



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

Resultados de la Campaña 2015/16: Trigo

Preparado por:

*Miguel Boxler (Coordinador Ensayos), Adrián A. Correndo (IPNI Cono Sur),
Fernando O. García (IPNI Cono Sur), Santiago Gallo (Coordinador Zonal),
Ricardo Pozzi (Asesor CREA San Jorge-Las Rosas), Matías Salinas
(Agroservicios Pampeanos), Nahuel Reussi Calvo y Angel Berardo (Laboratorio
Fertilab)*

En la campaña 2015/16, 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 dos ensayos de trigo 2015/16 bajo rotación maíz-trigo/soja de segunda (M-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) al macollaje y antesis.
2. Evaluar la respuesta a la fertilización fosfatada (directa y 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 respuesta de parámetros de calidad de grano (peso hectolítrico- PH, proteína-PROT- y gluten-GLU-) a las distintas combinaciones aplicadas de N, P y S.
6. Evaluar la evolución de parámetros de suelo: P_{Bray-1}, 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 dos 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 maíz-trigo/soja (M-T/S), para ambos sitios: Balducchi (Teodelina) y San Alfredo (Santa Emilia). Los seis tratamientos establecidos son similares en los dos sitios y se disponen en un diseño en bloques completos con tres repeticiones. 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 2015/16 se indican en la **Tabla 2**. 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 macollaje se determinó el índice de verdor se determinó utilizando un Minolta SPAD 502 en los estados de macollaje y anthesis. En madurez fisiológica se determinó el número de espigas por m². A cosecha se determinó el rendimiento, 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 m². 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 y la variación de almacenaje de agua del suelo entre la siembra y la madurez fisiológica, se estimaron eficiencias de uso de agua (EUA). Como indicadores de eficiencia de uso de nutrientes se realizaron estimaciones de la productividad parcial del factor (PPF, kg de grano producido por kg de nutriente aplicado) y el balance parcial del nutriente (BPN, kg de nutriente exportado por kg de nutriente aplicado).

El análisis de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) mediante el paquete estadístico Infostat v2014 (Di Rienzo et al., 2014), mientras que los niveles críticos de nutrientes se estimaron mediante el método del arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2016) 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**. 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 ambos sitios. También se observó residualidad de aplicaciones anteriores de S en ambos sitios, en casi todo el perfil en Balducchi y en capa superficial en San Alfredo.

La residualidad de N en Balducchi se observó especialmente en profundidad, mientras que en el sitio San Alfredo se manifestó en todo el perfil (**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. En esta campaña (2015/16), el nivel de disponibilidad de N-nitrato (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.

Por otra parte, en Balducchi se observó un mayor nivel de N_{an} en 0-20 (como indicador del N mineralizable) cm para el tratamiento PS (37 mg kg⁻¹) respecto de NPS (19 mg kg⁻¹). Sin embargo, no se observó en la capa 20-40 cm, ni en el sitio San Alfredo. Comparativamente se registraron niveles menores en Balducchi respecto de San Alfredo tanto en 0-20 como en 20-40 cm de profundidad (**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 ambos sitios la residualidad se observa principalmente en superficie, con diferencias (NPS vs NS) de +702%, +50%, +32% y +14% en Balducchi, y de +451%, +39%, +51% y +43% en San Alfredo 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 aumentó a lo largo de los 16 años (**Fig. 2**), a partir del aporte que se hace con dosis de P que cubren la extracción en grano más el 5-10%. En contraste, en el tratamiento NS, el $P_{\text{Bray-1}}$ disminuyó alrededor de 5 mg kg^{-1} en Balducchi (47%) y San Alfredo (44%). En esta campaña (2015/16), los niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ de los tratamientos NS fueron menores que los considerados críticos para trigo en ambos sitios, 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. 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 en ambos ensayos se encuentran muy por arriba de los niveles críticos, en la próxima campaña se suspenderá la aplicación de P en esos tratamientos.

Para S-sulfato, la residualidad se expresó de forma distinta en cada sitio. En Balducchi, la residualidad se observa en casi todo el perfil excepto 40-60 cm, mientras que en San Alfredo, las mayores diferencias se observaron en superficie. Las diferencias (NPS vs NP) fueron de +27%, +21%, +1% y +43% en Balducchi y de +30%, +7%, -6% y -5% en San Alfredo a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm, respectivamente. En los dos sitios, los niveles de S-sulfato (0-20 cm) se ubicaron por debajo de los 10 mg kg^{-1} , umbral crítico mencionado en la literatura, en los tratamientos NP y NPS en ambos sitios.

