

Uso de modelos de simulación para la recomendación de fertilización

Emilio H. Satorre
Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, UBA
Av. San Martín 4453 – (1417) Capital Federal
satorre@ifeva.edu.ar

Las determinantes reales de los resultados de rendimiento de cultivos de trigo pueden estar asociadas a un sinnúmero de causas. Sin embargo, en núcleos ecológicamente homogéneos, es posible identificar unas pocas variables asociadas al manejo de los cultivos que explican una gran parte de las variaciones de rendimiento. Estos componentes del sistema de producción son claves y la atención de un cultivo exitoso debe centrarse en su manejo. Por ello, son pilares de los esquemas de decisión y manejo.

En un proyecto llevado a cabo entre nuestro equipo y las zonas Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe de AACREA estudiamos el funcionamiento de los cultivos de trigo en condiciones reales de producción. Explicar la forma en que se generaba el rendimiento de trigo en la región, permitió identificar los componentes claves del sistema, que debían ser incorporados a un esquema de decisión flexible, orientado a la toma de decisiones de manejo del cultivo, particularmente de fertilización del cultivo en condiciones de secano. La evaluación de la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo no puede hacerse al margen de una estimación del nitrógeno disponible en el suelo, del planteo de producción establecido (variedad, fecha de siembra, densidad) y sus posibilidades de expresión bajo las condiciones de suelo y clima en que se desarrolla el cultivo.

Determinantes del rendimiento

El rendimiento del cultivo depende del número de granos producidos por unidad de área y del peso individual de los mismos. En muchos trabajos se ha puesto en evidencia que las diferencias de rendimiento entre distintas situaciones de manejo y producción son mejor explicadas por las diferencias en el número de granos que por las diferencias en el peso de los granos de esos cultivos. Alrededor de 20 días antes de antesis comienza el crecimiento rápido de la espiga y una etapa crucial para la definición del rendimiento. La reducción de la tasa de crecimiento del cultivo durante el período de 20 días preantesis y 10 días postantesis produce reducciones en el rendimiento mayores, a través de la reducción del número de granos, que en cualquier otro momento del ciclo. El peso seco de las espigas en antesis guarda una estrecha relación con el número de flores fértiles y el número de granos por metro cuadrado. Cualquier stress durante el período de crecimiento de la espiga producirá mermas en el rendimiento final que pueden ser sólo parcialmente compensadas por un mayor peso de los granos.

A diferencia del número de granos, el peso de los granos se define en otra etapa acotada del ciclo. Las condiciones ambientales que regulan mas frecuentemente

La expresión de la potencialidad del peso de los granos son la temperatura y la disponibilidad hídrica. A mayor temperatura media o deficiencia hídrica durante el llenado, el peso de los granos se reduce.

Las prácticas de manejo, la generación del rendimiento y los modelos de simulación.

Las bases mecánicas de la generación del rendimiento contribuyeron a identificar aspectos del diseño de los cultivos de la región cuyo conocimiento y, eventualmente, manejo contribuiría a aumentar su potencial y estabilidad. Los componentes claves identificados fueron (i) la oferta de nitrógeno (considerando el nitrógeno mineral del suelo, a partir del análisis de laboratorio, y el del fertilizante, a partir de la fuente y dosis utilizada); (ii) el planteo de producción (considerado a partir del ciclo de la variedad, fecha de siembra y densidad); (iii) el contenido de agua inicial en el suelo a la siembra del cultivo; y (iv) la variabilidad climática esperable en la región durante el cultivo.

Figura 1- Estructura de un modelo de simulación agronómico.



ESTRUCTURA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN (MSA)

Para elaborar criterios de decisión a partir de la información reunida a lo largo del proyecto, nos apoyamos en modelos matemáticos de simulación. Los modelos son herramientas que intentan reproducir el comportamiento de los cultivos en función de las condiciones del ambiente (clima y suelo) y del manejo (Figura 1). Usados conjuntamente con datos climáticos de una larga serie de años, son una herramienta útil para el análisis de estrategias de manejo ya que permiten evaluar el riesgo climático y, por lo tanto, caracterizar y cuantificar el riesgo de producción asociado a distintas opciones de manejo del cultivo disponibles para el productor.

