

## **MODELOS DE SIMULACIÓN AGRONÓMICA PARA PREDECIR LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO: EL Modelo TRIGUERO.**

Emilio H. Satorre<sup>1,2</sup>, Fernando Menéndez<sup>2</sup> y Gabriel Tinghitella<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Cereales, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Avda. San Martín 4453, 1417, Buenos Aires, Argentina. e-mail: [satorre@agro.uba.ar](mailto:satorre@agro.uba.ar)

<sup>2</sup>AACREA, Área de Tecnología, Sarmiento 1236, Buenos Aires, Argentina

### **Introducción**

Los resultados de rendimiento de cultivos de trigo pueden estar determinados por un sinnúmero de factores. Sin embargo, en regiones ecológicamente homogéneas, unas pocas variables asociadas al manejo de los cultivos suelen explicar una gran parte de las variaciones de rendimiento. Estos componentes del sistema de producción son claves y la atención en la planificación de un cultivo exitoso debe centrarse en su manejo. Por ello, son pilares de los esquemas de decisión y, frecuentemente, de investigación. En este sentido, la aproximación convencional a través de experimentación a campo ofrece posibilidades limitadas para entender e interpretar las complejas interacciones de los factores determinantes del comportamiento del cultivo de trigo (clima, suelo, manejo y variedad). La complejidad y número de interacciones que intervienen dificultan la toma de decisión e interpretación de las respuestas del cultivo al manejo, afectando en muchos casos la aplicación y transferencia de tecnologías y, con ello, la posibilidad de aumentar el rendimiento del trigo, su estabilidad y calidad. Una manera de suplir esta limitación es integrar el análisis experimental a la utilización de modelos de simulación agronómicos (MSA). Los MSA reproducen mediante algoritmos matemáticos procesos funcionales de los cultivos permitiendo reproducir su comportamiento en condiciones muy disímiles con un grado aceptable de exactitud. Orientados a la planificación del trigo, los MSA permiten, como aspecto distintivo, incorporar el efecto aleatorio del clima al diseño de estrategias de manejo del cultivo y explorar interacciones de distintos factores. En Argentina, desde comienzos de los años 90, los modelos de la familia DSSAT v3.5 (Jones et al., 1998; Ritchie et al., 1998) han sido utilizados para apoyar la planificación y manejo de los cultivos granos en regiones pampeanas y extra-pampeanas.

La evaluación de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada no puede hacerse al margen de una estimación del nitrógeno disponible en el suelo para el cultivo, del planteo de producción establecido (variedad, fecha de siembra, densidad, entre otros) y sus posibilidades de expresión bajo las condiciones de suelo y clima en que se desarrolla el cultivo. Unir al análisis experimental la utilización de modelos de simulación agronómicos (MSA) apareció en los 90

como un camino eficaz para resolver esa cuestión y, además, cuantificar el riesgo asociado a las alternativas de manejo en los planteos de producción (Satorre et al, 1993). El modelo CERES-TRIGO de la familia DSSAT v3.5, aunque con restricciones, ha mostrado fortalezas para reproducir el comportamiento esperado del cultivo bajo escenarios ecológicos y tecnológicos variables contribuyendo a la formulación de hipótesis racionales de producción y a la comprensión y pronóstico de sus resultados. En particular, el modelo CERES-TRIGO ha demostrado ser una herramienta robusta para interpretar y reproducir la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo. Integrando la aproximación experimental y la simulación matemática, varios proyectos llevados a cabo entre la Cátedra de Cereales (UBA) y las zonas Norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Centro de AACREA estudiaron el funcionamiento de los cultivos de trigo en condiciones reales de producción y permitieron sentar las bases de un sistema de decisión flexible, orientado a la toma de decisiones de manejo del cultivo, particularmente de fertilización del cultivo en condiciones de secano (Satorre et al, 2001). El objetivo de este trabajo es presentar y analizar el desarrollo de ese sistema de apoyo a la toma de decisión del manejo del cultivo de trigo denominado TRIGUERO. Asimismo, las nuevas líneas de desarrollo en marcha alrededor de este sistema serán también comentadas.