Respuestas a la fertilización en rendimiento y calidad

Las precipitaciones fueron abundantes durante todo ciclo de cultivo en ambos sitios (**Tabla 1**). Esto mantuvo buenos niveles de humedad en el suelo en San Alfredo, mientras que en Balducchi provocó excesos hídricos principalmente durante etapas iniciales del cultivo lo que determinó la pérdida de las parcelas

correspondientes a las repeticiones 1 y 2 del ensayo. Los contenidos de agua a macollaje y madurez fisiológica reflejan esta situación (**Fig. 3**).

En Balducchi, se alcanzaron muy buenos rendimientos con los tratamientos NPS y Completo, superiores a los 5000 kg ha⁻¹, similares a los alcanzados en las campañas 2003/04, 2005/06 y 2007/08 (**Tabla 4, Fig. 4**). En contraste, con los mismos tratamientos en San Alfredo, se lograron rendimientos considerablemente inferiores, alcanzando los niveles promedio más bajos de las 16 campañas. Los bajos rendimientos de San Alfredo se explican principalmente por inconvenientes fitosanitarios.

En Balducchi, aunque no se pudo evaluar la significancia de las diferencias por pérdida de parcelas por exceso hídrico, se observaron respuestas elevadas a todas las combinaciones de nutrientes: desde 1244 kg ha⁻¹ de respuesta a S hasta 4199 kg ha⁻¹ de respuesta a NPS. Por otra parte, en San Alfredo solo se observaron respuestas significativas a P y a las combinaciones PS (857 kg ha⁻¹), NP (714 kg ha⁻¹), y NPS (868 kg ha⁻¹). En ningún sitio se observó respuesta a la aplicación de otros nutrientes (**Tabla 4**). Estas respuestas directas y residuales, se explican parcialmente por los bajos niveles de N-nitrato, P Bray-1 y S-sulfato en los tratamientos sin aplicación de los mismos.

En cuanto a los componentes de rendimiento, no se observaron efectos significativos de los tratamientos sobre el peso de los granos, aunque si un mayor número de espigas y granos en los tratamientos NPS y Completo respecto del resto (**Tabla 5**). De tal forma, el rendimiento se relacionó estrechamente con número de granos por m² (R² = 0.94) y, en menor medida, con el peso de mil granos (R² = 0.84) y el número de espigas por m² (R²=0.28) (**Fig. 5**).

Referido a la calidad de grano, no se observaron diferencias claras entre los tratamientos en PH, aunque a nivel general Balducchi registró mayores niveles que San Alfredo. En términos de PROT y GLU, se observó efecto de los tratamientos donde los menores niveles se registraron en las parcelas sin N (Testigo y PS). En contraste, los mayores niveles se registraron en el tratamiento NS, relacionado a que en ambos sitios registró menor número de granos y rendimiento con la misma dosis de N que los tratamientos NP, NPS y Completo (**Tabla 5**). Nuevamente, a nivel general, Balducchi registró mejores niveles de PROT y GLU respecto de San Alfredo, que no llegó al 10.5% de proteína en ninguno de los tratamientos.

Las eficiencias de uso de agua (EUA) variaron entre 3.0-9.7 y 3.0-8.8 kg trigo ha⁻¹ mm⁻¹, para los tratamientos Testigo y NPS en Balducchi y Testigo y Completo en San Alfredo, respectivamente (**Fig. 6**). Estas eficiencias son bajas a nivel general, dado el exceso de disponibilidad hídrica durante todo el ciclo del cultivo en ambos sitios, especialmente en Balducchi, que a pesar de los altos rendimientos alcanzados registró EUA similares al sitio San Alfredo con menores rendimientos.

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). Balducchi, solo registró PPN inferior a este promedio en el tratamiento NS, mientras que el resto mostro PPN similares o superiores. En San Alfredo, dados los bajos rendimientos generales del sitio, registró PPN bajas, inferiores al promedio nacional. De la misma manera, los BPN en San Alfredo muestran valores bastante inferiores a la neutralidad (1) y al promedio nacional de 0.86 kg de N extraído por kg de N aplicado. En el caso de Balducchi, dado los mayores rendimientos logrados, los BPN fueron comparativamente más elevados, 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 11 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, y dos sitios en 2015/16 (n=45).

