

Uso de modelos de simulación como soporte para la decisión de fertilización

Jorge L. Mercau

Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires
AACREA, Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación
Agrícola

INTRODUCCION

La incorporación de fertilizantes a un cultivo suele ser un camino rentable para el uso del capital de una empresa. Sin embargo, diagnosticar acertadamente la cantidad de nutrientes que es necesario agregar al cultivo es el paso más difícil para alcanzar un uso eficiente de los fertilizantes (Loomis & Connor 1992).

La demanda de nutrientes es regulada por los factores definitorios del crecimiento (radiación, temperatura, genotipo, fecha de siembra, etc.) y por factores limitantes del rendimiento como la disponibilidad de agua (lluvia efectiva, agua acumulada a la siembra, retención de agua del suelo, sistema radical del cultivo, etc.). En general, aumentar el suministro de nutrientes aumenta el rendimiento hasta que éste alcanza el nivel al cual lo limita la disponibilidad de agua (Rabbinge 1993). No obstante, la respuesta del cultivo a la oferta de nutrientes no es lineal y además, existen interacciones con la disponibilidad de agua que hacen más complejo el problema (de Wit 1992).

El nivel económicamente conveniente hasta el cual llevar la fertilización está íntimamente relacionado con la forma y magnitud de las respuestas del rendimiento en cada escenario de manejo y ambiente. En los últimos treinta años, en varias zonas de la región pampeana se han conducido ensayos a campo con el propósito de formular curvas, o al menos umbrales, de respuesta del rendimiento a cantidades crecientes de nutrientes. Con estos resultados se construyeron modelos empíricos, los cuales sólo describen las respuestas del ambiente (de clima, suelo y manejo) donde fueron calibrados y su extrapolación a situaciones fuera de ese universo es incierta. Además, los cambios tecnológicos permanentes dificultan la inclusión de una buena descripción del riesgo dado que el número de años que suelen utilizarse para su construcción es limitado. Por otro lado, una aproximación mecanística podría manejar las interacciones con diferentes ambientes y evitar las limitaciones de los modelos empíricos, sin

embargo, los errores cometidos en la simplificación de los sistemas suelen hacerla imprecisa y poco práctica. Por lo tanto, los modelos que simulan funcionalmente el comportamiento del cultivo, en adelante modelos agronómicos, resultarían los más útiles para estos problemas de la ingeniería agronómica (Passioura 1996).

LOS MODELOS AGRONÓMICOS Y LA FERTILIZACIÓN DEL TRIGO

Los modelos agronómicos que se han desarrollado y utilizado para decidir la fertilización en trigo tienen distintos niveles de complejidad. Un modelo agronómico simple, por ejemplo, se basa en que i) la eficiencia de uso de agua transpirada para producir biomasa es relativamente constante, y que ii) se puede separar analíticamente la transpiración de las otras salidas de agua del agroecosistema. Este modelo muestra que la baja fertilización nitrogenada limita fuertemente el rendimiento en una zona con una oferta hídrica escasa y variable (French & Schultz 1984). Otro modelo es el STRIN (Montaner y Maddoni y Di Nápoli 1997) que permite evaluar la respuesta al nitrógeno y su variabilidad interanual en un amplio rango de ambientes en el sur de Buenos Aires. Considera algunos de los modificadores de la oferta de nitrógeno desde distintos suelos y el efecto del agua sobre la determinación del rendimiento y el requerimiento de nitrógeno del trigo. Sin ser mecánicos, pero si funcionalmente complejos, existen varios modelos de simulación agronómica (MSA) para el cultivo de trigo (Ceres, AFRCWHEAT, Lintux, etc). El Ceres-Wheat fue uno de los pioneros (Ritchie et al. 1985) y simula varios procesos, abarcando la fenología, la captación de luz, agua y nitrógeno, la generación de biomasa de distintos órganos, el rendimiento y sus componentes numéricos, la dinámica del agua y el nitrógeno en el suelo y en la planta. La simulación día a día de los mismos le confieren una gran versatilidad para captar las interacciones que se producen entre el suelo, el clima, el genotipo y el manejo del cultivo. Ceres es hoy un modelo muy utilizado en el mundo con una aproximación que fue copiada por varios modelos similares.

