



## **Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos Región CREA Sur de Santa Fe**

### ***Resultados de la Campaña 2017/18: Trigo***

*Preparado por:*

*Adrián A. Correndo (IPNI Cono Sur), Paula Gelso (CREA Sur de Santa Fe),  
Franco Permingeat (CREA Teodelina) Santiago Gallo (Coordinador Zonal),  
Ricardo Pozzi (Asesor CREA San Jorge-Las Rosas), Matías Salinas  
(Agroservicios Pampeanos), Nahuel Reussi Calvo y Angel Berardo (Laboratorio  
Fertilab) y Fernando O. García (IPNI Cono Sur)*

En la campaña 2017/18, la región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con la colaboración de IPNI Cono Sur y el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP), continuó la Red de Ensayos de Nutrición de Cultivos iniciada en la campaña 2000/01. Los objetivos generales de la Red son:

1. Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación a la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) en diferentes ambientes de la región
2. Evaluar algunas metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada
3. Evaluar deficiencias y respuestas potenciales a otros nutrientes: potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn)
4. Conocer la evolución de los suelos bajo distintos esquemas de fertilización determinando índices relacionados con su calidad

En este informe se reportan los resultados observados en cinco ensayos de trigo en 2017/18, dos bajo rotación maíz-trigo/soja de segunda (M-T/Sj) y tres bajo rotación maíz-soja-trigo/soja de segunda (M-Sj-T/Sj). Los objetivos específicos para esta campaña fueron:

1. Evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada (directa y residual) y los siguientes métodos de diagnóstico: disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra, e índice de verdor (SPAD) en antesis.
2. Evaluar la respuesta a la fertilización fosfatada (residual) y el análisis de suelos en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
3. Evaluar la respuesta a la fertilización azufrada (directa y residual) y el análisis de S-sulfato en pre-siembra como método de diagnóstico.
4. Evaluar los rendimientos sin limitaciones nutricionales en cada uno de los sitios de experimentación.



5. Evaluar la evolución de parámetros de suelo: P<sub>Bray-1</sub>, N-nitrato y S-sulfato en tratamientos selectos.

Información de años anteriores de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe se puede encontrar en García et al. (2010) y en los sitios de Internet <http://www.aacrea.org.ar> y <http://Lacs.ipni.net>.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los cinco ensayos que se reportan en este informe se establecieron en lotes bajo siembra directa de varios años ubicados en establecimientos de grupos CREA de la región Sur de Santa Fe, en la provincia de Santa Fe, en la campaña 2000/01 (**Tabla 1**). Desde 2000/01, la rotación establecida es Mz-Tr/Sj para los sitios Balducchi (Teodelina) y San Alfredo (Santa Emilia), y Mz-Sj-Tr/Sj para los sitios La Blanca (Alejo Ledesma), La Hansa (Cañada de Gómez) y Lambaré (El Trébol). En todos los sitios, los seis tratamientos establecidos son similares y se disponen en un diseño en bloques completos con tres repeticiones, excepto en San Alfredo, que cuenta solo con dos réplicas. Los mismos se repiten anualmente siempre sobre las mismas parcelas. La cantidad de nutrientes y los fertilizantes aplicados a la siembra del trigo en la campaña 2017/18 se indican en la **Tabla 2**. Desde la campaña anterior, 2016/17, no se aplica P en las parcelas, dado los niveles registrados en las parcelas NPS, muy por encima de los niveles críticos en todos los sitios. El manejo general del cultivo (control de malezas, fecha de siembra, etc.) fue similar al manejo del lote de producción, utilizándose maquinaria del productor en todos los sitios.

En pre-siembra, se muestrearon tratamientos selectos en los tres bloques para determinar: P Bray, N-nitrato y S-sulfato a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm de profundidad, y N mineralizable como N-nitrato producido por incubación anaeróbica en 7 días (Nan) a 0-20 y 20-40 cm. Se tomaron veinte “piques” por muestra superficial y 10 “piques” por muestra subsuperficial. Se determinó el contenido de agua útil del suelo, de ser posible a 0-100 cm de profundidad, a la siembra, macollaje y madurez fisiológica en los tratamientos PS, NS, NP y NPS.

Al estado de antesis se determinó el índice de verdor utilizando un Minolta SPAD 502. En madurez fisiológica se determinó el número de espigas por m<sup>2</sup>. A cosecha se determinó el rendimiento, el número de espigas y el peso de mil granos. Los rendimientos reportados se han corregido al 14% de humedad. Con la información de peso de mil granos, se estimó el número de granos por m<sup>2</sup>. En todos los tratamientos se tomaron muestras de grano para evaluar la concentración de nutrientes (información no presentada).

A partir de la información de rendimientos se analizaron respuestas a la fertilización y se realizaron estimaciones de eficiencia de uso de recursos para los diferentes tratamientos. Considerando las precipitaciones registradas entre Junio y

Noviembre, se estimó la productividad del uso de agua (PA,  $\text{kg mm}^{-1}$ ). Como indicadores de eficiencia de uso de nutrientes se realizaron estimaciones de la productividad parcial del factor (PPF,  $\text{kg de grano producido por kg de nutriente aplicado}$ ) y el balance parcial del nutriente (BPN,  $\text{kg de nutriente exportado por kg de nutriente aplicado}$ ).

El análisis de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) y/o regresión, según corresponda, mediante diferentes paquetes estadísticos del software R (Hörmik et al., 2016). Los niveles críticos de nutrientes se estimaron mediante el método del arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2017) o el método Cate-Nelson (Cate y Nelson, 1965; 1971), utilizando Microsoft Excel 2016®.

## RESULTADOS

### *Análisis de suelos*

Los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra se muestran en la **Tabla 3** y la **Fig. 1**. En todos los sitios, se observaron efectos residuales de fertilizaciones fosfatadas anteriores en ambos sitios en los niveles de P Bray-1, especialmente en la capa superficial (0-20 cm). Para N-nitrato se observó residualidad debida la historia de fertilización nitrogenada en todos los sitios en todos los estratos evaluados. También se observó residualidad de aplicaciones anteriores de S en Lambaré y en San Alfredo.

La residualidad de N en el suelo en Balducchi y San Alfredo se observó especialmente en profundidad (**Fig. 1**). Esta residualidad de N en forma de nitrato, aunque representa mayor disponibilidad no es del todo positiva ya que implica potenciales pérdidas de N por lixiviación y/o desnitrificación. La cantidad de N-nitrato a la siembra depende de la capacidad del suelo de mineralizar N orgánico, los rendimientos y aplicaciones previas de N y las condiciones climáticas durante el período de barbecho. Las dosis de N deberían ajustarse para evitar estas pérdidas y aumentar la eficiencia de uso del nutriente. No obstante, en esta campaña (2017/18), el nivel de disponibilidad de N-nitrato ( $\text{kg ha}^{-1}$  a 0-60 cm) se ubicó por debajo de los niveles críticos para trigo en la región tanto en los tratamientos PS como en los NPS, en ambos sitios.

En los sitios bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj, La Blanca, La Hansa y Lambaré, la residualidad observada de N en las parcelas NPS respecto de las PS fue más elevada que en los sitios bajo rotación Mz-Tr/Sj. Así los niveles de disponibilidad de N observados a la siembra fueron altos en los tres sitios (entre 93 y 135  $\text{kg N ha}^{-1}$ ), mientras que en las parcelas PS varió entre 36 y 49  $\text{kg N ha}^{-1}$ .

Por otra parte, el Nan (como indicador del N mineralizable) no resultó discriminatorio entre las parcelas PS y NPS en ninguno de los sitios.

Comparativamente se registraron niveles menores en Balducchi respecto de San Alfredo tanto en 0-20 como en 20-40 cm de profundidad y en La Blanca también se observaron menores valores respecto de los sitios La Hansa y Lambaré (**Tabla 3**). Este comportamiento puede asociarse a que Balducchi posee una más prolongada historia agrícola y un estado general más degradado de la fertilidad del suelo respecto de San Alfredo.

En el caso de  $P_{\text{Bray-1}}$ , en todos los sitios la residualidad se observa principalmente en superficie, con diferencias (NPS vs NS) de +687%, +64%, +34% y +9% en Balducchi, de +535%, +67%, +7% y +25% en San Alfredo, de +244%, +177%, y +156% en La Blanca, de +404%, +290%, +301% y +150% en La Hansa, y de de +164%, +73%, +29% y +22% en Lambaré, a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm, respectivamente. En cuanto a la evolución de P en el suelo, el  $P_{\text{Bray-1}}$  (0-20 cm) en el tratamiento NPS mostró una clara tendencia de aumento a lo largo de las 18 campañas (**Fig. 2**), principalmente en los sitios con bajo P inicial (Balducchi, San Alfredo y La Blanca), a partir del aporte que se hizo hasta 2015/16 con dosis de P que cubren la extracción en grano más el 5-10%. En contraste, en el tratamiento NS, el  $P_{\text{Bray-1}}$  mostró una tendencia de disminución, especialmente en los suelos con alto P inicial (La Hansa y Lambaré). En esta campaña (2017/18), los niveles de  $P_{\text{Bray-1}}$  de los tratamientos NS fueron menores que los considerados críticos para trigo excepto en Lambaré, mientras que en los tratamientos NPS, los niveles de  $P_{\text{Bray-1}}$  fueron superiores a los niveles críticos.

