en dos suelos: a) Unidad Bequeló, b) Unidad San Manuel.

\* Ings. Agrs., Dpto. Producción Vegetal, EEMAC.

## IMPORTANCIA DE LAS PÉRDIDAS

Los resultados muestran que la probabilidad de ocurrencia de deficiencias de agua en trigo depende de la capacidad de almacenar agua del suelo en el que se siembre el cultivo (Figura 1).

Es poco probable que existan pérdidas de rendimiento de trigo por deficiencia hídrica en un suelo profundo como el de la Unidad Bequeló (Figura 1a), mientras que es altamente probable que ocurran en un suelo menos profundo, como los de la Unidad San Manuel. Para este último suelo, todos los años existirían pérdidas de rendimiento como consecuencia de deficiencias hídricas. El rendimiento medio esperado para la serie de años utilizada sería en torno a los 3000 kg.ha<sup>-1</sup>, en comparación con los más de 4000 kg.ha<sup>-1</sup> posibles de ser obtenidos si el cultivo se desarrollara sin limitantes hídricas ni nutricionales. (Figura 1 b).

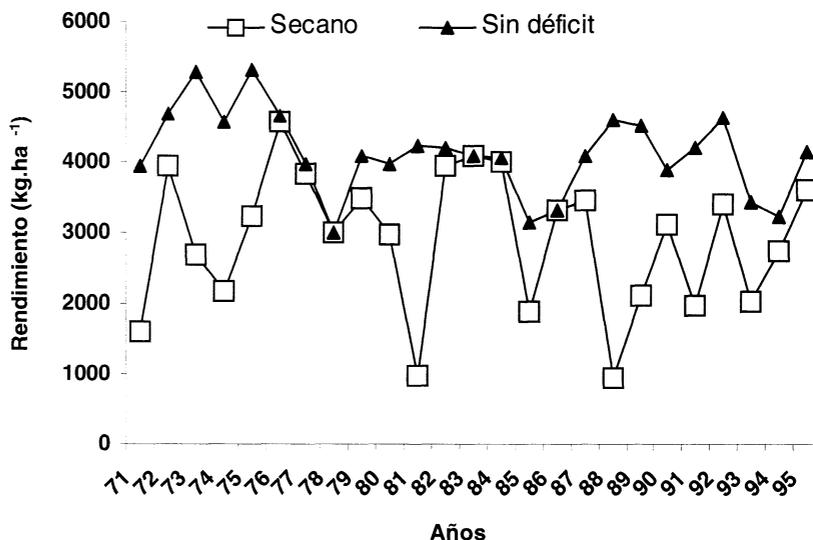


Figura 2. Rendimiento estimado de trigo (kg.ha<sup>-1</sup>) para situaciones con y sin déficit hídrico, considerando la base de clima de la serie 1971-1995.

## PÉRDIDAS SEGÚN EL AÑO

La profundidad del suelo sería la principal variable determinante de la ocurrencia de pérdidas de rendimiento por déficit hídrico. Una vez determinado esto, es importante analizar las diferencias entre años, para el suelo que presenta mayor limitación (San Manuel).

Las pérdidas de rendimiento variaron entre 0 y 3600 kg.ha<sup>-1</sup> (1976 y 1988, respectivamente). Por otra parte, existieron variaciones importantes en el rendimiento potencial de los cultivos entre años, aun considerando la ausencia de déficit hídrico. Esto se asocia a condiciones de radiación y/o temperatura, en las que la ausencia de limitaciones hídricas no levanta la restricción para expresar el potencial productivo del ambiente. Ejemplos de esto serían los años 1983, 1984 y 1985.

Dado que el déficit de agua y la alta temperatura pueden estar asociados, se realizó una simulación de rendimientos de trigo para el año 2003, reconocido como de bajo rendimiento potencial por altas temperatura ocurridas durante el período de llenado de grano. Se comparó el rendimiento con los registros climáticos del año y con la misma base de lluvia y radiación, pero con la temperatura media del período