Excluyendo los seis sitios de la campaña 2002/03, muy afectada por enfermedades y condiciones climáticas adversas, Santo Domingo 2005/06, muy afectado por heladas, y los sitios La Hansa y Lambaré 2008/09 y Balducchi 2009/10 por efectos de la sequía, se estimó una relación significativa entre la disponibilidad de N a la siembra (N-nitrato en el suelo a la siembra, 0-60 cm de profundidad, + N fertilizante) y los rendimientos (**Fig. 7**). Si bien la variabilidad de la relación es alta, permitiría estimar necesidades de alrededor de 140 kg ha⁻¹ de N (suelo + fertilizante) para alcanzar rendimientos de 4000 kg ha⁻¹. Adicionalmente, con rendimientos potenciales de hasta 4000 kg ha⁻¹, se necesitaron entre 110 y 134 kg de N en el suelo a la siembra para lograr 95% del rendimiento relativo al máximo; mientras que para rendimientos potenciales de más de 4000 kg ha⁻¹, la necesidad ascendió a un rango de entre 135 y 174 kg de N en el suelo a la siembra (**Fig. 8**). Por otra parte, la fertilización nitrogenada incrementó el índice de verdor (SPAD Minolta 502) al macollaje y en antesis (**Tabla 7**).

Para el caso de P, si consideramos los 45 casos (sitios-años) de las once 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 18.7 mg kg⁻¹ para obtener el 90% del rendimiento relativo, con un intervalo de confianza al 95% entre 15.9 y 22.0 mg kg⁻¹.

Por otra parte, la respuesta a S se correlacionó con la concentración de S-sulfato a 0-20 cm (**Fig. 10**), no así con la disponibilidad a 0-60 cm (datos no mostrados). En función de dicha relación se estimó un nivel crítico entre 6 y 8 mg S kg⁻¹ para obtener el 95% del rendimiento relativo. Cabe destacar que, en general, los niveles de S-sulfato en superficie (0-20 cm) a la siembra son bajos, menores de 10 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_{Bray-1} y, en menor medida, para los contenidos de N-nitrato y S-sulfato.
2. En Balducchi y San Alfredo, respectivamente, la respuesta a N fue de 77% y 7%, la respuesta a P de 105% y 52% y la respuesta a S de de 26% y 4%.
3. Luego de quince años en la rotación M-T/Sj (22 cultivos), en la decimo-sexta 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: 44% y 83% a la aplicación de PS, 1% a 58% a la aplicación de NS, 48 y 158% a la aplicación de NP, y entre 53% y 225% a la aplicación de NPS.
4. Referido a la calidad de grano, en términos de PROT y GLU, se observó efecto de los tratamientos donde los menores niveles se registraron en las parcelas sin N. En contraste, los mayores niveles se registraron en el tratamiento NS ya que, con la misma dosis de N, registró menor número de granos y menor rendimiento que los tratamientos NP, NPS y Completo. No se observaron diferencias claras entre los tratamientos en términos de PH.
5. Los excesos de agua durante el ciclo de cultivo generaron la pérdida de parcelas en el sitio Balducchi, aunque el rendimiento general de las parcelas cosechadas fue alto. En San Alfredo no se perdieron parcelas pero los rendimientos generales fueron comparativamente más bajos debido a problemas fitosanitarios.
6. La eficiencia de uso de agua (EUA) se incrementó de forma marcada cuando se eliminaron las deficiencias de N, P y/o S, registrando 3.0 kg trigo mm⁻¹ para el Testigo y 8.3-9.5 kg mm⁻¹ para el tratamiento NPS.
7. Según la relación observada entre el rendimiento y la disponibilidad de N en suelo a la siembra (N suelo + N fertilizante), disponibilidades de alrededor de 140 kg ha⁻¹ permitirían alcanzar rendimientos aproximados de 4000 kg ha⁻¹.

8. Se observaron relaciones significativas entre el rendimiento relativo y el nivel de N-NO_3^- en suelo a la siembra. Con rendimientos potenciales de hasta 4000 kg 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 ha^{-1} , la necesidad ascendió a un rango de entre 135 y 174 kg de N en el suelo.
9. Los sitios-años con niveles de P Bray-1 (0-20 cm) menores de 16 mg kg^{-1} presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 22 mg kg^{-1} de P Bray, la probabilidad de respuesta disminuye marcadamente.
10. La respuesta a 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 entre 6 y 8 mg S 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.H. Gutiérrez Boem, F. Salvagiotti, y F.O. García. 2016. Método alternativo para estimar niveles críticos de nutrientes. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Ordenamiento territorial: un desafío para la ciencia del suelo. 27 de Junio al 1ro. de Julio de 2016. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. AACCS.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada, y CW Robledo. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- 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.
- García, F.O 2009. Eficiencia de uso de nutrientes y mejores prácticas de manejo para la nutrición de cultivos. En F. García e I. Ciampitti (ed.). Simposio Fertilidad 2009: Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina: 9-18. ISBN 978-987-24977-1-2.

Tabla 1. 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. Campaña 2015/16.