La utilización de un modelo agronómico para tomar decisiones agrega cierto grado de incertidumbre por el desconocimiento del grado de ajuste entre la realidad y la simplificación de la misma. En Argentina se ha avanzado en la comprensión, evaluación y generación de bases de datos del modelo Ceres, utilizándolo en la determinación del requerimiento de fertilización nitrogenada del trigo (Calderini et al. 1994, Ruiz et al. 1998, Satorre y Mercau 1999, Satorre et al. 2005). La precisión del modelo Ceres se considera aceptable para la toma de decisiones estratégicas (varios lotes, varios años, etc.) con un comportamiento lote a lote que captura el sentido de la variación generada, en una magnitud que en muchos casos es comparable. El trabajo

continuo con este modelo permite revisar varios supuestos tomados para su utilización, la modificación del modelo, y eventualmente el reconocimiento de los límites de su universo de aplicación. El Ceres solo se aplica cuando otros nutrientes distintos del nitrógeno no son limitantes y cuando los factores reductores no son moduladores importantes del rendimiento (enfermedades, plagas, malezas, temperaturas extremas, granizo, etc.).

¿CON CUÁNTO FERTILIZO? EL MANEJO DEL RIESGO Y LA INCERTIDUMBRE

La variabilidad en la respuesta del rendimiento de trigo a la fertilización con nitrógeno está generada por factores que, aunque variables, tienen un valor conocido al momento de tomar la decisión, otros cuya variabilidad esperable es conocida y, finalmente, otros factores cuyo impacto es incierto. Es posible saber qué genotipo voy a utilizar, en qué fecha y cuál será la estructura espacial de siembra. De esta manera, se controla una reconocida fuente de variabilidad en la respuesta a la fertilización. También es posible conocer el suelo, su contenido de materia orgánica y el estado de deterioro que afectarán la oferta de nitrógeno pero también, por ejemplo, la disponibilidad de agua para el cultivo y por lo tanto, su capacidad de responder al nitrógeno. Si cuantificamos el nitrógeno mineral en el perfil a la siembra conoceremos la variabilidad generada por el antecesor y el otoño anterior, modificando el requerimiento de agregar nitrógeno. En algunos lugares, pero no en otros, se mide el agua a la siembra en todo el perfil que explorarán las raíces (ca. 2 mts). Hacia el noroeste del país, con clima monzónico y floración temprana, esa agua constituye buena parte del agua del cultivo. Los productores de esa zona rápidamente aprendieron su impacto en el rendimiento. Sin embargo, en varias zonas de la Pampa húmeda el agua a la siembra en algunos años sin buena recarga otoñal limita el rendimiento en años relativamente secos o de lluvias tardías en el ciclo. Para todos estos factores conocidos es posible cuantificar como se modifica la respuesta al nitrógeno simulando el cultivo con el MSA Ceres, evaluando además la conveniencia de modificar una decisión sobre alguno de ellos.

Las condiciones climáticas de la estación de cultivo no se conocen al decidir la fertilización. Tal incertidumbre a la siembra se mantiene, en la mayor parte del área triguera y existe la práctica de demorar la fertilización hasta el macollaje debido a que la mayor variabilidad con impacto en el rendimiento se genera en las lluvias de los 30 a 40 días previos a floración. Sin embargo, asumiendo que lo que pasará en la próxima estación será una realización de la variabilidad del clima en la región, es

posible conocer, al momento de tomar la decisión, la variabilidad esperable en la próxima estación. El uso del Ceres permite transformar los datos climáticos históricos en datos de rendimiento simulados y por ende conocer la variabilidad esperable de la respuesta a la fertilización. Los pronósticos de fases del niño también permiten evaluar solo una porción de esos datos históricos, para un escenario niño, niña o neutro. Se debe reconocer que, al utilizar ese u otros pronósticos, se reduce la variabilidad esperable pero se introduce una cuota de incertidumbre, asociada a que se desconoce en algunos casos la certeza de los mismos.

TRIGUERO: UN SISTEMA EXPERTO BASADO EN USO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

El plan nacional de trigo de AACREA, junto a la Cátedra de Cerealicultura de la FAUBA y con el apoyo de Profertil permitió la generalización del uso del Ceres trigo a través del desarrollo de TRIGUERO (Satorre et al. 2005). Triguero es un sistema experto que alberga corridas pre-hechas del Ceres sobre una amplia base de datos climática, de suelos y genotipos para distintos niveles de oferta de nitrógeno.