Las diferencias en  $P_{\text{Bray-1}}$  entre los tratamientos NPS y NS se deben tanto a los efectos residuales de las aplicaciones de P en el tratamiento NPS como a la extracción diferencial de P en grano para ambos tratamientos. Los efectos residuales se observaron desde los primeros años para P, y se confirma en estas últimas dos campañas donde ya no se aplica el nutriente. Las residualidades de este nutriente son positivas desde el punto de vista de la mejora de los niveles de P Bray en los suelos, y demuestran la posibilidad de manejar estrategias de fertilización de subir y mantener el  $P_{\text{Bray-1}}$  en estos suelos. Es interesante destacar que, como es de esperar, la residualidad se manifiesta fundamentalmente en los primeros 20 cm pero también se verifica a profundidades mayores. Este efecto probablemente se deba a la movilización de P por las raíces de las plantas a través de los años de ensayos. Dado que los niveles de  $P_{\text{Bray-1}}$  del tratamiento NPS aun se encuentran muy por arriba de los niveles críticos, en la próxima campaña 2018/19 se continuará sin la aplicación de P en esos tratamientos.

Para S-sulfato, la residualidad fue moderada en Lambare y San Alfredo y no se observaron diferencias entre NP y NPS en los otros tres sitios. En todos los sitios, en todos los estratos, los niveles de S-sulfato (0-20 cm) se ubicaron por debajo de los 8 mg kg<sup>-1</sup>, umbral crítico estimado en este misma red de ensayos.

### ***Respuestas a la fertilización en rendimiento***

Las precipitaciones registradas variaron entre 301 y 435 mm durante todo ciclo de cultivo (**Tabla 1**). La distribución de las mismas, mostró una tendencia hacia los meses de Septiembre-Octubre-Noviembre, por lo que los períodos críticos tuvieron buena provisión de agua. Los contenidos de agua a la siembra registraron perfiles (0-100 cm) prácticamente en capacidad de campo en todos los casos. Esta combinación resultó en adecuada disponibilidad de agua para los trigos que se tradujo en altos rendimientos en todos los sitios.

En la rotación Mz-Tr/Sj, en Balducchi, se alcanzaron muy buenos rendimientos con los tratamientos NPS y Completo, muy cercanos a los 5000 kg ha<sup>-1</sup>, similares a los alcanzados en las campañas 2003/04, 2005/06 y 2007/08 (**Tabla 4a, Fig. 4a**). En San Alfredo, se lograron rendimientos también altos, alcanzando 5561 kg ha<sup>-1</sup> con NPS. En la rotación Mz-Sj-Tr/Sj, en La Blanca, se alcanzaron rendimientos record para el sitio, logrando con los tratamientos NPS y Completo, alrededor de 5900 kg ha<sup>-1</sup>, (**Tabla 4b, Fig. 4b**). En La Hansa, fueron un poco más bajos, pero con un pico de 4808 kg ha<sup>-1</sup> con el tratamiento Completo. Por su parte, en Lambaré, los rendimientos también fueron record histórico para el sitio, logrando un máximo rendimiento de 6305 kg ha<sup>-1</sup> con el tratamiento Completo.

Las respuestas a N fueron más elevadas en los sitios bajo rotación Mz-Tr/Sj (**Tabla 4b**), con una respuesta promedio de 2695 kg ha<sup>-1</sup> en comparación con un promedio de 852 kg ha<sup>-1</sup> en los sitios bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj (**Tabla 4a**). Esto puede relacionarse a un efecto antecesor, que incluso se observó en mayores niveles de disponibilidad inicial de N bajo Mz-Sj-Tr/Sj. Por otra parte, la respuesta a P también resultó más elevada en Balducchi y San Alfredo, con un promedio de 1532 kg ha<sup>-1</sup>, vs una respuesta promedio de 663 kg ha<sup>-1</sup> en los sitios bajo Mz-Sj-Tr/Sj. La respuesta a S, aunque significativa en ambos sitios bajo Mz-Tr/Sj, resultó más alta en San Alfredo (858 kg ha<sup>-1</sup>) respecto de Balducchi (345 kg ha<sup>-1</sup>). En los sitios bajo Mz-Sj-Tr/Sj, las respuestas a S no fueron significativas en ninguno de los sitios, aunque en Lambaré se registró 1008 kg ha<sup>-1</sup> de respuesta, que no fue significativa debido a una alta variabilidad. En cuanto a las combinaciones de nutrientes (PS, NS, NPS, NPS), prácticamente resultaron en respuestas significativas en todos los casos respecto de los tratamientos Testigo, con respuestas máximas de hasta 3165 kg ha<sup>-1</sup>.

En cuanto a los componentes de rendimiento, los efectos más marcados de los tratamientos fueron sobre el número de granos, en menor medida sobre el número de espigas, y no así sobre el peso de los granos (**Tabla 5**). De tal forma, el rendimiento se relacionó estrechamente con número de granos por m<sup>2</sup> (R<sup>2</sup> = 0.87) y, en menor medida, con el número de espigas por m<sup>2</sup> (R<sup>2</sup> = 0.35) y no se relacionó con el PG (R<sup>2</sup>=0.02) (**Fig. 5**).

En la rotación Mz-Tr/Sj, las productividades de uso de agua de lluvia (PA) variaron entre 3.7 a 6.6 y 10.8 a 14.3 kg trigo ha<sup>-1</sup> mm lluvia<sup>-1</sup>, para los tratamientos Testigo y NPS, respectivamente (**Fig. 6a**). Por su parte, en la rotación Mz-Sj-Tr/Sj,

las PA variaron entre 8.9 a 12.0 y 13.5 a 19.4 kg trigo ha<sup>-1</sup> mm lluvia<sup>-1</sup>, en La Blanca y San Alfredo para los tratamientos Testigo y NPS, respectivamente (**Fig. 6b**). Comparativamente, estas eficiencias fueron más bajas en la rotación Mz-Tr/Sj respecto de Mz-Sj-Tr/Sj dadas las lluvias aproximadamente 100 mm menores en la rotación larga y rendimientos similares, incluso algo superiores en los sitios de esta última rotación.

Referido a la eficiencia de uso de los nutrientes (**Tabla 6**), a modo de referencia, la PPN de trigo a nivel nacional se ha estimado en 48 kg de grano por kg de N aplicado (García, 2009). Considerando los cinco sitios, solo registraron PPN iguales o superiores al promedio nacional en los tratamientos NPS y/o Completo. En cuanto a los BPN, el promedio nacional es de 0.86 kg de N extraído por kg de N aplicado, y en los ensayos varió entre 0.55 y 1.13, con valores más neutros o positivos en los tratamientos NPS y/o Completo. Los valores más bajos se registraron en Balducchi, mientras que los más altos se registraron en La Blanca y Lambaré, dado los mayores rendimientos logrados en estos últimos, donde los BPN fueron incluso superiores a 1 en los tratamientos NPS y Completo, indicando balances negativos de N para el suelo (extracción superior a la aplicación).

### ***Relación entre variables de suelo-planta y rendimientos***

A continuación, se discuten algunas relaciones significativas entre las variables de suelo y planta, y las respuestas a los nutrientes. En todos los casos se evalúan las relaciones para las 12 campañas con información de trigo de la Red de Nutrición, incluyendo cinco sitios en el 2001/02 y 2003/04, seis sitios de la campaña 2002/03, nueve sitios en la campaña 2005/06, tres sitios en la campaña 2007/08, tres sitios 2008/09, dos sitios 2009/10, cinco sitios 2011/12, dos sitios en 2013/14, tres sitios en 2014/15, dos sitios en 2015/16 y cinco en 2017/18 (n=50).

Se estimaron relaciones significativas entre la disponibilidad de N a la siembra (N-nitrato en el suelo a la siembra, 0-60 cm de profundidad, + N fertilizante) y el rendimiento absoluto y relativo (**Fig. 7, Fig. 8**). Para rendimiento absoluto, el mejor modelo se logró dividiendo el set completo en tres clases de rendimiento máximo: i) < 3 t ha<sup>-1</sup>, ii) 3-5 t ha<sup>-1</sup>, y iii) > 5 t ha<sup>-1</sup>. Así, para rendimientos máximos < 3 t ha<sup>-1</sup>, la relación fue de tipo lineal con una tasa de respuesta baja (3.41 kg trigo kg N<sup>-1</sup>). Para rendimientos máximos entre 3 a 5 t ha<sup>-1</sup>, la relación fue de tipo lineal-plateau, con un umbral de 130 kg N ha<sup>-1</sup> para el logro de 3.9 t ha<sup>-1</sup>. Para rendimientos máximos mayores a 5 t ha<sup>-1</sup>, la relación fue de tipo lineal con una tasa de respuesta de 13.9 kg trigo kg N disponible<sup>-1</sup> que marcaría una eficiencia promedio de 72 kg N por tonelada de trigo.

Mediante la utilización de rendimiento relativo (RR, %) y N en el suelo a la siembra (Ns, 0-60 cm) como variables, el mejor modelo de calibración para N se obtuvo mediante la división del set de datos en dos clases de rendimientos

máximos: i)  $< 4 \text{ t ha}^{-1}$ , y ii)  $> 4 \text{ t ha}^{-1}$ . Así, para rendimientos máximos  $< 4 \text{ t ha}^{-1}$  se precisó un umbral de  $121 \text{ kg N ha}^{-1}$ , con un intervalo de confianza entre  $110$  y  $134 \text{ kg N ha}^{-1}$ , para el logro del 95% del RR. Mientras que para rendimientos mayores a  $> 4 \text{ t ha}^{-1}$ , el umbral fue de  $171 \text{ kg N ha}^{-1}$ , con un intervalo de confianza entre  $124$  y  $220 \text{ kg N ha}^{-1}$ , también para el logro del 95% del RR.

La fertilización nitrogenada y azufrada incrementó el índice de verdor (SPAD Minolta 502) en antesis en todos los sitios, excepto en Lambaré, donde no se observaron diferencias de lectura entre tratamientos (**Tabla 7**).