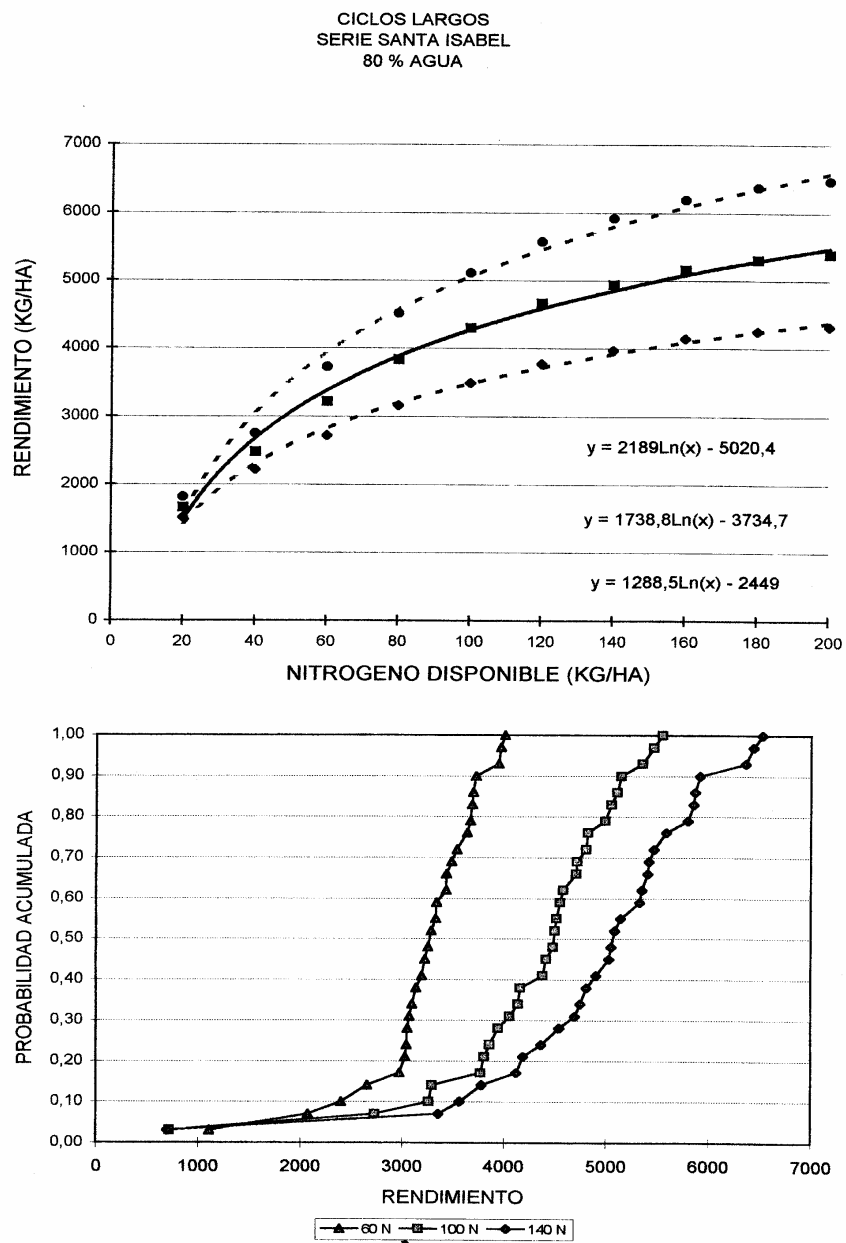
Para desarrollar las bases del diagnóstico y la toma de decisiones para los diferentes planteos de producción identificados en la región, se utilizó el modelo de simulación de desarrollo y crecimiento del cultivo de trigo CERES-Wheat. En una primera etapa se llevó a cabo una validación preliminar de la bondad de la utilización del modelo como instrumento para el desarrollo de los esquemas de decisión en planteos de alta productividad. El modelo logró un elevado ajuste en la estimación de la fenología del cultivo y también en la predicción de los rendimientos para distintas condiciones ambientales (disponibilidad de agua y nutrientes al inicio del ciclo) y de manejo, particularmente fechas de siembra, fertilización y cultivares (Calderini et al, 1994).

Bases de Decisión para la fertilización nitrogenada de trigo

A partir de (a) la identificación de los componentes claves de manejo asociadas a las bases ecofisiológicas de la generación del rendimiento del cultivo y la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta y (b) la validación y verificación de la posibilidad de usar un modelo matemático de simulación para proyectar y diseñar planteos de producción, incorporando la variabilidad climática a la toma de decisión; se elaboraron esquemas sencillos de decisión que pudieran permitir su extensión práctica inmediata y orientar de una manera flexible la fertilización nitrogenada de trigo en la región.

