

Nitrógeno y azufre en trigo: ¿Rendimiento y proteína?

Nahuel Reussi Calvo¹, Hernán Echeverría², Pablo Barbieri¹ y Hernán Sainz Rozas^{1,2}

¹CONICET, ²Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce
hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Presentado al XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo – Salta-Jujuy, 19-22 de Septiembre de 2006

Introducción

La calidad panadera del trigo se asocia frecuentemente con los niveles de proteína en grano, la cantidad y calidad de gluten y las propiedades reológicas de la masa. El nitrógeno (N) y el azufre (S) son los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de contenidos adecuados de gluten y de proteína en los granos de trigo. Se ha determinado que tanto el sistema de labranza como la fertilización con N afectan el rendimiento y el contenido de proteína del grano (Falotico *et al.*, 1999). Algunos autores han determinado menores índices de calidad de la harina bajo siembra directa aún con la aplicación de N (Sempé & Chidichimo, 2004). La relación entre el rendimiento y el contenido de proteína en grano depende de la disponibilidad de N (Selles & Zentner, 1998) (Figura 1). En situaciones de baja disponibilidad de N, el rendimiento del cultivo aumenta por el agregado de este nutriente, mientras que los niveles de proteína en grano no se modifican o disminuyen (Quattrocchio *et al.*, 2004); en situación de disponibilidad media, el agregado de N incrementa simultáneamente los rendimientos y la proteína; y frente a alta disponibilidad de N la fertilización con este nutriente provoca solamente un efecto sobre la concentración de proteína en grano.

Algunos autores han reportado que la aplicación foliar de N en los estadios avanzados del cultivo aumenta el contenido de proteína del grano (Echeverría

& Studdert, 1998), el de gluten y reduce el % de panza blanca, lo cual es relevante cuando se buscan granos de trigos de calidad para la panificación. El fraccionamiento de la dosis de N tiene como beneficio adicional que permite una mayor eficiencia de uso del N y, por consiguiente, menor riesgo ambiental en zonas de inviernos lluviosos. Por lo tanto, las decisiones de manejo como el momento, la dosis y la fuente de N utilizada son importantes, ya que las mismas permiten obtener mayores niveles de proteína y de gluten en la harina.

Se han determinado respuestas en rendimiento al agregado de S en suelos con bajo contenido de materia orgánica y con prolongada e intensa historia agrícola (Martínez *et al.*, 2001; Vivas *et al.*, 2001). En situaciones de deficiencias de S también se han reportado respuestas en el contenido de proteína en grano y mejora en la calidad panadera de la harina con el agregado de este nutriente (Bailey, 1987; Moss *et al.*, 1981).

En base a estos antecedentes y para cultivos de trigo realizados en la zona periserrana del sudeste bonaerense, se plantean como objetivos: a) determinar el efecto de la fertilización nitrogenada de base (macollaje) y en estadios avanzados del cultivo (hoja bandera) sobre el rendimiento del cultivo trigo y el contenido de proteína en grano. b) evaluar el efecto del agregado de S aplicado en macollaje sobre dichos parámetros.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2004 y 2005 se condujeron ensayos de trigo bajo condiciones de secano en lotes con prolongada historia agrícola (más de 15 años) y suelos sin limitantes de tosca hasta los 70 cm de profundidad. En la campaña 2004, los ensayos se condujeron bajo labranza convencional (LC) en Gral. Pueyrredón y Balcarce, mientras que en la campaña 2005 se realizaron bajo SD en la localidad de Tandil y Balcarce (Tabla 1). Los cultivos se realizaron empleando las prácticas usuales de los productores de cada área y fueron conducidos sin deficiencias de P.