Triguero muestra como varía el rendimiento simulado histórico promedio, aquel que se superó en uno de cinco años (percentil 80) y aquel que no se alcanzó en uno de cinco años, (percentil 20) para escenarios compuestos por i) un clima, ii) un suelo, iii) una condición inicial de agua y iii) un planteo de trigo (genotipo y fecha de siembra). Los rendimientos se describen para niveles crecientes de nitrógeno disponible (nitrógeno mineral en el suelo alrededor de la siembra más todo el agregado en fertilizantes) con un polinomio de grado dos en un rango de 40 a 190 kgN/ha. La derivada de esa curva es la respuesta, que, multiplicada por el precio neto del grano, estima el ingreso marginal que se produce al agregar un kilo de nitrógeno en cada nivel de N disponible. Según el nivel de riesgo a tomar, la empresa puede llevar elevar el nitrógeno disponible hasta que el ingreso marginal en la curva promedio histórica iguala al costo marginal, lo que maximiza el ingreso promedio esperable, o hasta que se igualan utilizando el percentil 20, sacrificando un poco de ingreso medio pero aumentando el valor del ingreso mínimo en 4 de cinco años. Si se considera el costo de oportunidad del dinero usado en fertilización, por ejemplo la rentabilidad de alquilar más hectáreas, se puede decidir que el nivel de fertilización esté por debajo del máximo ingreso promedio para asegurar un determinado ingreso marginal.

El plan nacional de AACREA avanza en agregar en el sistema experto modificadores a las curvas simuladas con Ceres que consideren la limitación por fósforo y azufre y el efecto de las enfermedades foliares. La estrategia se basa en

incorporar datos de ensayos a campo “ad hoc”, conocimiento científico y conocimiento experto. Esta integración de distintas fuentes de información en herramientas para tomar decisiones es un desafío y un camino a transitar en esta era de generación de valor a partir del conocimiento.

COMENTARIOS FINALES

La decisión de la cantidad de fertilizante a utilizar en la agricultura tiene fuerte impacto en la eficiencia en el uso de los recursos. El uso de modelos de simulación agronómicos permite evaluarla en distintos escenarios permitiendo, además, la consideración del riesgo en la decisión. Su utilización razonable, reconociendo su dominio de aplicación y sus imprecisiones, permite potenciar la capacidad de los equipos encargados de tomar decisiones en las empresas agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

- Calderini, D., G. Maddonni, D. Miralles, R. Ruiz, y E.H. 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 III Congreso Nacional de Trigo, 81-82.
- De Wit, C.T., 1992. Resource use efficiency in agriculture. *Agricultural Systems* 40, 125–151.
- French, R.J., Schultz, J.E., 1984a. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Aust. J. Agric. Res.* 35, 743–764.
- González Montaner, J.H., G.A. Maddonni y M.R. Di Napoli. 1997. Modelling grain yield and grain yield responses to nitrogen in the Argentinian Southern Pampas. *Field Crop Research* 51: 241-252.
- Loomis, R.S., Connor, D.J., 1996. *Crop Ecology. Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, Cambridge, 538 pp.
- Passiura, J.B. 1996. Simulations models: Science, Snake Oil, Education, or Engineering?. *Agronomy Journal*, 88: 690-694.
- Rabbinge, R. 1993. The ecological background of food production. En: *Crop protection and sustainable agriculture*. Ciba Foundation Symposium 177. John Wiley & Sons.
- Ritchie, J.T., D.C. Godwing, y S. Otter-Nacke. 1985. *A simulation model of wheat growth and development*. Texas A&M University Press, College Station.



Ruiz, R., E.H. Satorre, D. Calderini y D. Miralles, D. 1998. Simulación del comportamiento del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) del sur de Córdoba, usando el modelo CERES-Wheat. Actas IV Congreso Nacional de Trigo, 3-54.

Satorre, E.H. y J.L. Mercau. 1999. Bases de decisión para la fertilización nitrogenada en trigo. Grupo "El Planchazo".

Satorre, E.H., F.J. Menéndez y G. Tingitella. 2005. Criterios para el Diagnóstico y Manejo de la Fertilización Nitrogenada del Cultivo de Trigo en la Región Pampeana. Convenio AACREA - PROFERTIL. Informe Final.