### **Triguero: La propuesta y su origen**

Hace cuatro años, un convenio entre AACREA – Profertil S.A y la Cátedra de Cerealicultura de la UBA puso en marcha un amplio proyecto con el objetivo de generar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones de la fertilización nitrogenada del cultivo de trigo en la región pampeana. Construido sobre experiencias exitosas, el proyecto buscó, como elemento distintivo, enriquecer el trabajo experimental con técnicas de simulación matemática. El resultado de ese análisis integrado fue usado como base para el desarrollo de TRIGUERO, una herramienta de diagnóstico y apoyo a la toma de decisión y cuantificación del riesgo de tecnologías de fertilización nitrogenada del trigo. Esta aproximación sistémica estuvo fundada en un sólido trabajo de campo de AACREA y de análisis de la Cátedra de Cereales de la UBA. En los primeros tres años, se pusieron en marcha cerca de 125 ensayos evaluando la respuesta a la fertilización de distintos cultivares en 14 regiones, desde NOA hasta el Sur de la provincia de Buenos Aires (regiones NOA, Norte de Santa Fe, Centro de Santa Fe, Córdoba Norte, Centro, Sur de Santa Fe, Norte de Buenos Aires, Litoral Sur, Oeste, Oeste Arenoso, Sudeste, Sudoeste, Mar y Sierras y Semiárida del movimiento CREA). Estos ensayos, estuvieron orientados a la identificación de componentes clave del cultivo y, el análisis permitió

la calibración y ajuste del modelo a una amplia base de datos de suelos y manejos del cultivo. Finalmente, la integración de elementos (observaciones, descripciones y parametrizaciones) y resultados desembocó en un instrumento de apoyo a la toma de decisión denominado TRIGUERO v1 (Satorre et al, 2005). Triguero es un modelo interactivo que permite evaluar la respuesta a la fertilización con nitrógeno y el riesgo asociado a ella en distintas áreas productivas de la región pampeana.

### Triguero v1: La herramienta y su aplicación

TRIGUERO v1 constituye actualmente, además de una herramienta, un marco sistémico apoyado en herramientas de simulación validadas (por ejemplo, ver Figura 1). El universo de aplicabilidad del mismo incorpora criterios para el manejo de la fertilización nitrogenada, tomando en cuenta la variedad sembrada, fecha de siembra, densidad y al impacto de algunas variables ambientales sobre el rendimiento y resultado de los cultivos de trigo. Asimismo, TRIGUERO v1 no incorpora los efectos de deficiencias de fósforo, mal manejo de plagas, enfermedades o malezas, ni el efecto de granizo o heladas sobre el rendimiento de trigo. En un escenario sin las adversidades mencionadas, TRIGUERO v1 permite evaluar la respuesta a la fertilización con nitrógeno y el riesgo asociado a esta en distintas áreas productivas de la región pampeana.

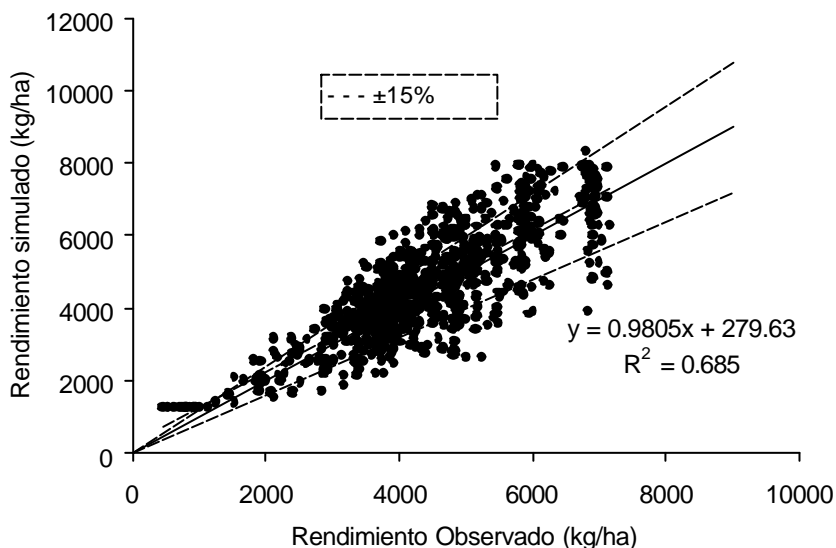


Figura 1- Rendimientos medios simulados y esperados con TRIGUERO para cultivos de trigo en distintas regiones productivas durante las campañas 2002 - 2004. La línea llena indica la relación 1:1 y las punteadas un error de 15 % respecto de esa línea.