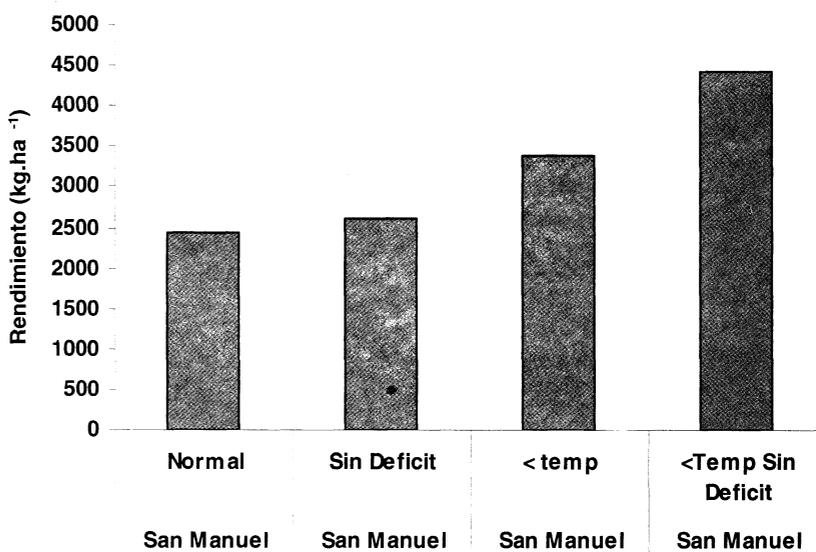


Figura 3. Rendimiento estimado (kg.ha<sup>-1</sup>) para el año 2003 bajo la situación climática del año y con 20% menos de temperatura durante el llenado de grano, con lluvia natural y sin limitación hídrica.

de llenado de grano un 20% menor en cada día.

Para este ejemplo se consideró, además, el régimen de lluvia natural y "sin limitación hídrica" (Figura 3).

Durante ese año las condiciones de alta temperatura ocurridas durante el llenado de grano (21°C) determinaron un menor

rendimiento potencial y la corrección del déficit hídrico asociado sólo logró aumentar el rendimiento en 167 kg.ha<sup>-1</sup>. Al simular una temperatura media 20% menor, el déficit hídrico tuvo un mayor impacto absoluto (1043 kg.ha<sup>-1</sup>) y relativo (7% contra 30% de aumento rendimiento, para alta y baja temperatura, respectivamente).

**HIPÓTESIS 2: El rendimiento de los cultivos de segunda en secano y su variabilidad anual dependen de la profundidad del suelo en el que se siembran**

La sostenibilidad biológica y económica de los sistemas agrícolas en Uruguay mejora con la implementación de doble cultivo anual. Considerando que la principal limitación para los cultivos de verano es el agua, es importante cuantificar la importancia relativa de la reserva de agua en el suelo a la cosecha del cultivo de invierno sobre el rendimiento del cultivo de verano y su variabilidad interanual.

**MÉTODO DE TRABAJO**

Para el trabajo se utilizó la salida de “agua residual en el suelo a la cosecha de trigo” estimada por el modelo para el cultivo de trigo cuyos resultados en rendimiento se presentaron en la sección anterior. El valor se tomó como agua disponible a la siembra del cultivo de segunda.

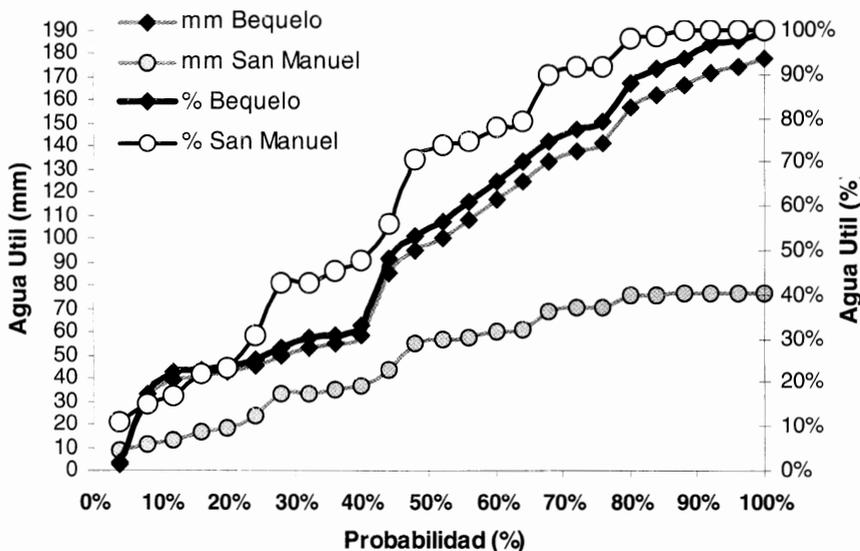
Los cultivos de verano simulados fueron soja (Don Mario 4800) y maíz (DK 615) sembrados a continuación de cultivo de trigo, durante el periodo 1971-1995.

