

# FERTILIZACION CON AZUFRE EN TRIGO EN EL NORTE DE BUENOS AIRES. UN ANÁLISIS DE SU INTERACCIÓN CON NITRÓGENO Y FÓSFORO A TRAVÉS DE MODELIZACIÓN.

Satorre, E.H. <sup>(1,2)</sup> Tinghitella G.A. <sup>(1,2)</sup> & M. Ermácora <sup>(2)</sup>

(1) Cátedra de Cereales, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires  
(FAUBA). Avda. San Martín 4453, C.P. 1417, Buenos Aires, Argentina.

(2) Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola  
(AACREA), Unidad Organizacional Investigación y Desarrollo, Sarmiento 1236,  
Buenos Aires, Argentina.

e-mail: [satorre@agro.uba.ar](mailto:satorre@agro.uba.ar)

## RESUMEN

En los últimos años, en la región pampeana argentina, deficiencias de azufre han limitado el rendimiento del cultivo de trigo. Por ello, los objetivos de este trabajo fueron (i) evaluar la respuesta a la fertilización con azufre y su efecto sobre la respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo, en cultivos de trigo de la zona Norte de la provincia de Buenos Aires y, (ii) analizar su interacción con otros nutrientes desarrollando modelos empíricos simples factibles de ser incorporados en herramientas destinadas a apoyar la toma de decisiones, tales como TRIGUERO, ampliando su universo de aplicabilidad. Para tal fin, entre 2004 y 2008, se condujo una red de ensayos zonales, a través de un amplio rango de condiciones edafoclimáticas y de manejo, explorando la respuesta a la fertilización con azufre en dos niveles de Nitrógeno. En todos los ensayos se determinó el rendimiento y, en muchos de ellos sus componentes (Nº de granos y de espigas/m<sup>2</sup>, peso de mil granos y Nº de granos/espiga). La principal variable explicatoria del rendimiento fue el Nº de granos/m<sup>2</sup>. La respuesta a Azufre fue significativa en ambos niveles de nitrógeno. Los niveles de nitrógeno disponible, fósforo y azufre alcanzado fueron las variables nutricionales que mejor explicaron las diferencias de rendimiento entre sitios, años y manejos. El modelo de regresión múltiple ajustado para dichas variables, permitió modelizar las interacciones establecidas entre ellas y determinar que su factor de impacto era igual al producto de los factores de impacto correspondientes a los efectos simples de las limitaciones por fósforo y azufre.

**PALABRAS CLAVE:** Trigo, Fertilización, Azufre, TRIGUERO.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años, la tecnología y rendimiento de los cultivos de trigo se ha incrementado. La importancia del genotipo, su protección y, fundamentalmente, su fertilización con nitrógeno ha sido puesta en evidencia en numerosos trabajos. No obstante, la aproximación convencional a través de la experimentación a campo ofrece posibilidades limitadas para comprender la cantidad y complejidad de interacciones establecidas entre los factores determinantes del comportamiento de los cultivos (clima, suelo, variedad y manejo). Una forma de suplir esta limitación consiste en integrar el uso de Modelos de Simulación Agronómica (MSA) con el análisis experimental. Los MSA reproducen mediante algoritmos matemáticos, procesos funcionales de los cultivos en condiciones muy disímiles con un grado de exactitud aceptable. El modelo CERES-Wheat de la familia DSSAT V3.5 (Ritchie et al., 1985), ha mostrado fortalezas para reproducir la respuesta a la fertilización nitrogenada en regiones pampeanas y extrapampeanas (Satorre et al, 2001). Utilizando la base motriz de CERES Wheat, TRIGUERO (Satorre et al, 2005) ha permitido explorar alternativas de manejo del nitrógeno en un amplio rango de condiciones edafoclimáticas y de manejo del cultivo, en diversas regiones del país. Sin embargo CERES Wheat no incorpora en sus rutinas los efectos del fósforo y el azufre. En los últimos años el azufre ha aparecido como un nutriente limitante del rendimiento de los principales cultivos en las regiones agrícolas argentinas (Martínez & Cordone, 2005; García et al, 2006). Actualmente, no existen modelos

generales de respuesta a la aplicación de este nutriente que puedan orientar una recomendación de fertilización. En 2005 AACREA puso en marcha una red de ensayos diseñada para cuantificar la magnitud de las limitaciones causadas por las deficiencias de fósforo y azufre, entre otros factores (Satorre, 2007). Los resultados obtenidos generarían modelos empíricos simples que, incorporados a TRIGUERO permitirían ampliar su universo de aplicabilidad. De esta forma, la interacción entre numerosos factores podría ser tomada en cuenta a la hora de decidir el manejo nutricional del cultivo de trigo. Este trabajo tuvo por objeto evaluar la respuesta a la fertilización con azufre y su influencia sobre la respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en cultivos de trigo del Norte de Buenos Aires.