El diseño experimental utilizado en todos los sitios fue en bloques completos aleatorizados (DBCA) con un arreglo factorial 2*5 (dos dosis de S y 5 dosis de N). La dosis de N surgió de la suma entre el N mineral presente al momento de la siembra (0-60 cm) y el

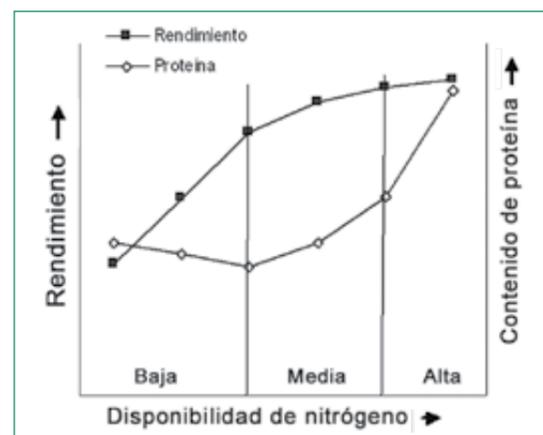


Figura 1. Relación entre la disponibilidad de N, el rendimiento y la concentración de proteína en grano.

aportado por fertilización, mientras que la dosis de S utilizada fue de 15 y 10 kg ha⁻¹ en la campaña 2004 y 2005, respectivamente (Tabla 2). El fertilizante azufrado fue aplicado en macollaje y la fuente utilizada fue tiosulfato de amonio (12% N y 26% S), mientras que el N se aplicó en macollaje como UAN (30-32% N) y en hoja bandera como urea líquida diluida (20% N).

El rendimiento se determinó mediante el corte de plantas a nivel del suelo de 6 surcos al azar de 1 m de longitud (1,14 m²). Las espigas fueron desgranadas en una trilladora estacionaria y se midió el contenido de humedad. El rendimiento se expresó al 14% de humedad y se determinó la concentración de N y S en grano.

Se realizó análisis de la varianza utilizando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statical Analysis System (SAS Institute, 1996). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de probabilidad de 0,05 (SAS Institute, 1996).

Características de las campañas

La temperatura y la radiación registrada durante las campañas 2004 y 2005 fueron adecuadas para lograr un óptimo crecimiento del cultivo de trigo y no presentaron grandes diferencias con respecto a los valores históricos (datos no mostrados). Para la campaña 2004 se registraron un total de 452 mm, los que superan los requerimientos hídricos del cultivo. No obstante, se determinó un leve déficit hídrico durante floración y llenado de granos, lo cual podría haber limitado el rendimiento del cultivo en esta campaña (Figura 2). En la campaña 2005, durante el ciclo del cultivo de trigo se registraron un total de 368 mm para el sitio Balcarce, si bien este valor no supera los requerimientos hídricos necesarios para el desarrollo del mismo (aproximadamente 380-400 mm), la buena disponibilidad hídrica a la siembra del cultivo sumado a

las precipitaciones permitió obtener un balance hídrico positivo. En Tandil, las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo fueron de 323 mm a lo que se le suma la baja disponibilidad hídrica inicial, por lo tanto para este sitio experimental la disponibilidad hídrica podría haber limitado el rendimiento del cultivo de trigo (Figura 2).

Rendimiento

Los rendimientos determinados en la campaña 2004 en ambas localidades oscilaron entre los 2800 y los 5400 kg ha⁻¹ para el tratamiento testigo y los fertilizados, respectivamente. Estos rendimientos fueron inferiores a los registrados en la campaña 2005 producto de la menor disponibilidad hídrica (Figura 2). En Gral. Pueyrredón, la gran cantidad de residuos de maíz produjo problemas de implantación del trigo lo cual se vio reflejado en un bajo stand de plantas logradas, lo que probablemente afectó los rendimientos. En Balcarce

Tabla 2. Dosis de nitrógeno y azufre aplicadas.

Dosis de nitrógeno	Dosis de azufre*
kg ha ⁻¹	
0	0
0	15-10
120	0
120	15-10
120 + 25 (hoja bandera)	0
120 + 25 (hoja bandera)	15-10
160	0
160	15-10
160 + 25 (hoja bandera)	0
160 + 25 (hoja bandera)	15-10

*Dosis de S utilizada en la campañas 2004 y 2005.

Tabla 1. Características relevantes de los sitios experimentales.