Para el caso de P, si consideramos los 50 sitios-año de las doce campañas de trigo, la relación entre el rendimiento relativo sin aplicación de P (rendimiento tratamiento NS:rendimiento tratamiento NPS) y la concentración de P Bray-1 (**Fig. 9**) indica un nivel crítico de  $18 \text{ mg kg}^{-1}$  para obtener el 90% del rendimiento relativo, con un intervalo de confianza al 95% entre  $15$  y  $21 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Por otra parte, la respuesta a S se correlacionó con la concentración de S-sulfato a  $0\text{-}20 \text{ cm}$  (**Fig. 10**), no así con la disponibilidad a  $0\text{-}60 \text{ cm}$  (datos no mostrados). En función de dicha relación se estimó un nivel crítico entre  $6$  y  $8 \text{ mg S kg}^{-1}$  para obtener el 95% del rendimiento relativo. Cabe destacar que, en general, los niveles de S-sulfato en superficie ( $0\text{-}20 \text{ cm}$ ) a la siembra son consistentemente bajos, menores de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ . Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar metodologías complementarias basadas en el análisis de planta o grano con el fin de poder diagnosticar mejor la deficiencia de S en el cultivo de trigo.

## CONCLUSIONES

1. Los análisis de suelos realizados en pre-siembra mostraron efectos residuales significativos de fertilizaciones de campañas anteriores para  $P_{\text{Bray-1}}$  y, en menor medida, para los contenidos de N-nitrato y S-sulfato.
2. En los sitios bajo rotación Mz-Tr/Sj, Balducci y San Alfredo, respectivamente, la respuesta a N fue de 120% y 103%, la respuesta a P de 54% y 36% y la respuesta a S de 8% y 20%. En los sitios bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj, La Blanca, La Hansa y Lambaré, respectivamente, la respuesta a N fue de 25%, 6% y 25%, la respuesta a P de 16%, 4% y 22%, y la respuesta a S de 1%, 4% y 21%.
3. Luego de diecisiete años en la rotación Mz-Tr/Sj (25 cultivos), en la decimo-octava campaña, los niveles de rendimiento de trigo de los tratamientos Testigo muestran el agotamiento de las reservas de N, P y S de los suelos, con respuestas entre: +7% y +14% a la aplicación de PS, 38% a 51% a la aplicación de NS, +69 y +72% a la aplicación de NP, y entre +81% y +99% a la aplicación de NPS.
4. Luego de diecisiete años en la rotación Mz-Sj-Tr/Sj (22 cultivos), en la decimo-octava campaña, los niveles de rendimiento de trigo de los tratamientos Testigo

muestran el agotamiento de las reservas de N, P y S de los suelos, con respuestas entre: +23% y +74% a la aplicación de PS, +30% a +79% a la aplicación de NS, +30 y +81% a la aplicación de NP, y entre +34% y +118% a la aplicación de NPS.

5. La productividad de uso de agua (PA) se incrementó de forma marcada cuando se eliminaron las deficiencias de N, P y/o S, registrando entre 3.4 a 12.0 kg trigo  $\text{mm}^{-1}$  para el Testigo y entre 11.3-20.9 kg  $\text{mm}^{-1}$  para el tratamiento Completo.
6. Según las relaciones observadas entre el rendimiento y la disponibilidad de N en suelo a la siembra (N suelo + N fertilizante), disponibilidades de alrededor de 130 kg  $\text{ha}^{-1}$  permitirían alcanzar rendimientos aproximados de 3900 kg  $\text{ha}^{-1}$ . Con potenciales de rendimiento mayores a 5 t  $\text{ha}^{-1}$ , las necesidades de N se incrementarían a más de 150 kg N  $\text{ha}^{-1}$  a razón de casi 72 kg N por tonelada adicional.
7. Se observaron relaciones significativas entre el rendimiento relativo y el nivel de  $\text{N-NO}_3^-$  en suelo a la siembra. Con rendimientos máximos de hasta 4000 kg  $\text{ha}^{-1}$ , se necesitaron entre 110 y 134 kg de N en el suelo a la siembra; mientras que para rendimientos potenciales de más de 4000 kg  $\text{ha}^{-1}$ , la necesidad ascendió a un rango de entre 124 y 220 kg de N en el suelo.
8. Los sitios-años con niveles de P Bray-1 (0-20 cm) menores de 15 mg  $\text{kg}^{-1}$  presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 21 mg  $\text{kg}^{-1}$  de P Bray, la probabilidad de respuesta disminuye marcadamente.
9. La respuesta la fertilización azufrada se correlacionó con el nivel de S-sulfato a la siembra a 0-20 cm (ppm). En función de dicha relación se estimó un nivel crítico aproximado entre 6 y 8 mg S  $\text{kg}^{-1}$  para obtener el 95% del rendimiento relativo.

### **Agradecimientos**

- A todos los asesores, productores y personal de los establecimientos que implantaron los ensayos y participan en este proyecto.
- A *Agroservicios Pampeanos (ASP)* por su continuo apoyo para la realización de esta Red.

### **Referencias**

- Correndo, A.A., F. Salvagiotti, F.O. García, y F.H. Gutiérrez-Boem. 2017. A modification of the arcsine-log calibration curve for analysing soil test value-relative yield relationships. *Crop & Pasture Science* 68 (3):297-304. <http://doi.org/10.1071/CP16444>
- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo y N. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. AACREA. 64 pp. ISBN 978-987-1513-07-9.



**Tabla 1a.** Información de manejo y de sitio, lámina de agua en el suelo a la siembra y precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Rotación M-T/Sj. Campaña 2017/18.

<b>Establecimiento</b>	<b>Balducchi</b>	<b>San Alfredo</b>
<b>CREA</b>	Teodelina	Santa Isabel
<b>Serie Suelo</b>	Santa Isabel	Hughes
<b>Labranza</b>	Siembra directa	
<b>Años agricultura</b>	+ 60	15
<b>Rotación</b>	M-T/S	
<b>Antecesor</b>	Maíz	
<b>Variedad</b>	¿?	Klein Rayo
<b>Fecha de siembra</b>	¿?/??/2017	04/07/2017
<b>Densidad lograda (pl m<sup>-2</sup>)</b>	sd	sd
<b>Distancia entre surcos (cm)</b>	sd	sd
<b>Fecha de Cosecha</b>	¿?/12/2017	07/12/2017
<b>Lámina de agua útil a la siembra (mm) (0-100 cm)</b>	121	-
<b>Precipitaciones (mm)</b>		
<b>Abril</b>	265	
<b>Mayo</b>	127	142
<b>Junio</b>	22	32
<b>Julio</b>	36	21
<b>Agosto</b>	75	77
<b>Septiembre</b>	168	116
<b>Octubre</b>	88	88
<b>Noviembre</b>	46	48
<b>Junio-Noviembre</b>	435	382

**Tabla 1b.** Información de manejo y de sitio, lámina de agua en el suelo a la siembra y precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Rotación M-Sj-T/Sj. Campaña 2017/18.

<b><i>Establecimiento</i></b>	<b><i>La Blanca</i></b>	<b><i>La Hansa</i></b>	<b><i>Lambaré</i></b>
<b>CREA</b>	Gral. Baldissera	Armstrong-M. de Oca	Las Rosas
<b>Serie Suelo</b>	La Bélgica	Bustinza	El Trébol
<b>Labranza</b>	Siembra directa		
<b>Años agricultura</b>	12	+20	6
<b>Rotación</b>	Mz-Sj-Tr/Sj		
<b>Antecesor</b>	Soja de primera		
<b>Variiedad</b>	Algarrobo	Buck Claras	Algarrobo
<b>Fecha de siembra</b>	09/06/2017	19/07/2017	20/06/2017
<b>Densidad lograda (pl m<sup>-2</sup>)</b>	-	-	-
<b>Distancia entre surcos (cm)</b>	-	-	-
<b>Fecha de Cosecha</b>	06/12/2017	06/12/2017	07/12/2017
<b>Lámina de agua a la siembra (mm) (0-100 cm)</b>	102	151	142
<b><i>Precipitaciones (mm)</i></b>			
<b>Abril</b>	-	-	-
<b>Mayo</b>	74	26	0
<b>Junio</b>	27	26	10
<b>Julio</b>	18	19	6
<b>Agosto</b>	20	43	19
<b>Septiembre</b>	58	131	114
<b>Octubre</b>	50	48	71
<b>Noviembre</b>	74	61	81
<b><i>Junio-Noviembre</i></b>	<b><i>321</i></b>	<b><i>306</i></b>	<b><i>301</i></b>

**Tabla 2.** Tratamientos de fertilización establecidos en trigo en los cinco sitios. Región CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
<b>Fertilizante (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
FMA (11-23-0)						
Urea (46-0-0)			180	180	180	180
Azufertil (19%)		110	110		110	110
Oxido de magnesio (36%)						40
Cloruro de potasio						50
B10						10
Zn 40						5
Cu25						8
<b>Fertilizante total (kg/ha)</b>	<b>0</b>	<b>110</b>	<b>290</b>	<b>180</b>	<b>290</b>	<b>403</b>
<b>Nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
N			101	101	101	101
P						
K						25
Mg						14
S		21	21		21	21
B						1
Zn						2
Cu						2
Cl						23

**Tabla 3.** Análisis de suelo previo a la siembra del trigo en los cinco sitios experimentales. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>	S-SO <sub>4</sub>	Nan
		ppm	ppm	kg ha <sup>-1</sup>	ppm	kg ha <sup>-1</sup>	ppm
		0-20 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20/20-40 cm
Balducchi	PS	-	7	33	-	-	28/9
	NS	5	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	6	37	-
	NPS	38	8	42	4	32	26/10
San Alfredo	PS	-	9	48	-	-	52/32
	NS	6	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	4	33	-
	NPS	39	9	61	6	42	41/34
La Blanca	PS	-	8	45	-	-	39
	NS	8	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	5	11	-
	NPS	26	19	119	5	12	34
La Hansa	PS	-	9	49	-	-	59/16
	NS	8	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	4	34	-
	NPS	41	25	135	4	50	57/16
Lambaré	PS	-	7	36	-	-	64/17
	NS	19	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	6	34	-
	NPS	51	18	93	7	50	53/19

**Tabla 4a.** Rendimientos de trigo para los seis tratamientos evaluados y respuestas a diferentes combinaciones de N, P, S y otros nutrientes en los dos ensayos. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Sitios Rotación M-T/Sj. Trigo. Campaña 2017/18.