**AGUA DISPONIBLE A LA SIEMBRA**

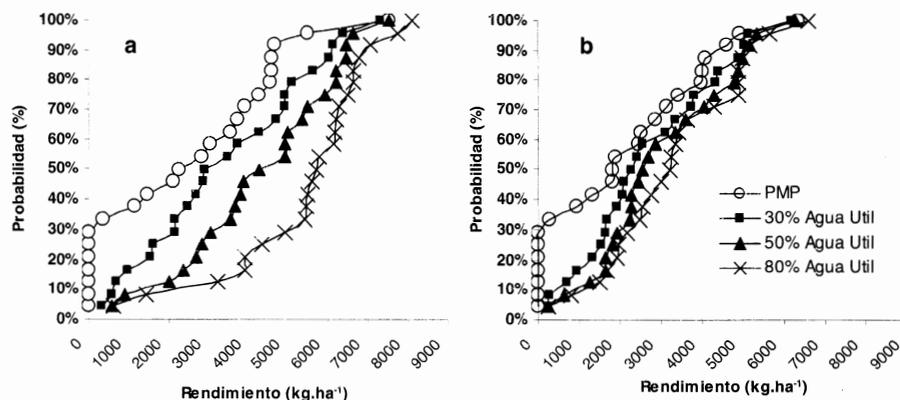
La probabilidad acumulada de agua disponible en el suelo (mm) y agua útil (%) residual a la cosecha de trigo se presentan en la Figura 4.

Tal como es de esperar, el suelo con mayor capacidad de acumular agua (Bequeló) mantuvo una mayor cantidad de agua disponible a la cosecha de trigo y un mayor porcentaje del total. Este hecho conocido, al ser cuantificado, resulta sumamente útil para la toma de decisiones.

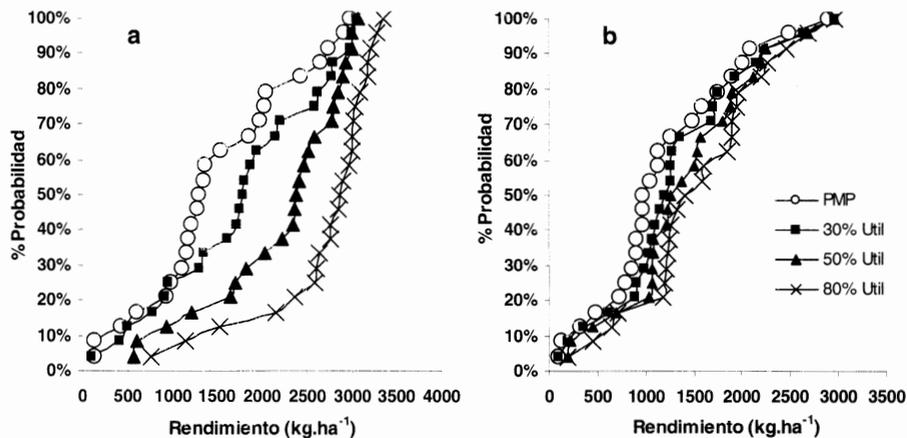
El impacto del agua residual a la cosecha del cultivo de invierno en los rendimientos potenciales de maíz y soja de segunda sobre trigo fue menor en un suelo menos profundo, como el de la Unidad San Manuel, en relación a uno profundo como el de la Unidad Bequeló (Figuras 5 y 6). Si bien en ambos suelos se depende de la lluvia durante la estación de crecimiento de maíz y soja, un suelo profundo daría mayor seguridad si llega a la cosecha de trigo-siembra del cultivo de segunda con una disponibilidad de agua mayor al 50% de



**Figura 4.** Distribución de la probabilidad de agua útil (%) y la cantidad de agua útil (mm) en el suelo luego de cosechado el cultivo de trigo (Serie 1975-1995).



**Figura 5.** Rendimiento potencial del cultivo de maíz de segunda sembrado sobre diferentes condiciones hídricas y diferentes suelos: a) Unidad Bequeló; b) Unidad San Manuel. \*PMP: Punto de Marchitez Permanente.



**Figura 6.** Rendimiento potencial del cultivo de soja de segunda sembrado sobre diferentes condiciones hídricas y diferentes suelos: a) Unidad Bequeló; b) Unidad San Manuel. \*PMP: Punto de Marchitez Permanente.

su capacidad de almacenar agua útil. Mientras que en un año extremadamente seco los rendimientos de maíz y soja de segunda serían menores a  $1000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de manera independiente a la humedad residual en el suelo superficial, el rendimiento medio esperado en un suelo profundo, con más de 50% de su capacidad de almacenar agua útil a la cosecha de trigo, sería mayor a  $2000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de soja y a  $4000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de maíz.

### HIPÓTESIS 3: La diferencia esperada de rendimiento de un cultivo, sembrado de primera y de segunda, depende de la profundidad del suelo

En los últimos años la importancia relativa de los cultivos de verano ha crecido con relación a los de invierno. En los esquemas agrícolas se ha priorizado la siembra de cultivos de verano de primera, en búsqueda de mayor rendimiento y seguridad. El manejo del periodo de barbecho permite llegar a la siembra de un cultivo de verano de primera con el suelo recargado de agua, mientras que en los cultivos de segunda la siembra queda condicionada por el residuo hídrico del cultivo de invierno.