	Balcarce 2004	Gral. Pueyrredón 2004	Balcarce 2005	Tandil 2005
Sistema de labranza	Convencional	Convencional	Siembra directa	Siembra directa
Cultivo antecesor	Soja	Maíz	Soja	Maíz
Variedad	Buck Guapo	Buck Guapo	Buck Sureño	Buck Guapo
Fecha de siembra	20-06-2004	15-06-2004	10-07-2005	27-06-2005
MO (%) (0-20 cm)	5.7	6.2	5.7	5.8
pH (0-20 cm)	5.7	5.8	6.4	5.9
P (mg kg ⁻¹) (0-20 cm)	11	15	18.2	24.1
N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹) (0-60 cm)	68	92	56	34
S-SO ₄ ⁼ (mg kg ⁻¹) (0-20 cm)	No determinado	No determinado	2.7	5.5

(campaña 2005), los rendimientos oscilaron entre 4853 kg y los 7000 kg ha⁻¹, mientras que en Tandil los rendimientos fueron inferiores y oscilaron entre los 3015 kg y 5724 kg ha⁻¹, producto de la menor disponibilidad hídrica (Figura 2). En todos los sitios experimentales, el rendimiento en grano fue afectado por la fertilización con N al macollaje, determinándose los rendimientos más elevados con la disponibilidad de 160 kg N ha⁻¹ (Figuras 3 y 4). Estos resultados están en línea con los reportados por Calviño *et al.* (2002). La deficiencia generalizada de este nutriente en los suelos con prolongada historia agrícola justifica la práctica habitual de fertilización nitrogenada de base en trigo.

En Gral. Pueyrredón y Balcarce (2004) no se observó respuesta en rendimiento por el agregado de N en hoja bandera (Figura 3), producto de la adecuada disponibilidad de N a la siembra del trigo (Tabla 1), para los rendimientos obtenidos. No obstante, para la campaña 2005, la aplicación de N en hoja bandera incrementó en forma no significativa el rendimiento del cultivo trigo en Balcarce (Figura 4), mientras que en Tandil fue significativa la respuesta en rendimiento (Figura 4), lo cual se explica por la baja disponibilidad de N a la siembra del cultivo y por el antecesor maíz. La magnitud de esta respuesta fue de 380 y 266 kg ha⁻¹,

para la disponibilidad de 120 y 160 kg de N, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Quattrocchio *et al.* (2004).

En Gral. Pueyrredón y Balcarce (2004) bajo LC y en Balcarce (2005) bajo SD, se determinaron diferencias significativas en rendimiento por el agregado de S en macollaje (Figura 3 y 4) siendo la magnitud de la misma de 262, 346, 360 kg ha⁻¹, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado bajo SD por Calviño *et al.* (2001), para suelos de similares características e historia agrícola. La falta de respuesta al agregado de S en Tandil, en donde se determinaron concentraciones de S-SO₄⁼ en suelo inferiores al nivel crítico reportado en la literatura internacional (10 mg kg⁻¹ de 0-20 cm), se explica por el aporte de S-SO₄⁼ de los horizontes subsuperficiales el cual fue adecuado para satisfacer la demanda del cultivo (31 kg S-SO₄⁼ ha⁻¹ de 0-60 cm de profundidad).

Considerando que el incremento en el costo de la fertilización por el agregado de S es irrelevante, la respuesta en rendimiento por el agregado de este nutriente tiene un impacto altamente favorable sobre la rentabilidad de cultivo de trigo. Esto sugiere la necesidad de considerar la inclusión de este nutriente en la fórmula de fertilización de base empleada por los productores en lotes con prolongada historia agrícola.