TRATAMIENTO	M-T/S		
	Balducchi	San Alfredo	Promedio
	<i>Rendimientos<sup>#</sup> (kg ha<sup>-1</sup>)</i>		
Testigo	1588 a	2522 e	2055
PS	2135 b	2733 e	2434
NS	3040 c	4075 d	3558
NP	4351 d	4624 c	4488
NPS	4697 e	5561 a	5129
Completo	4924 e	5066 b	4995
DMS (5%)	330	289	-
NUTRIENTE	<i>Respuestas (kg ha<sup>-1</sup>)</i>		
N	2562*	2749*	2695
P	1657*	1406*	1532
S	345*	858*	602
PS	547*	211	379
NS	1452*	1554*	1503
NP	2763*	2102*	2433
NPS	3109*	2960*	3035
Otros <sup>##</sup>	228	-672*	-222

<sup>#</sup>Rendimientos seguidos por letras diferentes, en cada sitio, no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. <sup>##</sup>Otros incluye K, Mg y Zn.

**Tabla 4b.** Rendimientos de trigo para los seis tratamientos evaluados y respuestas a diferentes combinaciones de N, P, S y otros nutrientes en los dos ensayos. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Sitios Rotación M-Sj-T/Sj. Trigo. Campaña 2017/18.

TRATAMIENTO	M-S-T/S			
	La Blanca	La Hansa	Lambare	Promedio
	<i>Rendimientos<sup>#</sup> (kg ha<sup>-1</sup>)</i>			
Testigo	3846 a	3066 a	2680 a	3198
PS	4717 b	3903 b	4671 b	4430
NS	5074 bc	3977 b	4808 bc	4620
NP	5828 cd	3977 b	4837 bc	4881
NPS	5880 d	4122 bc	5845 cd	5282
Completo	5905 d	4808 c	6305 d	5673
DMS (5%)	804	777	1068	-
NUTRIENTE	<i>Respuestas (kg ha<sup>-1</sup>)</i>			
N	1163*	219	1174*	852
P	806*	145	1037	663
S	52	145	1008	402
PS	871*	837*	1991*	1233
NS	1228*	911*	2128*	1422
NP	1981*	911*	2158*	1683
NPS	2034*	1055*	3165*	2085
Otros <sup>##</sup>	25	686	460	391

**Tabla 5.** Componentes de rendimiento de trigo (Espigas por m<sup>2</sup>, Granos por espiga, Granos por m<sup>2</sup> y Peso mil granos) para los seis tratamientos evaluados en los dos ensayos. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

Ensayo	Tratamiento	Espigas m <sup>-2</sup>	NG m <sup>-2</sup>	PMIL (g)
<b>Balducchi</b>	Testigo	378 <sup>e</sup>	5022 <sup>c</sup>	32 <sup>d</sup>
	PS	404 <sup>d</sup>	5708 <sup>c</sup>	37 <sup>b</sup>
	NS	458 <sup>c</sup>	8697 <sup>b</sup>	34 <sup>c</sup>
	NP	565 <sup>b</sup>	12178 <sup>a</sup>	37 <sup>b</sup>
	NPS	586 <sup>a</sup>	12370 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>
	Completo	589 <sup>a</sup>	13030 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>
	DMS (5%)	15	1010	1.29
<b>San Alfredo</b>	Testigo	350 <sup>c</sup>	6245 <sup>d</sup>	38 <sup>a</sup>
	PS	346 <sup>c</sup>	7098 <sup>d</sup>	39 <sup>a</sup>
	NS	448 <sup>ab</sup>	10520 <sup>c</sup>	39 <sup>a</sup>
	NP	404 <sup>bc</sup>	12486 <sup>b</sup>	36 <sup>a</sup>
	NPS	526 <sup>a</sup>	14438 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>
	Completo	459 <sup>ab</sup>	12508 <sup>b</sup>	39 <sup>a</sup>
	DMS (5%)	68	622	2.81
<b>La Blanca</b>	Testigo	375 <sup>c</sup>	-	-
	PS	438 <sup>c</sup>	-	-
	NS	449 <sup>bc</sup>	-	-
	NP	587 <sup>a</sup>	-	-
	NPS	558 <sup>a</sup>	-	-
	Completo	539 <sup>ab</sup>	-	-
	DMS (5%)	92	-	-
<b>La Hansa</b>	Testigo	473 <sup>b</sup>	10150 <sup>c</sup>	28 <sup>b</sup>
	PS	538 <sup>a</sup>	13846 <sup>ab</sup>	29 <sup>ab</sup>
	NS	579 <sup>a</sup>	14431 <sup>ab</sup>	28 <sup>b</sup>
	NP	451 <sup>b</sup>	14019 <sup>ab</sup>	29 <sup>ab</sup>
	NPS	562 <sup>a</sup>	12338 <sup>bc</sup>	29 <sup>ab</sup>
	Completo	573 <sup>a</sup>	16128 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>
	DMS (5%)	58	3661	1.48
<b>Lambaré</b>	Testigo	448 <sup>b</sup>	9190 <sup>c</sup>	32 <sup>bc</sup>
	PS	487 <sup>ab</sup>	13708 <sup>bc</sup>	34 <sup>ab</sup>
	NS	505 <sup>a</sup>	15794 <sup>ab</sup>	31 <sup>c</sup>
	NP	501 <sup>a</sup>	13376 <sup>bc</sup>	34 <sup>a</sup>
	NPS	532 <sup>a</sup>	17677 <sup>ab</sup>	32 <sup>abc</sup>
	Completo	497 <sup>ab</sup>	19830 <sup>a</sup>	32 <sup>abc</sup>
	DMS (5%)	51	5991	1.82

# Valores seguidos por letras diferentes, en cada sitio, no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

**Tabla 6.** Estimaciones de indicadores de eficiencia de uso de N para los tratamientos de fertilización en los dos sitios. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

<b>Ensayo</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>PPFN</b>	<b>BPN<sup>#</sup></b>	<b>PPFS</b>	<b>BPS<sup>#</sup></b>
		<i>kg trigo kg N ap<sup>-1</sup></i>	<i>kg N ext kg N ap<sup>-1</sup></i>	<i>kg trigo kg S ap<sup>-1</sup></i>	<i>kg S ext kg S ap<sup>-1</sup></i>
<b>Balducchi</b>	PS	-	-	102	0.15
	NS	30	0.55	145	0.22
	NP	43	0.78	-	-
	NPS	47	0.84	224	0.34
	Completo	49	0.88	234	0.35
<b>San Alfredo</b>	PS	-	-	130	0.20
	NS	40	0.73	194	0.29
	NP	46	0.83	-	-
	NPS	55	1.00	265	0.40
	Completo	50	0.91	241	0.36
<b>La Blanca</b>	PS	-	-	225	0.34
	NS	50	0.91	242	0.36
	NP	58	1.05	-	-
	NPS	58	1.05	280	0.42
	Completo	58	1.06	281	0.42
<b>La Hansa</b>	PS	-	-	186	0.28
	NS	39	0.71	189	0.29
	NP	39	0.71	-	-
	NPS	41	0.74	196	0.30
	Completo	48	0.86	229	0.35
<b>Lambare</b>	PS	-	-	222	0.34
	NS	48	0.86	229	0.35
	NP	48	0.87	-	-
	NPS	58	1.05	278	0.42
	Completo	62	1.13	300	0.45

<sup>#</sup> Para la estimación del balance parcial de nitrógeno nutrientes se consideraron concentraciones de N en grano de 1.81%.

**Tabla 7a.** Valores de SPAD de hoja bandera en antesis. Rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

Ensayo	Tratamiento	SPAD Antesis
<b>Balducchi</b>	PS	30 <sup>c</sup>
	NS	38 <sup>a</sup>
	NP	34 <sup>b</sup>
	NPS	40 <sup>a</sup>
	DMS (5%)	3.2
<b>San Alfredo</b>	PS	32 <sup>c</sup>
	NS	42 <sup>a</sup>
	NP	40 <sup>a</sup>
	NPS	39 <sup>a</sup>
	DMS (5%)	3.8