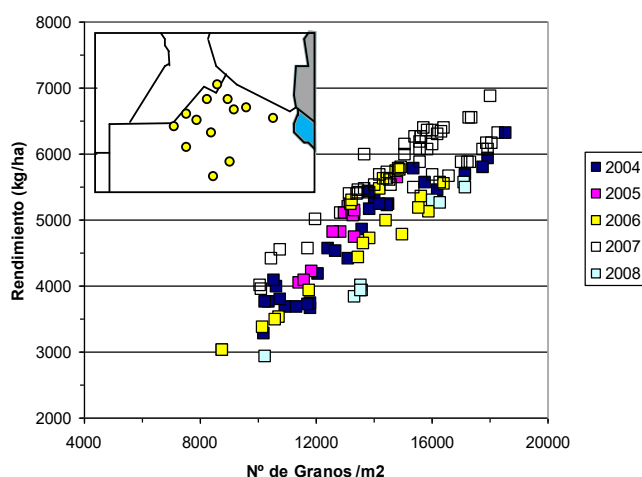
## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se analizaron ensayos de una red establecida por convenio entre AACREA y Profertil S.A. con participación de la Cátedra de Cerealicultura de la UBA en el marco del proyecto "Criterios para el Diagnóstico y Manejo de Componentes Clave de Decisión del Cultivo de Trigo en Argentina", entre 2004 y 2008. Resumidamente, en campos de productores de la zona Norte de Buenos Aires, se condujeron 18 ensayos en varias localidades (inset, Figura 1) sobre grandes franjas, con la tecnología comúnmente utilizada en la zona, para evaluar la respuesta a la fertilización con Nitrógeno, y Azufre de variedades comerciales de Trigo (Baguette 11, Klein Escorpión y ACA 901) en fechas de siembra usuales. En todos los casos se exploró la respuesta a la aplicación al voleo en presiembra o a la siembra de azufre (10-19 kg. S/ha) como  $\text{SO}_4\text{Ca}$  (azufertil), en cultivos manejados con dos niveles de nitrógeno (moderado y alto). El fertilizante nitrogenado se aplicó a la siembra o en presiembra en forma de UREA (46:00:00) o UAN (33:00:00). Los cultivos fueron fertilizados con Fósforo en dosis entre 8 y 42 kg.  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha (promedio=  $24,1 \pm 1$  kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha) como fosfato mono (11:52:00) o di-amónico (18:46:00), a la siembra. Los ensayos se protegieron contra malezas, plagas y enfermedades según criterios de buen manejo regionales. En todos los ensayos se determinó el rendimiento y, en muchos de ellos sus componentes (Nº de granos y de espigas /m<sup>2</sup>, peso de mil granos y Nº de granos/espiga). Se analizaron las correlaciones lineales establecidas entre estas variables. Como no todos los tratamientos se encontraban en todos los ensayos, cada tratamiento se clasificó según su nivel de N (Alto o Medio) y la aplicación o no de P y de S. Los resultados se analizaron estadísticamente según un diseño completamente aleatorizado con número variable de repeticiones. Las comparaciones entre medias se realizaron a través de una prueba de t (diferencia mínima significativa con  $P < 0,05$ ). Con un procedimiento de stepwise se determinaron las variables nutricionales más significativas en explicar el rendimiento del set de datos, y se determinaron los coeficientes lineales de un modelo de regresión múltiple de esas variables. El modelo, fue utilizado para explorar la interacción en la respuesta a los principales nutrientes y discutir su incorporación a TRIGUERO como modificadores de la respuesta a nitrógeno simulada por el mismo.

## **RESULTADOS & DISCUSIÓN**

Los rendimientos de trigo en los ensayos variaron entre 2926 y 6865 kg/ha. El Nº de granos/m<sup>2</sup> explicó el 76 % de la variabilidad del rendimiento (Figura 1). Es decir, la variabilidad ambiental (año x sitio x manejo) afectó el resultado del cultivo a través de las condiciones para la determinación del número de granos por unidad de área, antes que a través de un efecto sobre los restantes componentes (datos no presentados).

Hubo respuesta significativa al agregado de azufre en los dos niveles de nitrógeno (Alto y moderado) evaluados. En el promedio de las condiciones exploradas la respuesta media a la fertilización con azufre fue semejante a la de nitrógeno (566 y 622 kg/ha, respectivamente). Sin embargo, la respuesta a la fertilización con azufre, resultó levemente superior en el mayor nivel de nitrógeno explorado (522 y 610 para moderado y alto N, respectivamente; Cuadro 1).



**Figura 1 – Relación entre el Nº de granos /m<sup>2</sup> y el rendimiento de trigo por campaña. Datos de ensayos conducidos en varias localidades de la zona Norte de Buenos Aires (ver inset). Convenio AACREA – Profertil S.A.**

Los niveles de N disponible (Nd -kg.N/ha.- = N suelo + N fertilizante, 0-60 cm.); P alcanzado (Palc -ppm.- = P suelo + (P fertilizante x 0,6), 0-20 cm.); y S alcanzado (S alc. -kg.S/ha.- = S fertilizante) fueron las variables nutricionales que mejor explicaron las diferencias de rendimiento entre sitios, años y manejos (P<0,001). El modelo de regresión múltiple ajustado se presenta en la ecuación [1].