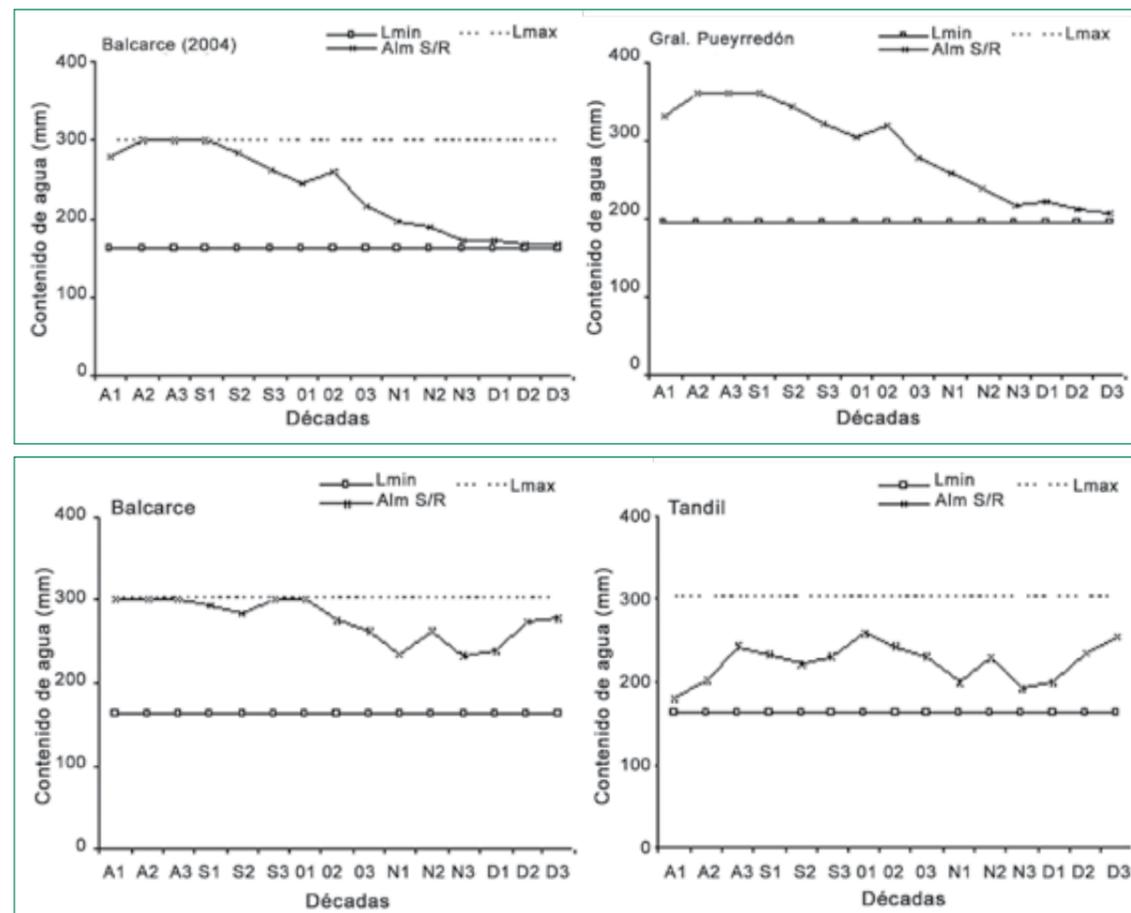


Figura 2. Balance decádico de agua para el cultivo de trigo durante los meses de agosto a diciembre. Lmin = Límite mínimo de almacenaje de agua, Lmax = Límite máximo de almacenaje de agua, Alm S/R = Almacenaje de agua.

Contenido de proteína en grano

Los contenidos promedio de proteína en grano oscilaron entre 11.3 y 12.5 %. El valor más bajo de proteína se determinó en Tandil, lo que podría ser explicado por el antecesor maíz (Tabla 1), mientras que los mayores contenidos de proteína en grano se obtuvieron en Gral. Pueyrredón producto de los menores rendimientos determinados en esta localidad. Se determinó respuesta en el contenido de proteína en grano por el agregado de N de base en Tandil y en Balcarce para ambas campañas, los tratamientos testigo y 120N presentaron los menores valores de proteína en grano (Figura 5 y 6). La aplicación de N en hoja bandera incrementó significativamente el contenido de proteína en grano para Tandil y Balcarce (2005) para 120 y 160 kg N ha⁻¹ (Figura 6), mientras que para Balcarce (2004) el incremento en dicho parámetro fue significativo solamente para la dosis de 120 kg N ha⁻¹ (Figura 5). Los incrementos en el contenido de proteína por la aplicación de N foliar en hoja bandera fueron de 0.6-2 %, valores que se encuentran dentro del rango reportado en otros trabajos (Bergh *et al.*, 2004; Loewy *et al.*, 2005). En Gral. Pueyrredón no hubo respuesta en el contenido de proteína en grano por la aplicación de N en macollaje y hoja bandera, lo cual se explica por los bajos rendimientos y la alta disponibilidad de N determinada en ese sitio. Considerando que la respuesta a la aplicación de N foliar no es generalizada, se enfatiza la necesidad de utilizar

los métodos de diagnóstico específicos para identificar los lotes con respuesta (Echeverría y Studdert, 2001; Bergh *et al.*, 2004).