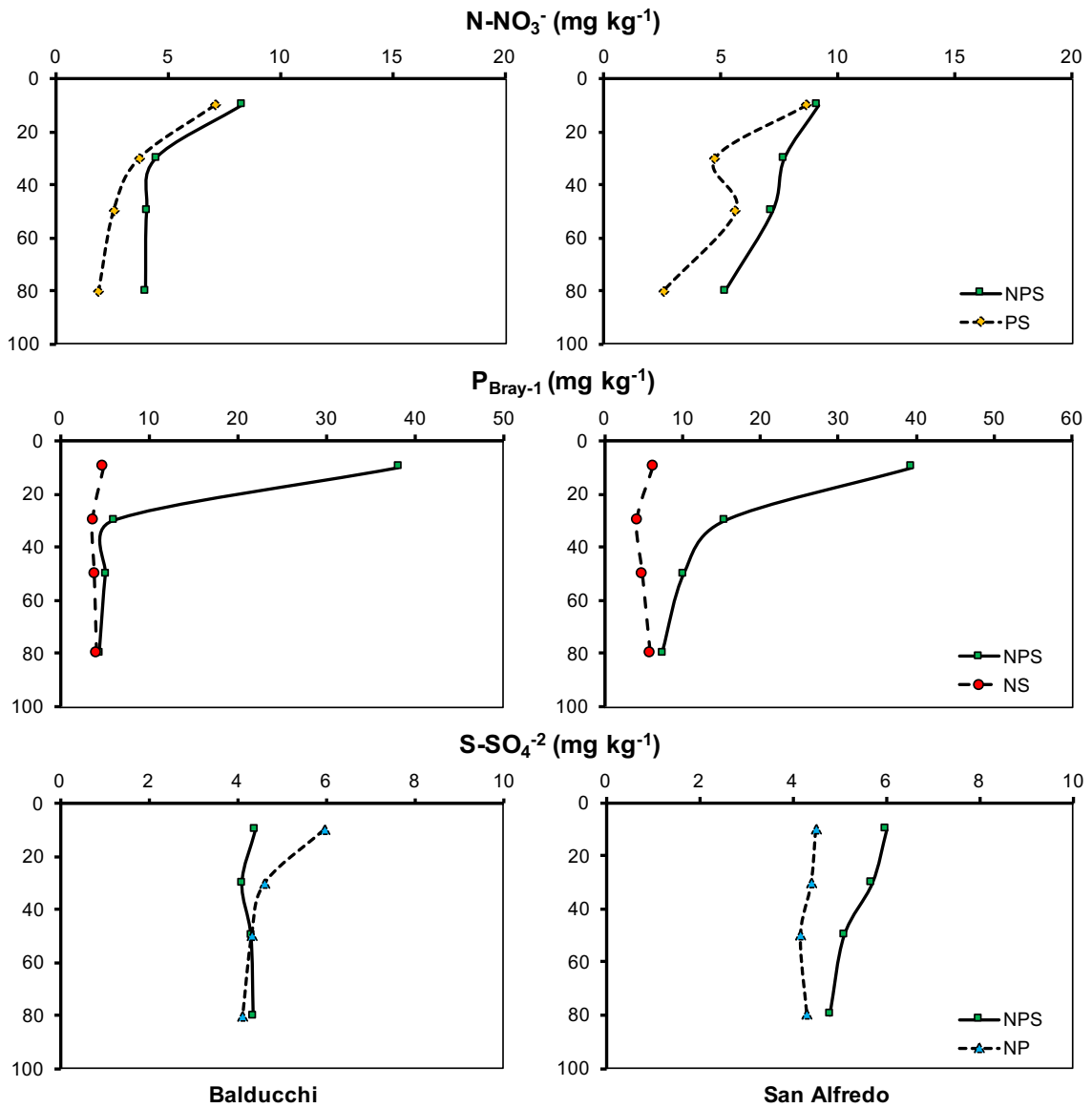
# Valores seguidos por letras diferentes, en cada sitio, no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

**Tabla 7b.** Valores de SPAD de hoja bandera en antesis. Rotación M-S-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

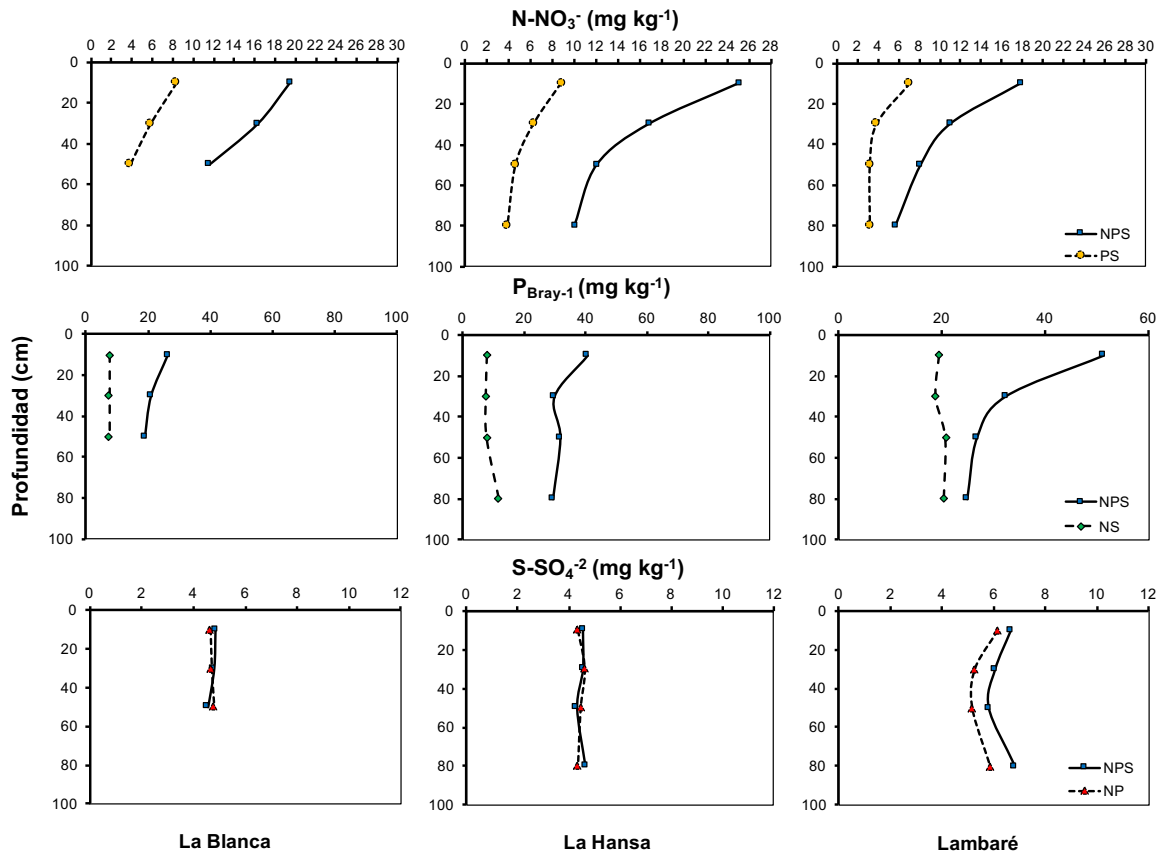
Ensayo	Tratamiento	SPAD Antesis
<b>La Blanca</b>	PS	42 <sup>c</sup>
	NS	49 <sup>a</sup>
	NP	46 <sup>b</sup>
	NPS	48 <sup>ab</sup>
	DMS (5%)	2.3
<b>La Hansa</b>	PS	22 <sup>b</sup>
	NS	29 <sup>a</sup>
	NP	27 <sup>a</sup>
	NPS	29 <sup>a</sup>
	DMS (5%)	4.5
<b>Lambaré</b>	PS	45 <sup>a</sup>
	NS	46 <sup>a</sup>
	NP	45 <sup>a</sup>
	NPS	45 <sup>a</sup>
	DMS (5%)	2.2

# Valores seguidos por letras diferentes, en cada sitio, no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.





**Fig. 1a.** Distribución de la concentración de  $N-NO_3^-$ ,  $P_{Bray-1}$  y  $S-SO_4^{2-}$  a 0-100 cm en pre-siembra para tratamientos selectos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación Mz-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.



**Fig. 1b.** Distribución de la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P<sub>Bray-1</sub> y S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> a 0-100 cm en pre-siembra para tratamientos selectos en los sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré. Rotación Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

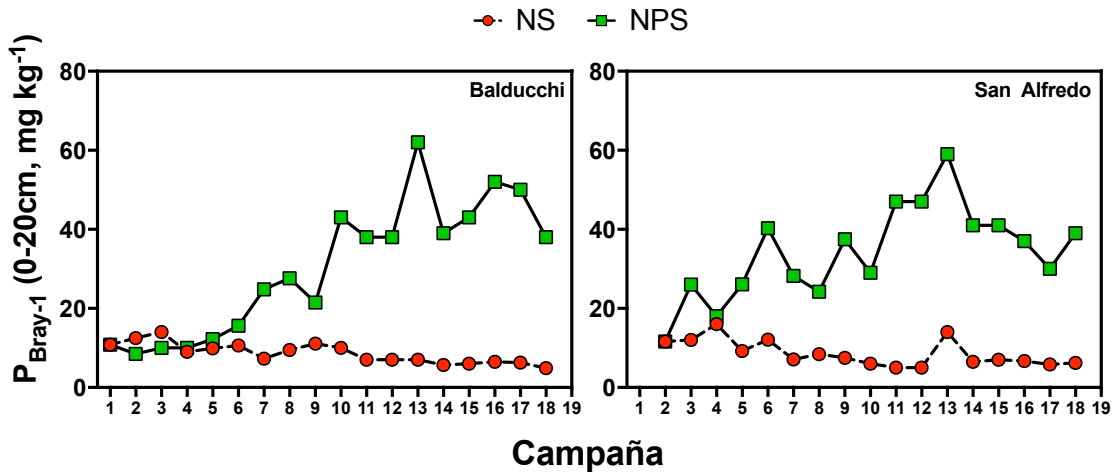


Fig. 2a. Evolución de P Bray (0-20 cm), desde el establecimiento de los ensayos bajo rotacion Mz-Tr/Sj, en los tratamientos NS y NPS. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 18(2017/18).