Entre los aspectos que pueden ser abordados con el modelo, se encuentra (i) establecer la necesidad de fertilización del cultivo para distintos ambientes y planteos de producción, (ii) estimar el riesgo asociado a la decisión de manejo, (iii) cuantificar la respuesta económica marginal esperada y (iv) establecer el umbral de fertilización para diferentes escenarios de precios o seguridad de respuesta.

TRIGUERO v1 es una propuesta que avanza sobre las limitaciones de la experimentación convencional, integrando información en un modelo sencillo. Al momento, este modelo se ha preparado para describir el comportamiento del cultivo en respuesta al manejo de la fertilización nitrogenada en diferentes condiciones de 25 localidades o regiones en la región pampeana organizadas en cinco módulos (**Módulo Centro:** Pergamino, Marcos Juárez, Junín, 9 de Julio, Oliveros, Roque Pérez; **Módulo Oeste 1:** Pehuajó, América, Laboulaye, 25 de Mayo y Ameghino; **Módulo Oeste 2:** Pilar (Cba), Río IV, Huinca Renancó y Catrilo; **Módulo NEA:** Gualeguay, Gualeguaychú, Reconquista y Paraná; y **Módulo Sur:** Azul, Balcarce, Tres Arroyos, Bordenave, Coronel Suárez).

### **Triguero v2: Incorporando modificadores de la respuesta a la fertilización nitrogenada.**

El efecto de las enfermedades foliares y la deficiencia de fósforo y azufre sobre el rendimiento de trigo fue evaluado a partir de información experimental reciente de las regiones Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe. Relaciones obtenidas preliminarmente han sido analizadas a fin de incorporar los parámetros como modificadores de la magnitud de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el modelo TRIGUERO. Una versión preliminar del modelo TRIGUERO v2 con condicionantes (Enfermedades, Fósforo y Azufre) ha sido desarrollado para el Módulo Centro a fin de evaluar su comportamiento durante la campaña 2006.

Las bases estructurales del desarrollo de TRIGUERO y ejemplos de aplicaciones al proceso de toma de decisión serán presentadas y discutidas durante la exposición.

### **Referencias**

- Jones J., Tsuji G., Hoogenboom G., Hunt L., Thornton P., Wilkens P., Imamura D., Bowen W., Singh U., 1998. Decision support system for agrotechnology transfer. In: Tsuji G., Hoogenboom G., Thornton P. (Eds.) Understanding Options for Agricultural Production, Kluwer, pp. 157 – 77.
- Ritchie, J., Singh, V., Godwin, D. Bowen, W., 1998. Cereal growth, development and yield. In: G. Tsuji, G. Hoogenboom and P. Thornton (Eds.), Understanding options for Agricultural Production.. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 79 - 98.

Satorre, E.H., R. Ruiz, D.Miralles, D. Calderini y G. Maddonni (1993). Modelos de Alta Producción en Trigo de Secano para las zonas Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe de AACREA. Proyecto de Experimentación, Servicio de Informaciones, AACREA.

Satorre, E.H., R. Ruiz, D.Miralles, D. Calderini y G. Maddonni (2001). Bases de decisión para la fertilización nitrogenada en las zonas Norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Centro de AACREA. Pp 30-38; En: Cuaderno de Actualización Técnica N° 63 – TRIGO, AACREA, Buenos Aires, Argentina.

Satorre, E.H., Menéndez, F., Tinghitella, G y J.L. Cavasassi (2005). TRIGUERO: Un sistema de apoyo a la fertilización nitrogenada de Trigo. Convenio AACREA y PROFERTIL S.A., software de aplicación agronómico.