La aplicación de S no produjo incrementos en el contenido de proteína en grano en ninguno de los sitios evaluados, sin embargo la composición de las proteínas podría modificarse y de esta forma mejorar la calidad del grano para la panificación (Moss *et al.*, 1981).

Consideraciones finales

Para las condiciones de nuestra experiencia se determinó respuesta en rendimiento por el agregado de N en macollaje en todos los sitios evaluados, lo que refleja la deficiencia generalizada de este nutriente en los suelos con prolongada historia agrícola. En situaciones con antecesor maíz bajo SD (Tandil), la aplicación de N foliar en hoja bandera incrementó el rendimiento. En tres de los cuatro experimentos la aplicación de N foliar incrementó la concentración de proteína en grano aún con alta dosis de N de base, lo que sugiere la necesidad de evaluar esta práctica de manejo cuando se busca mejorar la calidad de los granos.

La aplicación de S incrementó el rendimiento en grano del cultivo en tres de los cuatro sitios estudiados, no obstante en ninguno se determinó efecto de la aplicación de S sobre la concentración de proteína en grano. Estos resultados justifican el empleo de S en la fórmula de fertilización de base de lotes con prolongada historia agrícola.

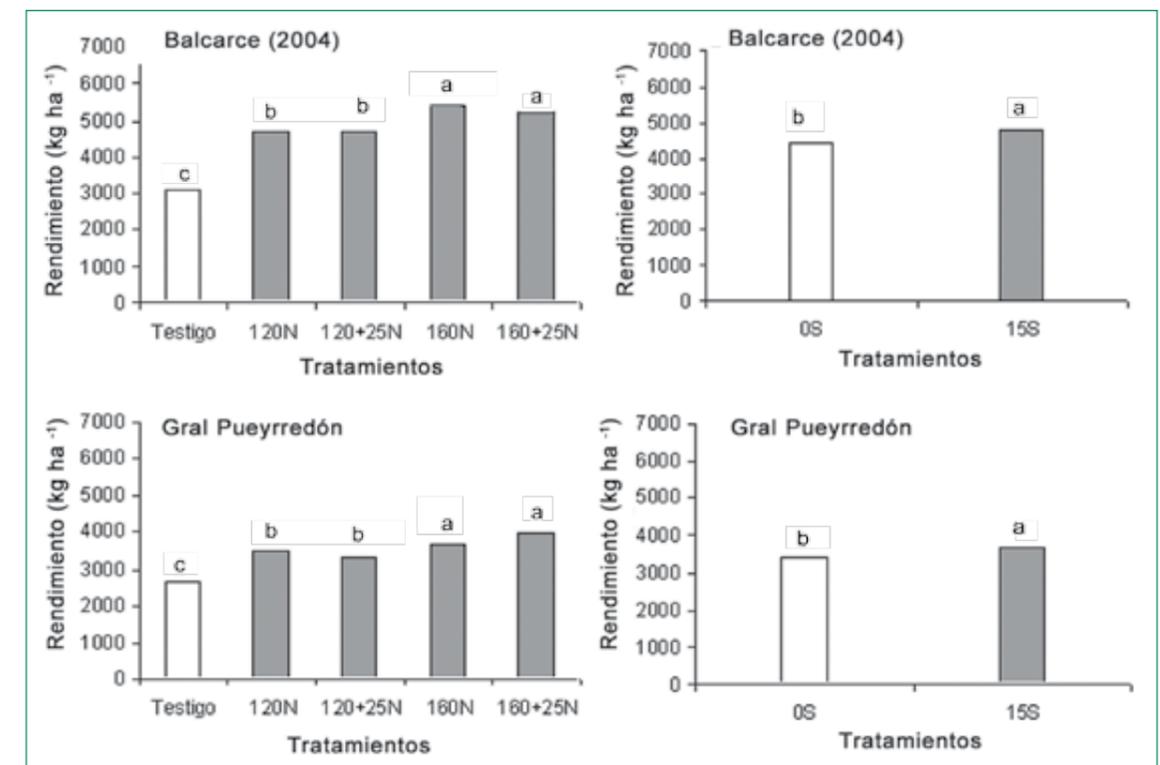


Figura 3. Rendimiento del cultivo de trigo para la campaña 2004 en función de la aplicación de N y S. Letras distintas indican la existencia de diferencia mínima significativa (LSD 0.05).