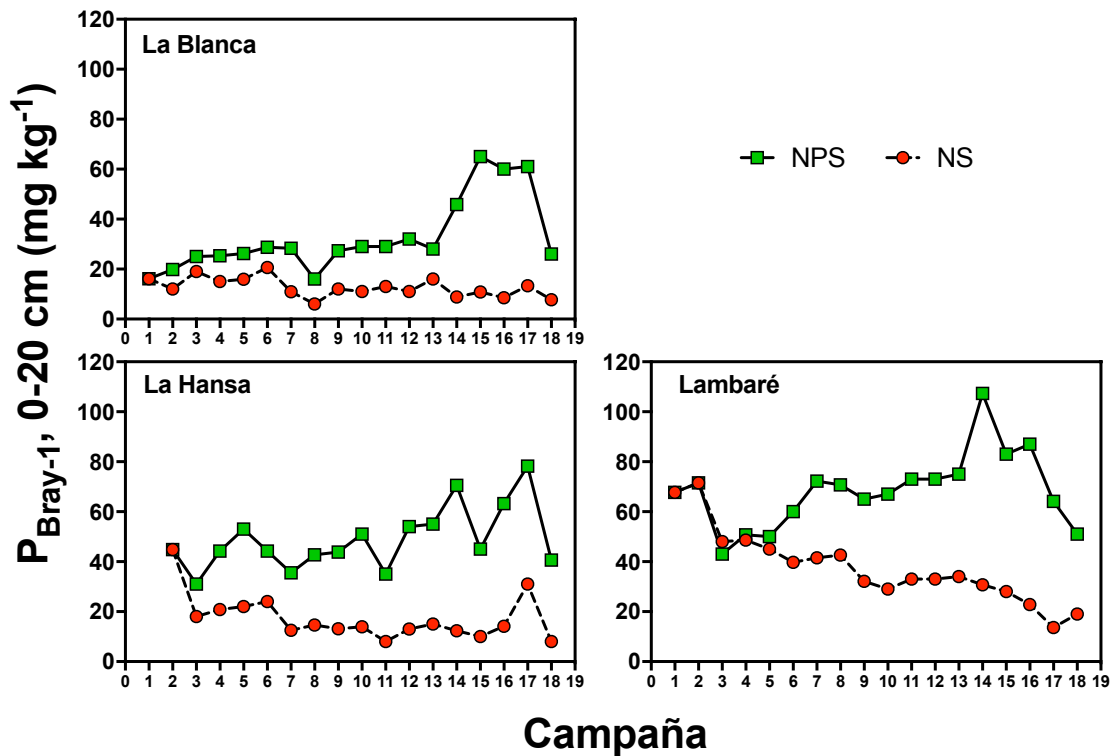
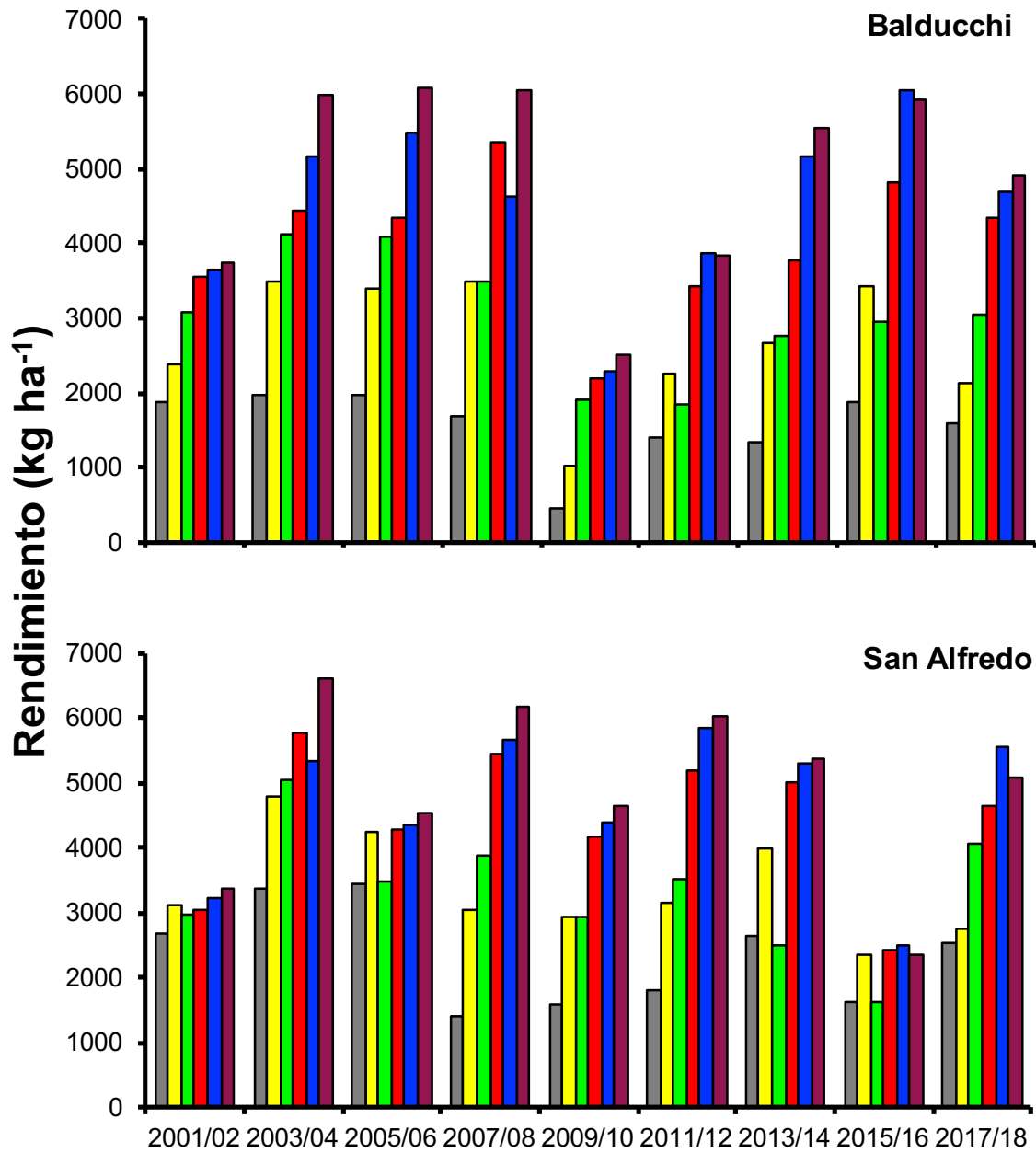
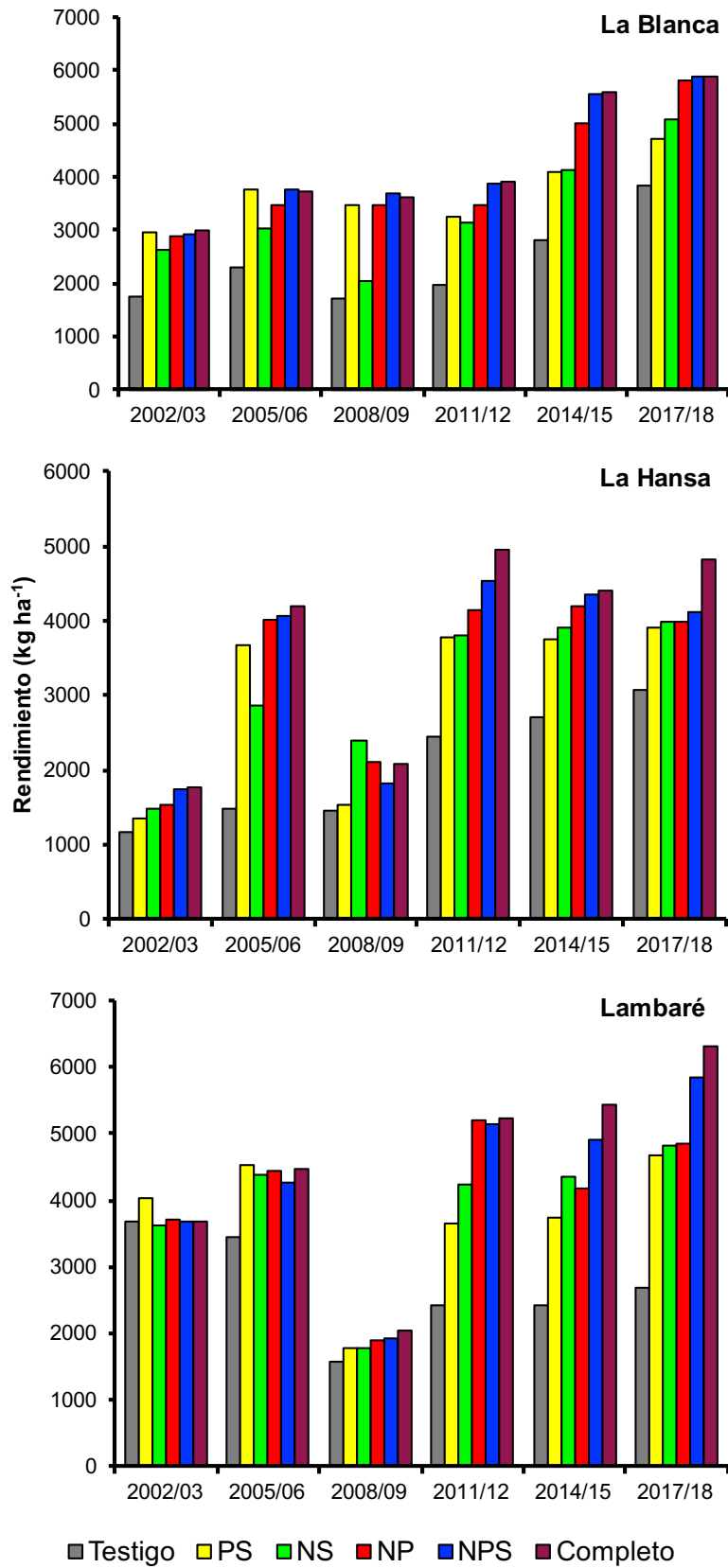