### MÉTODO DE TRABAJO

Se compara el rendimiento de maíz y soja sembrados como cultivos de primera con el suelo a capacidad de campo, con relación al mismo cultivo sembrado de segunda con el agua disponible en el suelo estimada a la cosecha de trigo. Se utilizó la misma base climática, de suelo y cultivares que para las Hipótesis 1 y 2.

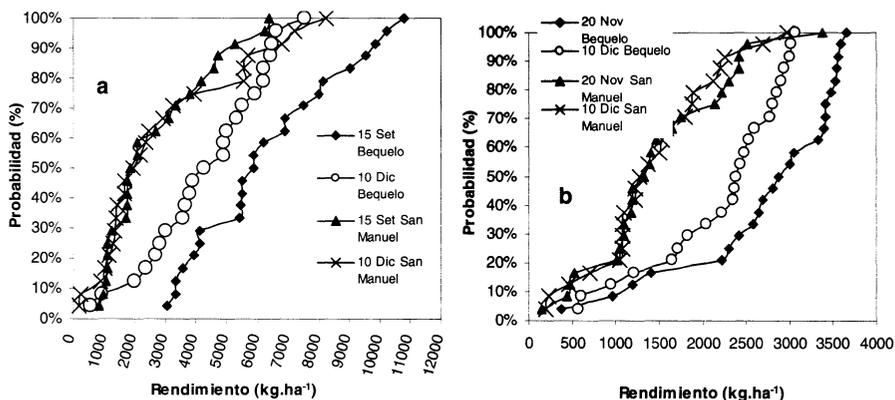


Figura 7. a) Rendimiento potencial del cultivo de maíz sembrado de primera y de segunda. b) Rendimiento potencial del cultivo de soja sembrado de primera y de segunda.

### ¿CUÁL ES LA DIFERENCIA DE RENDIMIENTO ESPERADA ENTRE MAÍZ DE PRIMERA Y MAÍZ DE SEGUNDA?

En la Figura 7 se presentan los rendimientos estimados para maíz sembrado el 15 de setiembre y para soja sembrada el 20 de noviembre (de primera), contra la siembra de segunda el 10 de diciembre, sobre los dos suelos considerados.

El rendimiento medio de maíz de primera sería casi 40% superior al de segunda (aproximadamente  $6000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  contra  $4500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en un suelo profundo y no se esperan diferencias en un suelo superficial, donde el rendimiento medio de ambos estaría en torno a los  $2000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Para el caso de la soja los resultados son similares, con una diferencia del 40%, a favor de la siembra de primera, en el suelo profundo y sin diferencias en el superficial.

### CONSIDERACIONES FINALES

No es posible extraer resultados concluyentes de este trabajo ya que aún falta información para validar los modelos para las condiciones de producción local. De todas maneras, los ejemplos presentados ilustran el valor de estas herramientas, tanto para la toma de decisiones productivas como para el planteo de hipótesis.

La validación para las condiciones locales permitirá generar curvas de probabilidad de ocurrencia de rendimiento, lo cual es vital para el adecuado manejo del riesgo por parte de los técnicos asesores.

A esta información se podría sumar el resultado económico y de esta forma incorporar el riesgo agronómico y económico en diferentes escenarios de clima y combinaciones de precio. ▼

### BIBLIOGRAFÍA

- BAETHGEN, W.; ANDREGNETTE, B. 1994. Modelos de simulación en trigo: una nueva herramienta de manejo. In: Ott, P (ed). PROVA: Resultados de proyectos de validación.
- BOOTE, K.; JONES, J.; PICKERING, N. 1996. Potential Uses and Limitations of Crop Models. *Agronomy Journal* 88: 704-716.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. 1992. Guía para la Toma de Decisiones en Conservación de Suelos (3ra Aproximación). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica N° 26.
- ROMERO, R. 1996. Vulnerabilidad y adaptación de la cebada cervecera al cambio climático en Uruguay. Disponible en [www.inia.org.uy/publicaciones/publicaciones.htm](http://www.inia.org.uy/publicaciones/publicaciones.htm)
- SAWCHIK, J. 1997. Vulnerabilidad y adaptación del maíz al cambio climático en Uruguay. Disponible en [www.inia.org.uy/publicaciones/publicaciones.htm](http://www.inia.org.uy/publicaciones/publicaciones.htm)
- TAVELLA, W. 1994. Calibración y Validación del Modelo Ceres-Wheat en Uruguay. Tesis Ing Agr. Facultad de Agronomía.