Agradecimientos

Trabajo financiado con fondos del proyecto de la UNMDP n° 15/A 163 y de la carta acuerdo INTA-PASA Petrobras.

Referencias

Bailey, L. 1987. Sulphur in plant nutrition. p. 14-17. In E. Berg (ed) Western Canada Sulphur Handbook. Western Canada Fertilizer Association. Calgary, AB, Canada.
 Bergh, R.; Loewy, T.; Echeverría, H.E. 2004. Nitrógeno en trigo: rendimiento y calidad panadera. 3. Aplicaciones de las lecturas del índice de verdor. VI Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca. 20-22 de Octubre. Actas en CD 2 pág.
 Calviño, P., Echeverría, H.E. y Redolatti, M. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 20:36-42.
 Calviño P. A.; Echeverría H. E.; Sainz Rozas H. y Redolatti M. 2001. Influencia del cultivo antecesor sobre la respuesta en trigo a la fertilización con azufre. V Congreso Nacional de Trigo y III Simposio Nacional de cereales de siembra otoño-invernal. Carlos Paz.
 Echeverría, H. y Studdert G. 1998. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera de trigo como predictivo del incremento de proteína en grano por aplicaciones de nitrógeno en espigazón. Rev. Fac. Agron. La Plata. 103:27-36.
 Echeverría, H. y Studdert, G.A. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. Ciencia del Suelo 19:67-74.
 Falotico, J; Studdert, G. y Echeverría, H. E. 1999. Nu-

trición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo. 17:9-20.
 Martínez, F; Cordone, G. y Garcia, F. O. 2001. Azufre y otros nutrientes. En: Trigo. Cuaderno de actualización técnica N° 63. CREA. P 46-51.
 MOSS, S. R; MACRITCHIE, C. W. y J. P. RANDALL. 1981. Sulphur and nitrogen fertilizer effects on wheat II. Influence on grain quality. Australian Journal of Agricultural Research 32, 213-226.
 Loewy, T; Bergh, R. y Echeverría, H. 2005. Nitrogen fertilization and wheat quality in the south of Buenos Aires province (Argentina). Actas del VII Wheat Congress. Mar del plata. Argentina.
 Quatrochio, A; Echeverría, H. y Alonso, S. 2004. Estrategias de fertilización nitrogenada en cultivares de trigo: calidad panadera. Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 19. Paraná, 22-25 junio 2004. AACs. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
 SAS Institute INC. 1996. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
 Selles, F. y Zentner, R. 1998. Environmental factors affecting wheat protein. Pp. 139-150. In D. Fowler y col. (eds) Wheat Protein: Production and marketing. Univ. Ext. Press. Univ. of Saskatchewan. Saskatoon, SK. Canada.
 Sempe, M y Chidichimo H. 2004. Efecto del sistema de labranza en la calidad industrial de trigo. Actas CD (2 páginas), VI Congreso Nacional de trigo. Bahía Blanca, Buenos Aires del 20 al 22 de octubre de 2004. 312-313.
 Vivas, H; Fontanetto, H; Albrecht, A y Hotian, J. 2001. Fertilización con fósforo y azufre para la producción de trigo en el Departamento San Jerónimo (Santa Fe). Informaciones Agronómicas 10:1-4. INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