Establecimiento	Balducchi	San Alfredo
CREA	Teodelina	Santa Isabel
Serie Suelo	Santa Isabel	Hughes
Labranza	Siembra directa	
Años agricultura	+ 60	15
Rotación	M-T/S	
Antecesor	Maíz	
Variedad	Nogal 111	Baguette 601
Fecha de siembra	4/06/2015	12/06/2015
Densidad lograda (pl m⁻²)	170	160
Distancia entre surcos (cm)	21	21
Fecha de Cosecha	16/12/2015	16/12/2015
Lámina de agua a la siembra (mm) (0-100 cm)	138	172
Precipitaciones (mm)		
Abril	160	65
Mayo	87	101
Junio	22	44
Julio	105	44
Agosto	218	142
Septiembre	27	48
Octubre	93	76
Noviembre	158	138
Junio-Noviembre	623	492

Tabla 2. Tratamientos de fertilización establecidos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/S. Región CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
Fertilizante (kg ha⁻¹)						
FMA (11-23-0)		176		176	176	176
Urea (46-0-0)			220	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
Fertilizante total (kg/ha)	0	305	330	375	485	598
Nutrientes (kg ha⁻¹)						
N		18	101	101	101	101
P		40	0	40	40	40
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 sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO₃	N-NO₃	S-SO₄	S-SO₄	Nan
		<i>ppm</i>	<i>ppm</i>	<i>kg ha⁻¹</i>	<i>ppm</i>	<i>kg ha⁻¹</i>	<i>ppm</i>
		0-20 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20/20-40 cm
Balducchi	PS	-	7	32	-	-	31/7
	NS	7	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	5	41	-
	NPS	52	7	38	6	47	19/11
San Alfredo	PS	-	12	55	-	-	44/20
	NS	7	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	5	40	-
	NPS	37	16	85	7	44	38/19

Tabla 4. 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. Trigo. Campaña 2015/16.

TRATAMIENTO	M-T/S		
	Balducchi	San Alfredo	Promedio
	<i>Rendimientos[#] (kg ha⁻¹)</i>		
Testigo	1866	1624 b	1745
PS	3425	2337 a	2881
NS	2955	1635 b	2295
NP	4821	2407 a	3614
NPS	6065	2492 a	4278
Completo	5928	2365 a	4146
DMS (5%)	-	257	-
NUTRIENTE	<i>Respuestas (kg ha⁻¹)</i>		
N	2640	154	1397
P	3110	857	1983
S	1244	84	664
PS	1559	714	1136
NS	1089	11	550
NP	2955	784	1869
NPS	4199	868	2533
Otros ^{###}	-137	-127	-132

[#]Rendimientos seguidos por letras diferentes, en cada sitio, no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. ^{###}Otros incluye K, Mg y Zn.

Tabla 5. Componentes de rendimiento de trigo (Espigas por m², Granos por espiga, Granos por m² y Peso mil granos) para los seis tratamientos evaluados en los dos ensayos. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

Ensayo	Tratamiento	Espigas m ⁻²	NG m ⁻²	PMIL (g)	PH	GLU (%)	PROT (%)
Balducchi	Testigo	452	8482	22	73.8	19.5	8.8
	PS	538	11416	30	72.5	18.3	8.3
	NS	476	10552	28	67.9	35.7	13.2
	NP	643	14179	34	71.1	24.3	10.3
	NPS	771	17838	34	75.5	25.7	10.7
	Completo	762	17962	33	74.9	25.6	10.5
	DMS (5%)	-	-	-	-	-	-
San Alfredo	Testigo	486 c	7090 b	23.0	64.4 b	13.9 c	7.4 d
	PS	429 d	9738 a	24.0	68.2 a	14.0 c	7.5 d
	NS	428 d	6959 b	23.5	59.8 c	21.7 a	10.0 a
	NP	660 b	10718 a	22.5	61.5 bc	18.5 b	8.8 c
	NPS	762 a	10853 a	23.0	62.5 bc	19.8 ab	9.5 b
	Completo	749 a	10067 a	23.5	61.0 c	18.6 b	9.3 b
	DMS (5%)	14.5	1831	-	2.96	2.77	0.21

[#] 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 2015/16.

Ensayo	Tratamiento	Productividad parcial del factor (PPF) N	Balance parcial de nutrientes (BPN) N #
		kg trigo kg N aplicado ⁻¹	kg N extraído kg N aplicado ⁻¹
Balducchi	NS	29	0.53
	NP	48	0.86
	NPS	60	1.09
	Completo	59	1.06
San Alfredo	PS	16	0.29
	NP	24	0.43
	NPS	25	0.45
	Completo	23	0.42

Para la estimación del balance parcial de nitrógeno nutrientes se consideraron concentraciones de N en grano de 1.81%.