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = 2787 + 8,5 \text{ Nd} + 43,3 \text{ Palc} + 22,7 \text{ Salc} \quad \text{ecuación [1]}$$

**Cuadro 1- Rendimiento de trigo y Nitrógeno total (suelo + fertilizante de 0 a 60 cm.). Tratamientos con (S1) y sin (S0) aplicación de Azufre en dos niveles de Nitrógeno (Moderado y Alto). Se indican valores medios y errores standard. Letras distintas indican diferencias significativas entre promedios.**

Tratamiento	n	Rendimiento (kg./ha.)	N disponible (kg./ha.)
S0 Nmoderado	50	4723 ± 117 a	125 ± 3 a
S1 Nmoderado	26	5245 ± 147 b	148 ± 4 b
S0 Nalto	32	5341 ± 147 b	178 ± 4 c
S1 Nalto	16	5911 ± 208 c	173 ± 5 c
Significancia		P<0,001	P<0,001

Cómo la ecuación final [1] incorporó el efecto de los 3 nutrientes en la determinación del rendimiento, fue posible modelizar la interacción entre ellos para condiciones medias semejantes a las experimentales y frecuentes en la región. Los resultados encontrados sugirieron que el rendimiento medio de los cultivos limitados por fósforo y azufre fue 0,91 y 0,93 del obtenido en condiciones no limitantes, respectivamente, para condiciones de oferta moderadas o altas de nitrógeno. Es decir, en condiciones de limitación sólo por fósforo (Palc entre 15 y 8 ppm) o azufre (0 kg/ha) es esperable que las respuestas al agregado de nitrógeno sean hasta 9 y 7 % inferiores, respectivamente, respecto de los tratamientos que exploran condiciones no limitantes de esos nutrientes (Palc. cercano a 20 ppm y Salc. cercano a 17 kg/ha). A su vez, la interacción modelizada entre nutrientes sugirió que el efecto combinado de ambos es semejante al producto de sus factores de impacto; es decir a 0,91x0,93=0,85 –es decir, se espera una merma de rendimiento del 15 % en presencia de

limitaciones combinadas de fósforo y azufre para cualquier nivel de nitrógeno-. Estos resultados concuerdan con aquellos que señalan que las respuestas a procesos que involucran captura y uso de recursos son mejor explicados por cambios relativos (proporcionalidad) antes que por diferencias aditivas. No obstante, en la literatura existen grupos de datos y situaciones que avalan diferentes aproximaciones al entendimiento de las interacciones entre procesos o nutrientes (De Wit, 1992). De estos resultados, se desprende que el efecto individual de los nutrientes sobre la respuesta a otro (x ej.: nitrógeno) puede ser incorporado como un modificador de respuesta a ese nutriente. Así, TRIGUERO v2 incorpora este marco y coeficientes empíricos derivados para el efecto del azufre y el fósforo como modificadores de la curva de respuesta al Nitrógeno disponible (TRIGUERO v2; Satorre y Tinghitella, 2008). Al presente, los resultados de esta red y otros (datos no presentados) sugieren que las limitaciones causadas por los efectos simples de la deficiencia de fósforo y azufre y los efectos resultantes de la interacción entre ellos son bien explicados por un modelo analítico proporcional sencillo, en las condiciones frecuentes de gran parte del área triguera de la zona núcleo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- De Wit, C.T. 1992. Resource use efficiency in agriculture. *Agricultural Systems* 40, 125-151.
- García F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, et al. 2006. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. AACREA. 32 pp. ISBN 987-22576-7-1.
- Martínez F. y G. Cordone. 2005. Avances en el manejo de la fertilización de cultivos y fertilidad de suelos en el sur de Santa Fe. Simposio "Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente". Rosario 27-28 Abril. INPOFOS Cono Sur – Fertilizar A.C. pp. 3-11.
- 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.
- 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 Sante Fe y Centro de AACREA. pp. 30-38. En: Cuaderno de Actualización Técnica N°63 – TRIGO, AACREA, Buenos Aires, Argentina.
- Satorre, E.H., F.J. Menéndez y G. Tinghitella. 2005. Criterios para el Diagnostico y Manejo de la Fertilización Nitrogenada del Cultivo de Trigo en la Región Pampeana. Convenio AACREA – Profertil. Informe Final.
- Satorre, E.H. 2007. TRIGUERO: Un sistema de apoyo para el manejo de la fertilización. En: Satorre E. (Ed.) Producción de Trigo. Pp. 45-50. AACREA, Bs. As. Argentina.
- Satorre E.H. y G.A. Tinghitella. 2008. Programa TRIGUERO. Una herramienta de apoyo para manejar la fertilización nitrogenada del cultivo de trigo. *Revista Fertilizar*. Año IV. N°9.