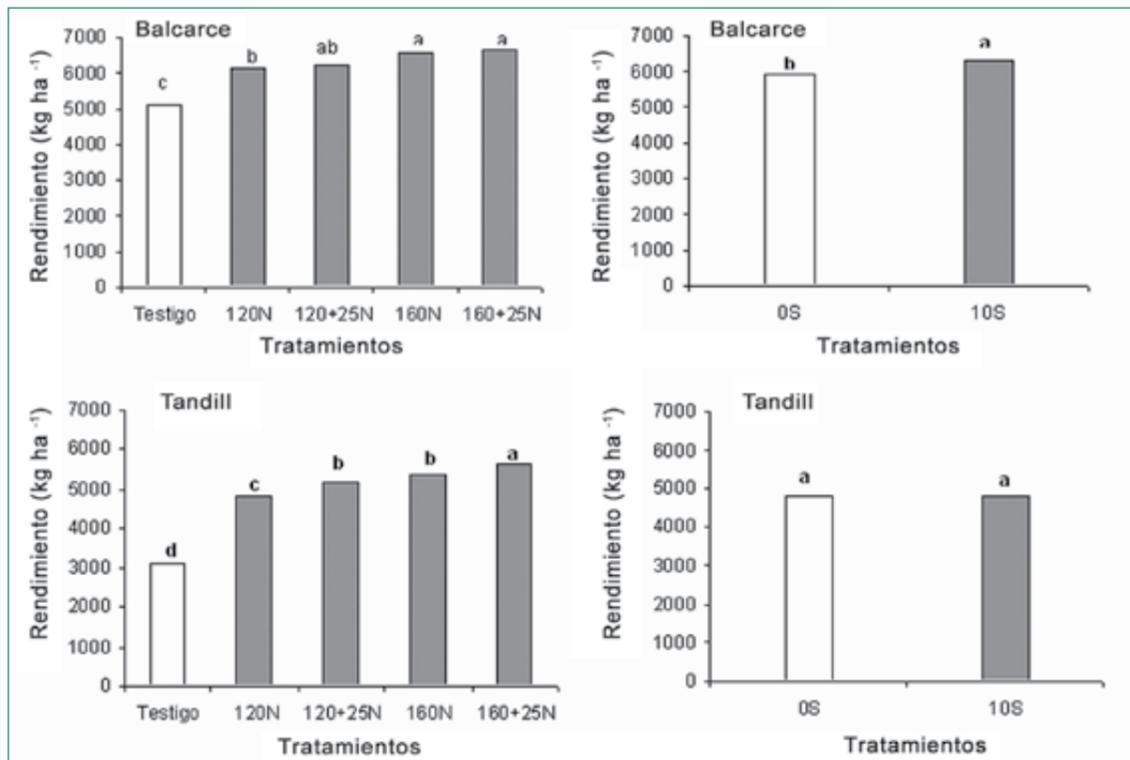


Figura 4. Rendimiento del cultivo de trigo para la campaña 2005 en función de la aplicación de N y S. Letras distintas indican la existencia de diferencia mínima significativa (LSD 0.05).