De un modo simple, las bases, representan las variaciones esperables de rendimiento del cultivo de trigo ante incrementos en la disponibilidad de nitrógeno para un planteo de producción y condición hídrica inicial definida (ver Figura 2). Para cada condición explorada y sistema productivo se desarrollaron elementos de decisión semejantes a los presentados en la Figura 2. Como el modelo no simula condiciones de deficiencia de fósforo, el esquema incorpora la fertilización fosforada a la siembra como una componente crucial del instrumento de decisión. Distintas alternativas de manejo del fósforo son propuestas, de acuerdo al potencial esperado de rendimiento y el contenido del suelo.

Figura 2: Respuesta esperada a la oferta inicial de nitrógeno de cultivos de ciclo largo en el 20 % de los mejores años (curva superior), 50 % y 20 % de los peores años en la región Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe de AACREA (a). La probabilidad acumulada de rendimientos correspondientes a tres manejos de ofertas iniciales de nitrógeno (60, 100 y 140 kg N/ha) son también presentados (b).



A modo de ejemplo, la Figura 2 muestra la posibilidad de alcanzar rendimientos medios de 4000 kg/ha con ofertas de nitrógeno iniciales cercanas a los 80 kg N/ha. Con ese nivel de oferta, los rendimientos podrían variar entre 4500 y 3000 kg/ha en 6 de cada diez años y sólo exceder esos límites en el 20 % de los mejores y peores años, respectivamente. Este instrumento incorpora la variabilidad climática a los elementos de decisión. Los criterios desarrollados pusieron también en evidencia que los riesgos asociados al manejo de la fertilización varían mucho entre los sistemas de producción evaluados. Por ello, las decisiones de manejo deben sustentarse en una evaluación integral del sistema productivo y no en atributos aislados de los mismos (por ejemplo, el análisis de laboratorio).

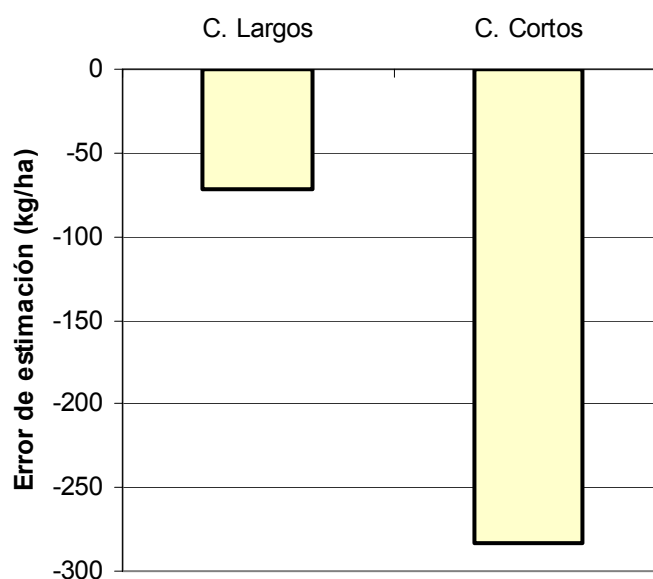
Las bases han sido originalmente desarrolladas para ser utilizadas en el área de influencia de la región Norte de Buenos y Sur de Santa Fe; actualmente han sido extendidas para incluir el Sur de Córdoba y están siendo ajustadas para el centro de la provincia de Santa Fe, Buenos Aires y Centro Este de Córdoba. En la región original, han sido validadas con resultados de tres años, en una oportunidad, e independientemente con datos de lotes comerciales dos años luego de su uso extensivo.