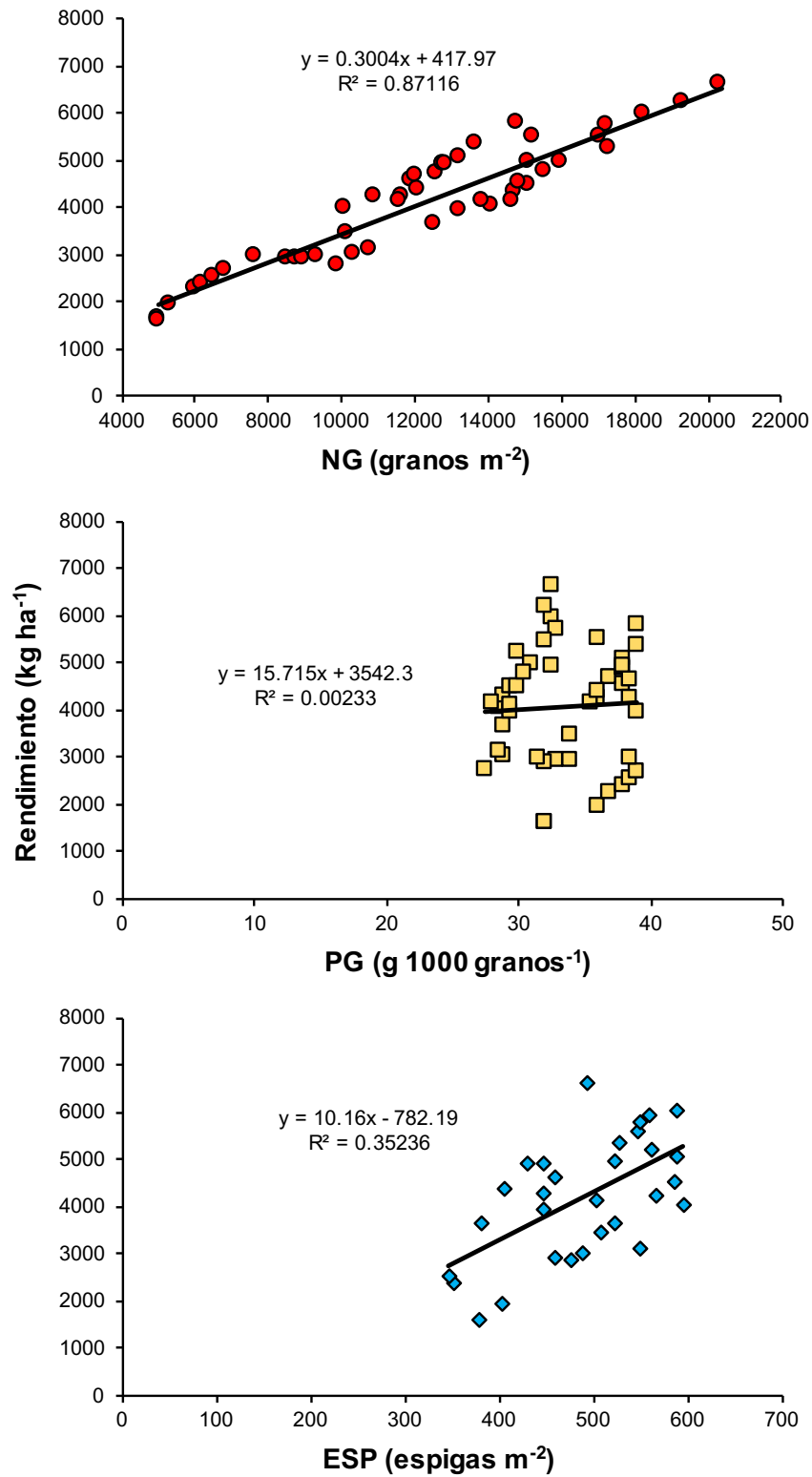
Fig. 2b. Evolución de P Bray (0-20 cm), desde el establecimiento de los ensayos bajo rotacion Mz-Sj-Tr/Sj, en los tratamientos NS y NPS. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 18 (2017/18).



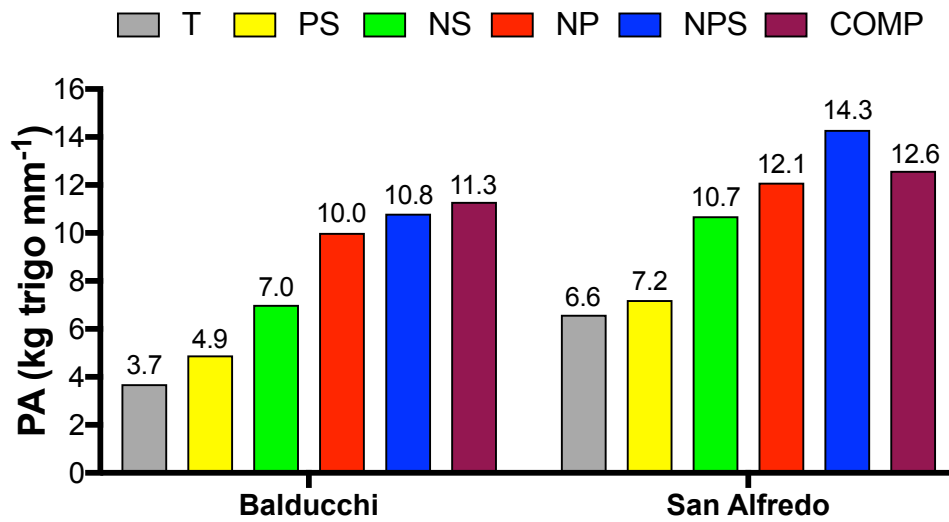
**Fig. 4a.** Evolución de los rendimientos promedio de trigo para los seis tratamientos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación Mz-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campañas 2001/02 a 2017/18.



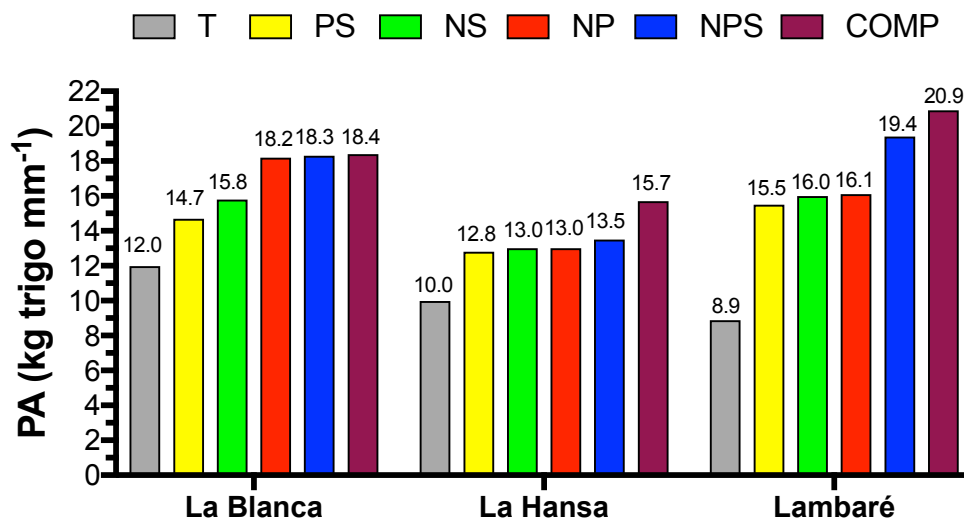
**Fig. 4b.** Evolución de los rendimientos promedio de trigo para los seis tratamientos en los sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré. Rotación Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campañas 2002/03 a 2017/18.



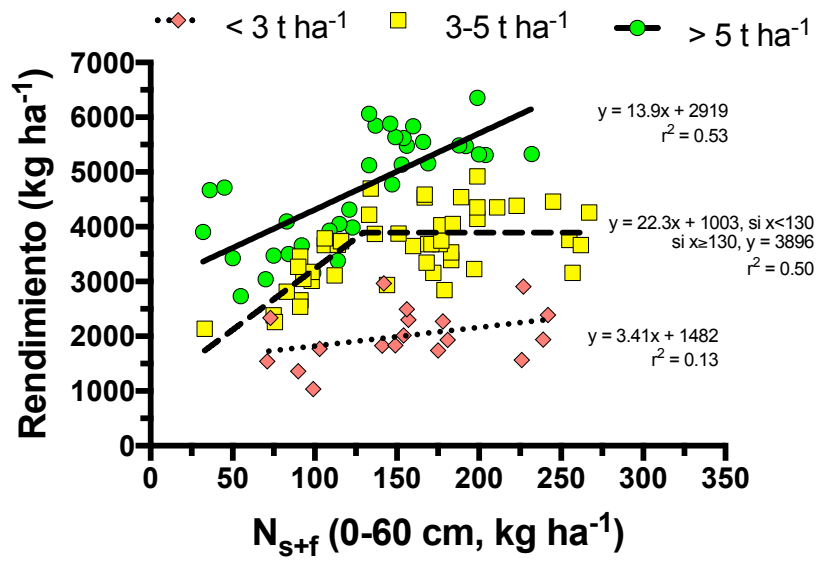
**Fig. 5.** Relaciones entre el rendimiento y: el número de granos por  $\text{m}^2$  (arriba), el peso de mil granos (medio), y el número de espigas por  $\text{m}^2$  (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.