Tabla 7. Valores de SPAD de última hoja expandida en macollaje y SPAD de hoja bandera en antesis. Rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

Ensayo	Tratamiento	SPAD Macollaje	SPAD Antesis
Balducchi	PS	31.2	33.1
	NS	48.6	50.3
	NP	46.8	49.5
	NPS	47.2	48.8
	DMS (5%)	-	-
San Alfredo	PS	42.2 b	43.8 b
	NS	44.0 b	46.2 b
	NP	47.6 a	49.8 a
	NPS	46.6 a	49.5 a
	DMS (5%)	2.67	2.59

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

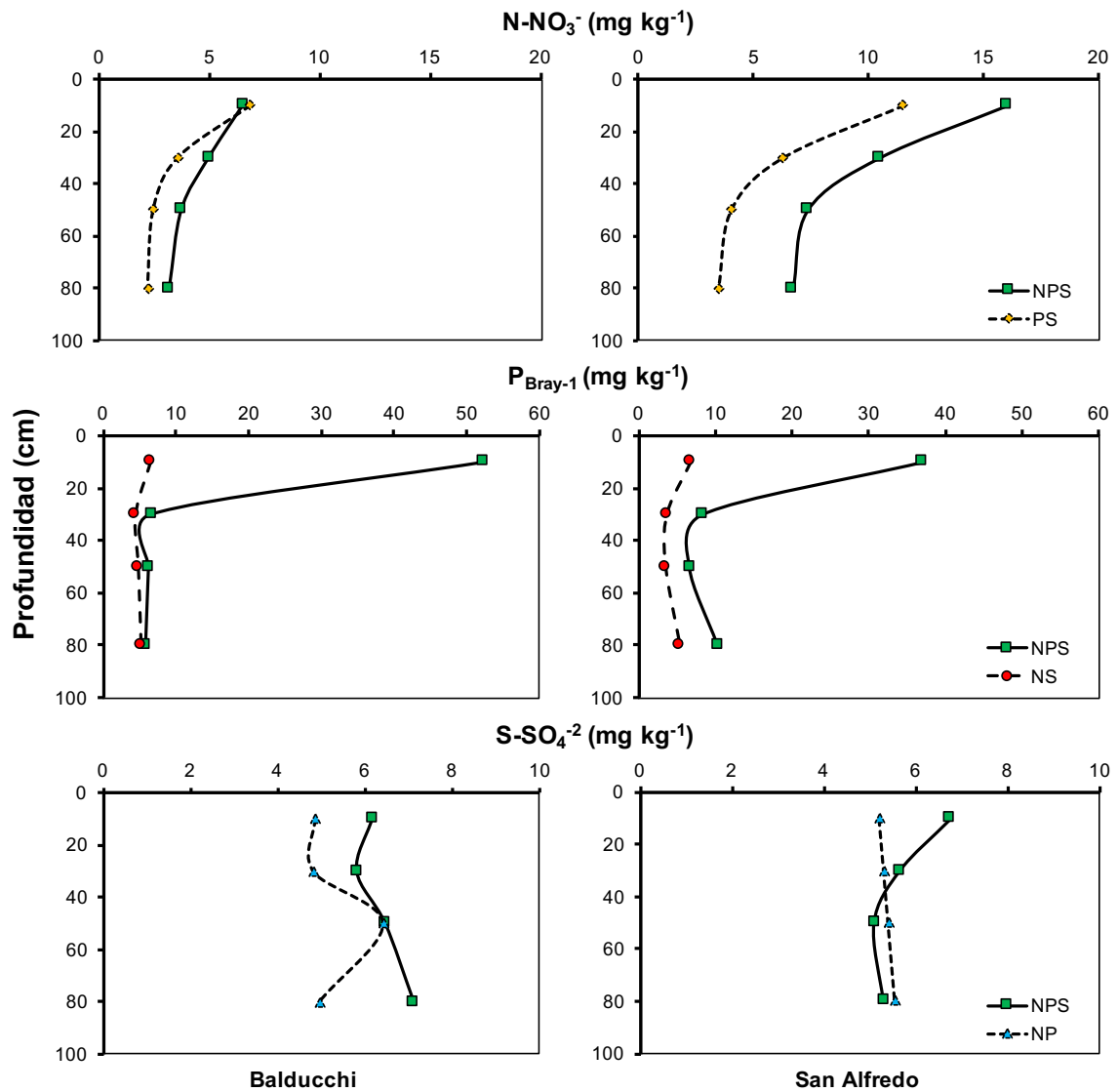


Fig. 1. Distribución de la concentración de N-NO₃⁻, P_{Bray-1} y S-SO₄⁻² a 0-100 cm en pre-siembra para tratamientos selectos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