Las bases de decisión fueron puestas a prueba de forma separada para los planteos de producción de ciclo largo y aquellos de ciclo corto. Para los planteos de producción de ciclo largo, la diferencia entre los rendimientos evaluados por los productores en cosechas a campo y los estimados fueron de muy escasa magnitud. El error medio asociado a los criterios simples de decisión desarrollados en el proyecto fue una subestimación del rendimiento por parte del método de menos de 1 qq/ha ($-1 \pm 4,5$ qq/ha). Con este error, es probable que en siete de cada diez casos el error del método se encuentre entre una sobreestimación del rendimiento de 3,5 qq/ha y una subestimación de 5,5 qq/ha. Es decir, la verificación del método resultó altamente satisfactoria sobre un rango de rendimiento de los cultivos entre 10 y 50 qq/ha (Figura 3). Para los planteos de producción de ciclo corto, la diferencia entre los rendimientos evaluados por los productores en cosechas a campo y los estimados a partir de las bases de decisión fue mayor que aquella observada para los planteos anteriores (Figura 3). El error medio del método para los planteos de producción con cultivares de ciclo corto fue una subestimación de 3 qq/ha. Desde el punto de vista de la toma de decisión agronómica, el error de sobreestimación es el de mayor importancia y ese error con el método propuesto es pequeño.

El impacto del deterioro de los suelos en el Sur de Santa Fe.

Como los modelos de fertilización zonales fueron desarrollados sin considerar diferencias en el uso de los suelos, se pensó que los cultivos sobre suelos con estructura degradada podrían modificar los criterios generales desarrollados. Por ello, en un trabajo posterior se buscó caracterizar el perfil cultural del suelo en cultivos sobre distinta historia y manejo y evaluar la respuesta a la fertilización y

Figura 3- Errores medios (barras) del método de diagnóstico y recomendación.



las bases de decisión (Pozzi et al, 1998). Sin embargo, los resultados indicaron que tanto en lotes rotados como en los deteriorados, los rindes fueron simulados correctamente durante 1997, sugiriendo que la respuesta no se vería modificada por las diferencias observadas entre sitios en sus estados estructurales, bajo las condiciones ambientales de aquel año. Sin embargo, durante 1998, los cultivos de la situación deteriorada experimentaron stress hídrico en varios momentos de su ciclo (prefloración y llenado de granos) y el modelo habría sobrestimado el rendimiento en las situaciones con bajo aporte de nitrógeno (inferiores a 70 kg N total disponible/ha; Cuadro 1).

Cuadro 1- Diferencia entre rendimientos observados y estimados (kg/ha) en lotes Rotados y Deteriorados. La proporción de la diferencia explicada por la simulación en base a distinto régimen de lluvias es presentada entre paréntesis (Adaptado de Pozzi et al, 1998).

	Rendimientos observados		Diferencia	Rendimientos Estimados		Diferencia
	Rotado	Deteriorado		Rotado	Deteriorado	
Testigo	4347	3336	1011	4059	3679	380 (38)

Palabras Finales

Los planteos de producción de trigo y su respuesta a la aplicación de tecnología dependen de atributos ligados a su estructura (cultivar, densidad y fecha de siembra), suelo, clima y manejo tecnológico del cultivo (fertilización, riego, protección contra plagas, malezas, enfermedades y otras adversidades, ej. vuelco). En los cultivos de trigo, el manejo de la fertilización aparece como diferencial en planteos tecnológicos de punta. Sin embargo, debe destacarse que esta no está representada por la maximización del uso de insumos, sino por la incorporación de información que permita una combinación racional de factores orientada a lograr altos rindes que maximicen los ingresos del productor. En secano, la adopción de tecnología de punta no implica cambios radicales en el método de producción, sino un aumento conducido de la eficiencia en el uso de los recursos del productor y de la oportunidad de su utilización. En este contexto, la formulación de modelos generales y bases para el diagnóstico y toma de decisión permiten analizar la forma en que interactúan distintos factores y el beneficio y riesgo asociado a las tecnologías de fertilización.

Este trabajo fue realizado a través de un convenio entre las zonas Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe de AACREA y el equipo de la Cátedra de Cerealicultura (E. Satorre, R. Ruiz, D. Miralles, D. Calderini y G. Maddonni), con la colaboración de los productores y asesores de la región.

Referencias.

- Calderini, D. , Maddonni, G., Miralles, D., Ruiz, R. y E. Satorre (1994). Validación del modelo CERES-Wheat para producciones extensivas de trigo en diferentes situaciones de fertilidad del Norte de la Provincia de Buenos Aires. Actas del III Congreso Nacional de Trigo. Pg. 81-82.
- Pozzi, R., Permingeat, O., Rovea, A. y E. Satorre (1998). El deterioro de los suelos y los modelos de alta producción en trigo en la región Sur de Santa Fe de AACREA. Informe final, 34pp. Serv. Inf. de AACREA.