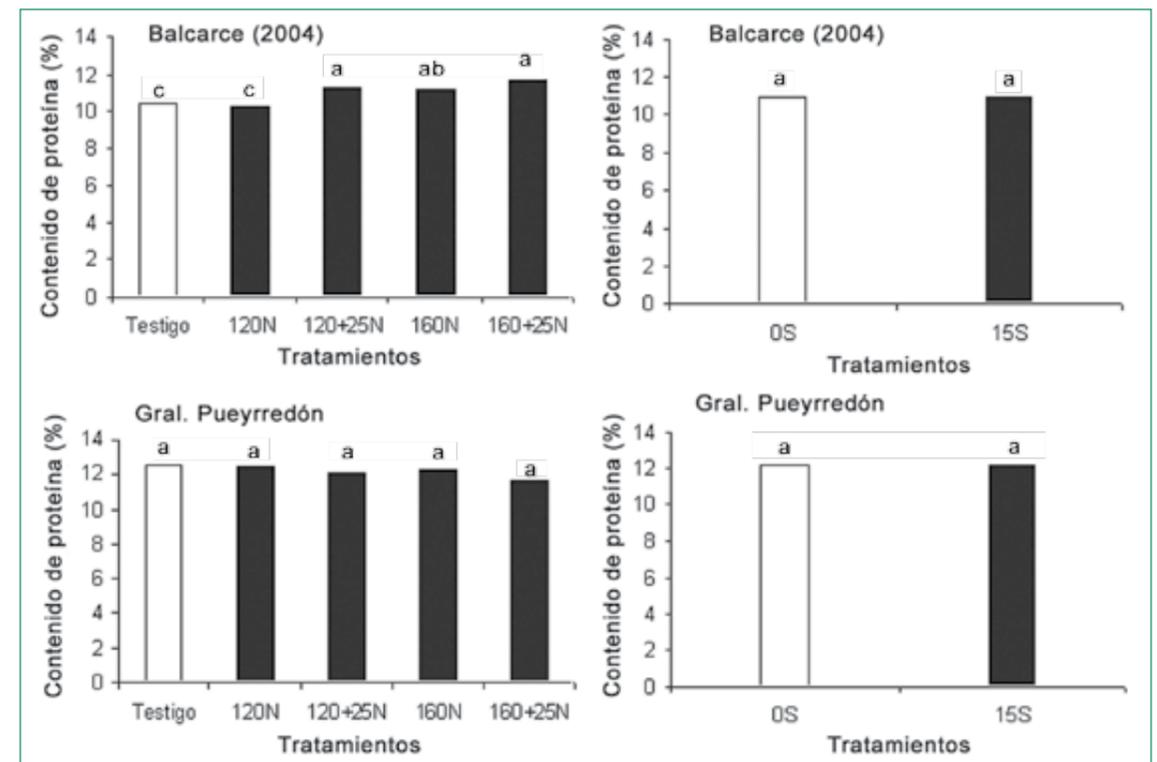


Figura 5. Contenido de proteína en grano de trigo para la campaña 2004 en función de la aplicación de N y S. Letras distintas indican la existencia de diferencia mínima significativa (LSD 0.05).

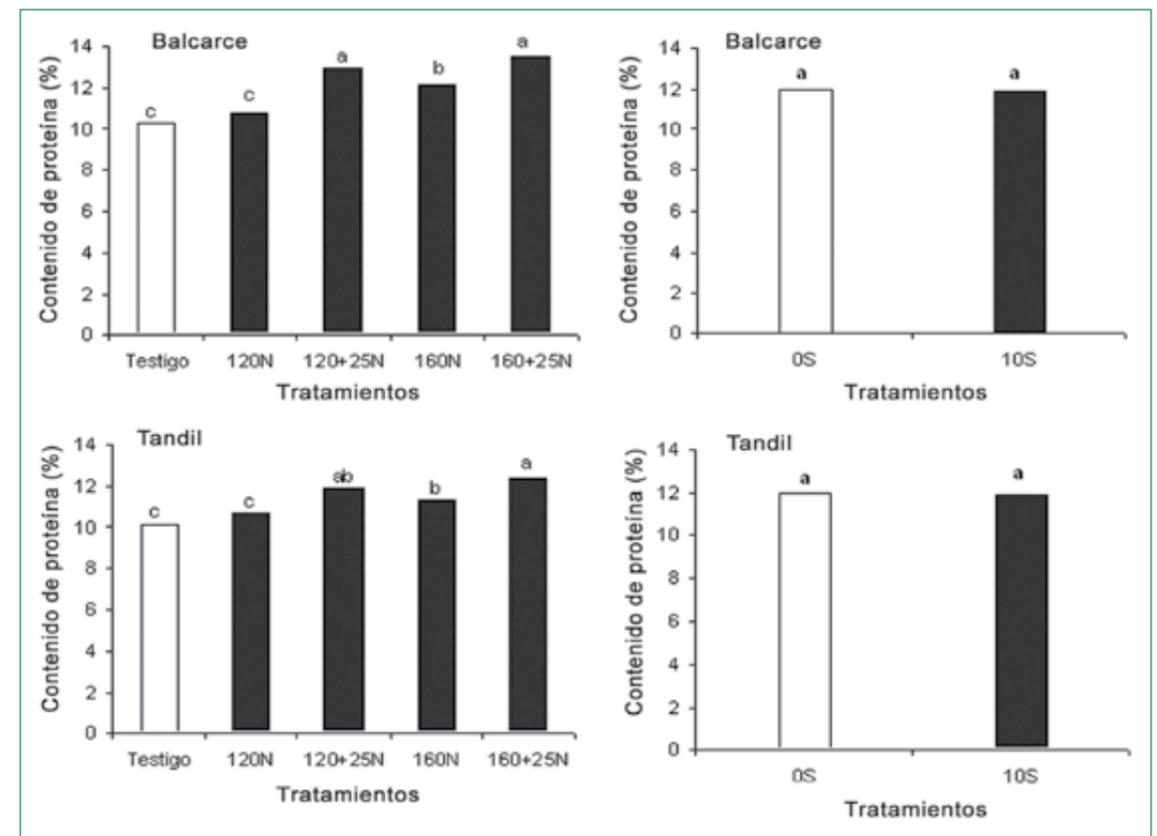


Figura 6. Contenido de proteína en grano de trigo para la campaña 2005 en función de la aplicación de N y S. Letras distintas indican la existencia de diferencia mínima significativa (LSD 0.05).