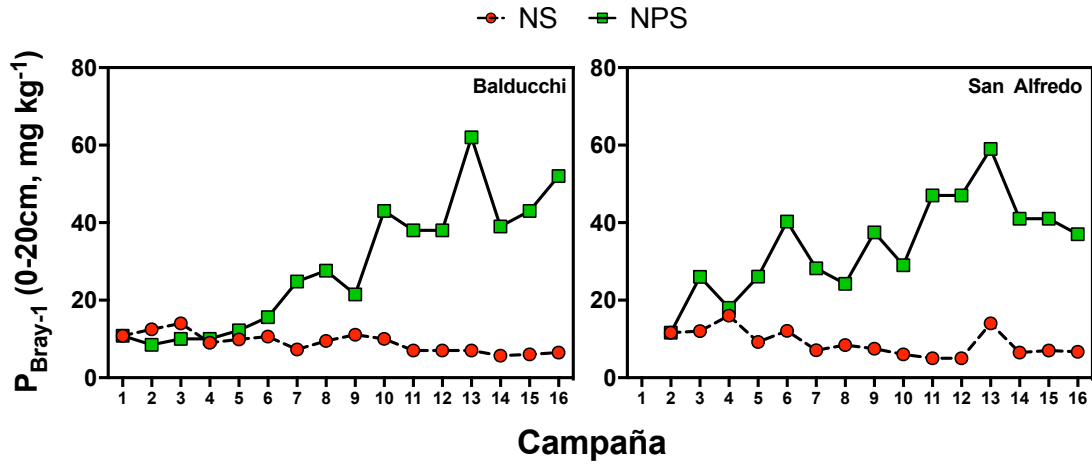


Fig. 2. Evolución de P Bray (0-20 cm), desde el establecimiento de los ensayos bajo rotación M-T/S, en los tratamientos NS y NPS. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 16 (2015/16).

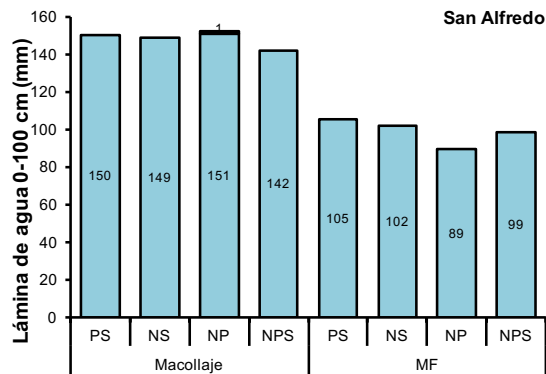


Fig. 3. Lámina de agua útil (AU) en mm, hasta el metro de profundidad en macollaje y madurez fisiológica para los tratamientos PS, NS, NP y NPS, en el establecimiento San Alfredo. El sitio Balducchi registró suelo saturado en ambos momentos de medición. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