**Fig. 6a.** Productividad del agua (EUA) en trigo, calculada como cociente entre el rendimiento de trigo y la suma de las precipitaciones durante el ciclo en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotacion Mz-Tr/Sj. Red de Nutricion CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

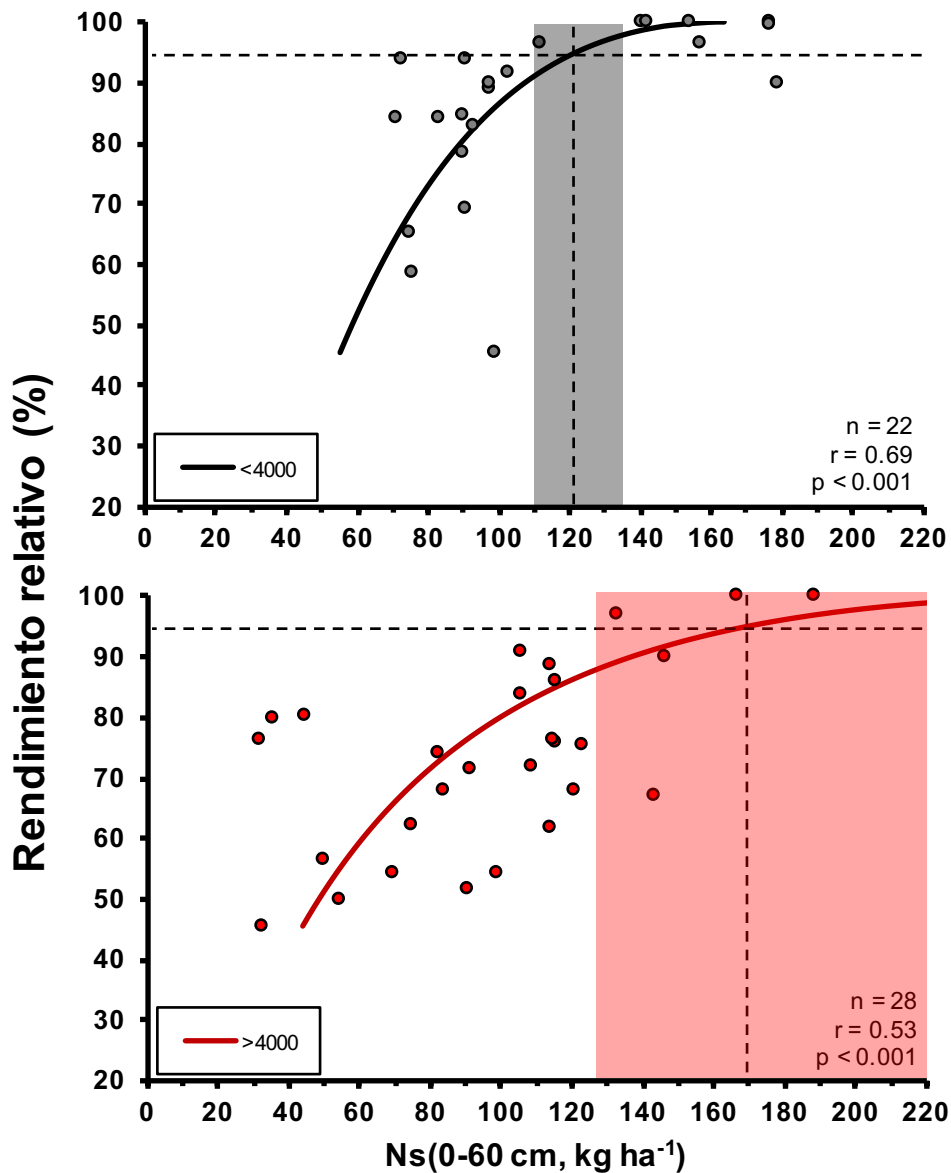


**Fig. 6a.** Productividad del agua (EUA) en trigo, calculada como cociente entre el rendimiento de trigo y la suma de las precipitaciones durante el ciclo en los sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré. Rotacion Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutricion CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2017/18.

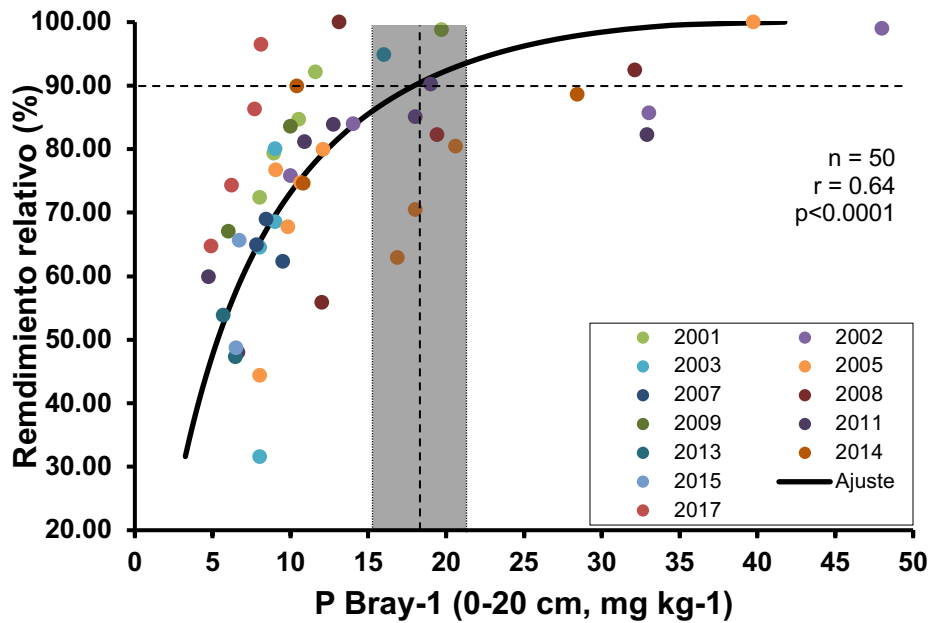


**Fig. 7.** Rendimiento de trigo en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2011/12, 2013/14, 2014/15, 2015/16 y 2017/18.

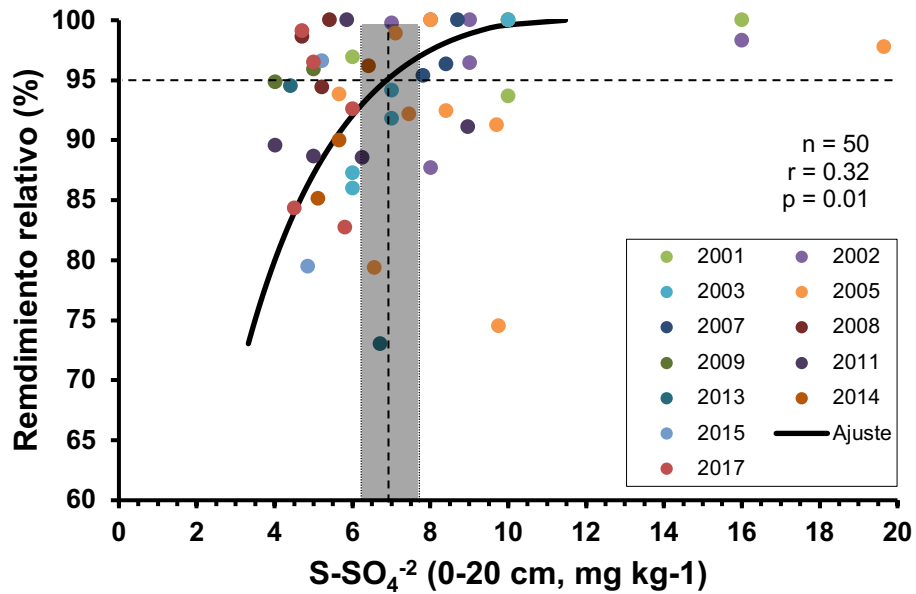




**Fig. 8.** Rendimiento relativo de trigo (%) sin aplicación de N (PS) en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (Ns). El N aplicado con el fertilizante fosforado (entre 18-22 kg) se sumó como parte del Ns. Se ajustaron dos modelos según el potencial de rendimiento: A) <4000 kg ha<sup>-1</sup> (p<0.001), y B) >4000 kg ha<sup>-1</sup> (p<0.001). En A, la línea vertical punteada negra y la franja gris indican el nivel crítico (121 kg N ha<sup>-1</sup>) para obtener el 95% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 90% (110-134 kg N ha<sup>-1</sup>). En B, la línea vertical punteada y la franja rojas indican el nivel crítico (171 kg N ha<sup>-1</sup>) para obtener el 95% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 90% (124-220 kg N ha<sup>-1</sup>). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2011/12, 2013/14, 2014/15, 2015/16 y 2017/18.



**Fig. 9.** Rendimiento relativo (RR) de trigo (NS:NPS) en función del nivel de P<sub>Bray-1</sub> (0-20 cm) a la siembra. La línea punteada y la franja vertical gris indican el nivel crítico (18.0 mg kg<sup>-1</sup>) de P<sub>Bray-1</sub> para obtener 90% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 95% (15.1 a 21.4 mg kg<sup>-1</sup>), según el ajuste del método arcoseno-logaritmo modificado (n = 50, r = 0.64, p < 0.0001). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2011/12, 2013/14, 2014/15, 2015/16 y 2017/18.



**Fig. 10.** Rendimiento relativo (RR) de trigo (NP/NPS) en función del nivel de  $S-SO_4^{2-}$  (0-20 cm) a la siembra. La línea punteada y la franja vertical gris indican el nivel crítico ( $6.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) de  $S-SO_4^{2-}$  para obtener 95% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 95% ( $6.1$  a  $7.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ), según el ajuste del método arcoseno-logaritmo modificado ( $n = 50$ ,  $r = 0.32$ ,  $p=0.01$ ). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2011/12, 2013/14, 2014/15, 2015/16 y 2017/18.