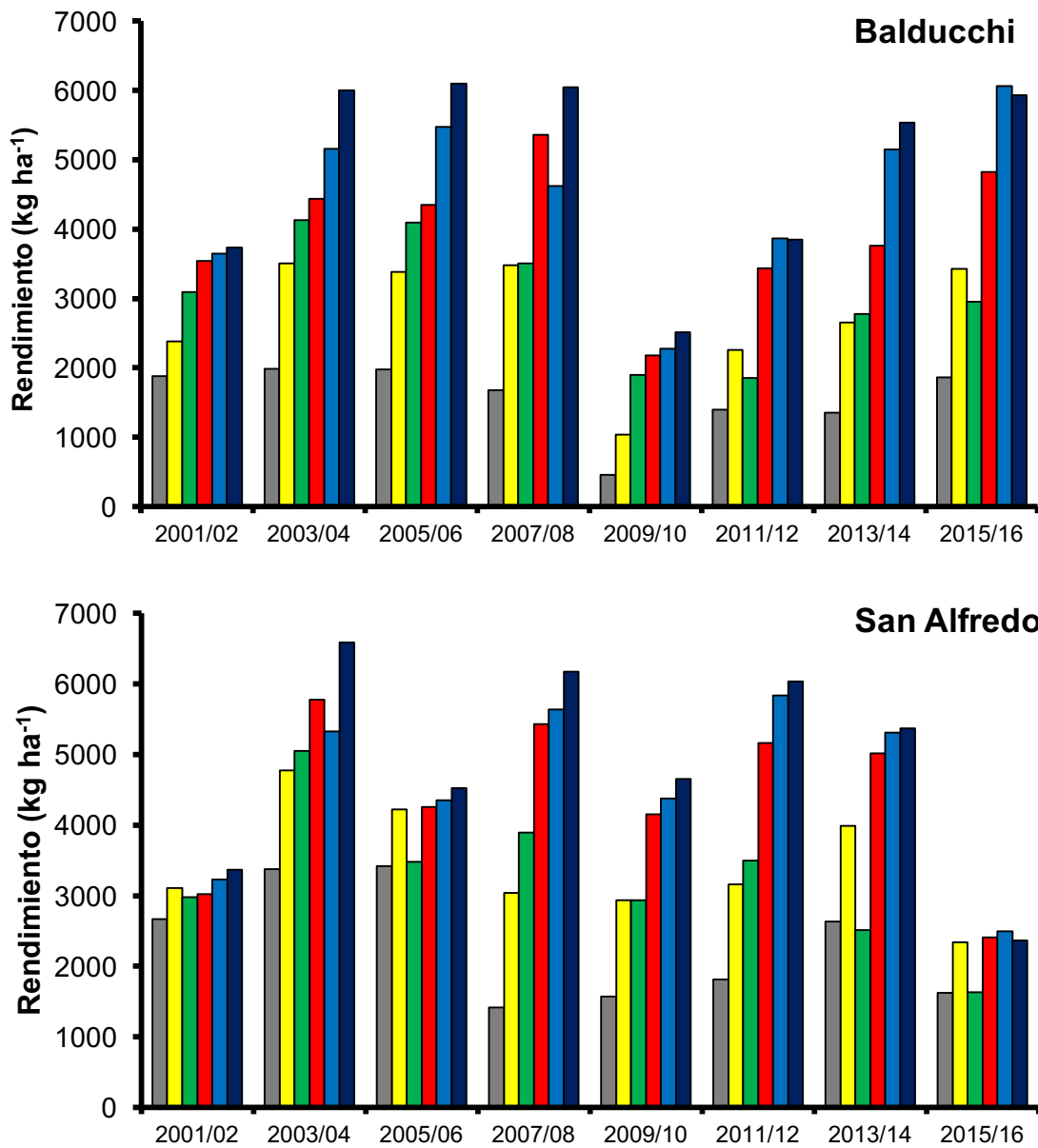


Fig. 4. Evolución de los rendimientos promedio de trigo para los seis tratamientos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campañas 2001/02 a 2015/16.

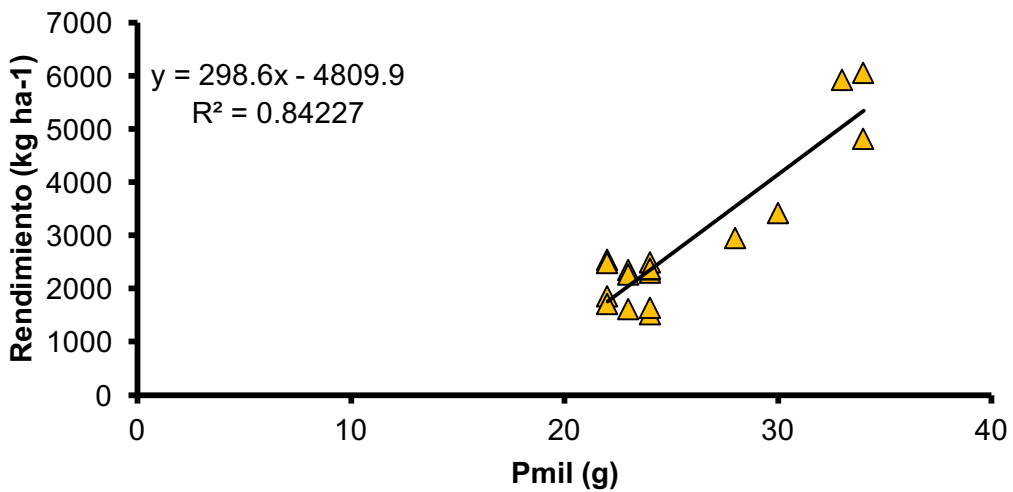
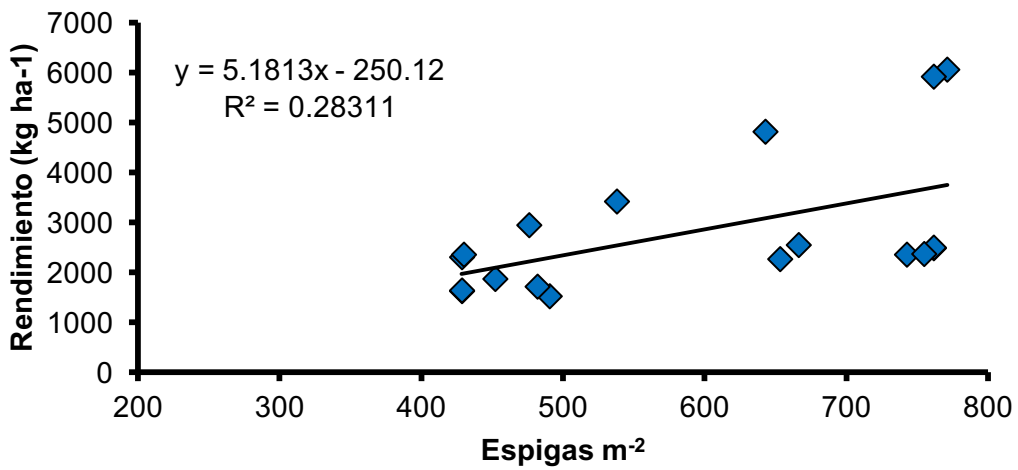
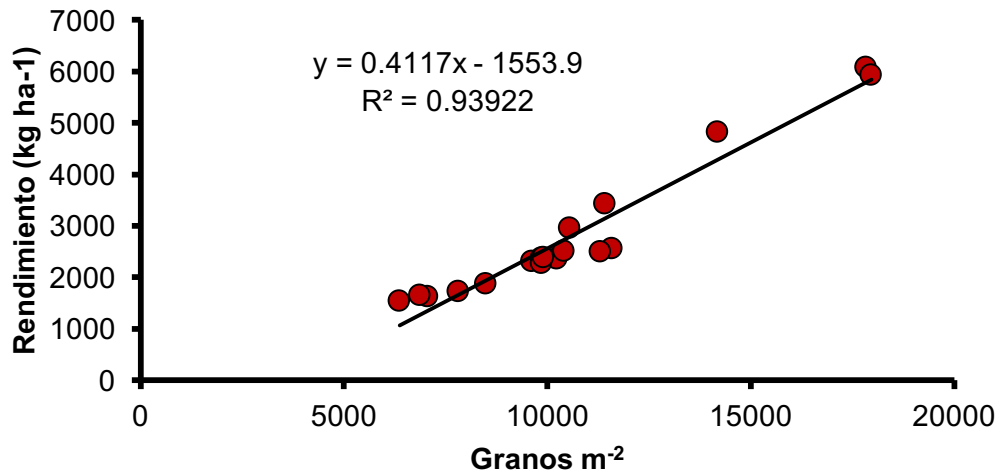


Fig. 5. Relaciones entre el rendimiento y: el número de granos por m² (arriba), el número de espigas por m² (medio) y el peso de mil granos (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

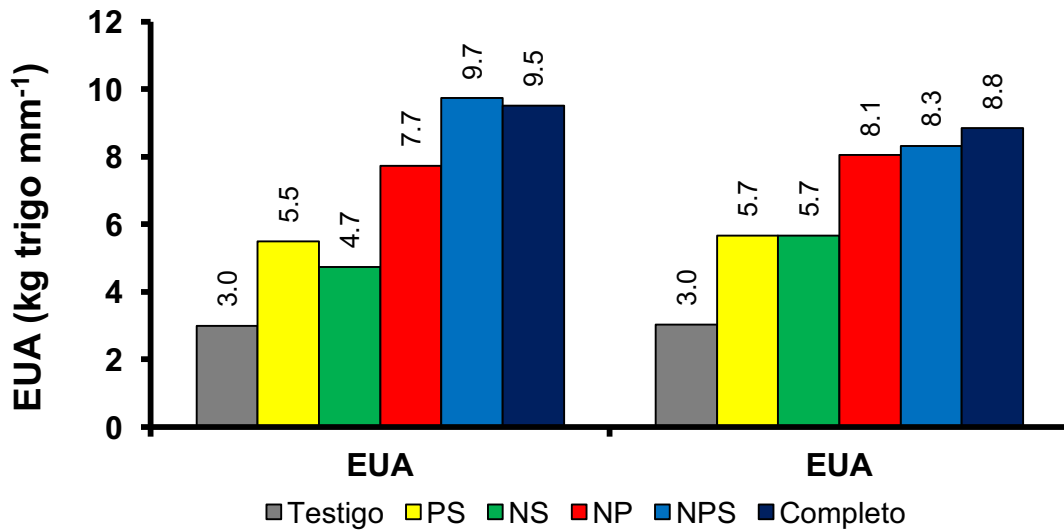


Fig. 6. Eficiencia de uso del agua (EUA) en trigo, calculada como cociente entre el rendimiento de trigo y la suma de las precipitaciones durante el ciclo más la diferencia de almacenaje de agua en el suelo entre la siembra y madurez fisiológica, en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotacion M-T/Sj. Red de Nutricion CREA Sur de Santa Fe. Trigo. Campaña 2015/16.

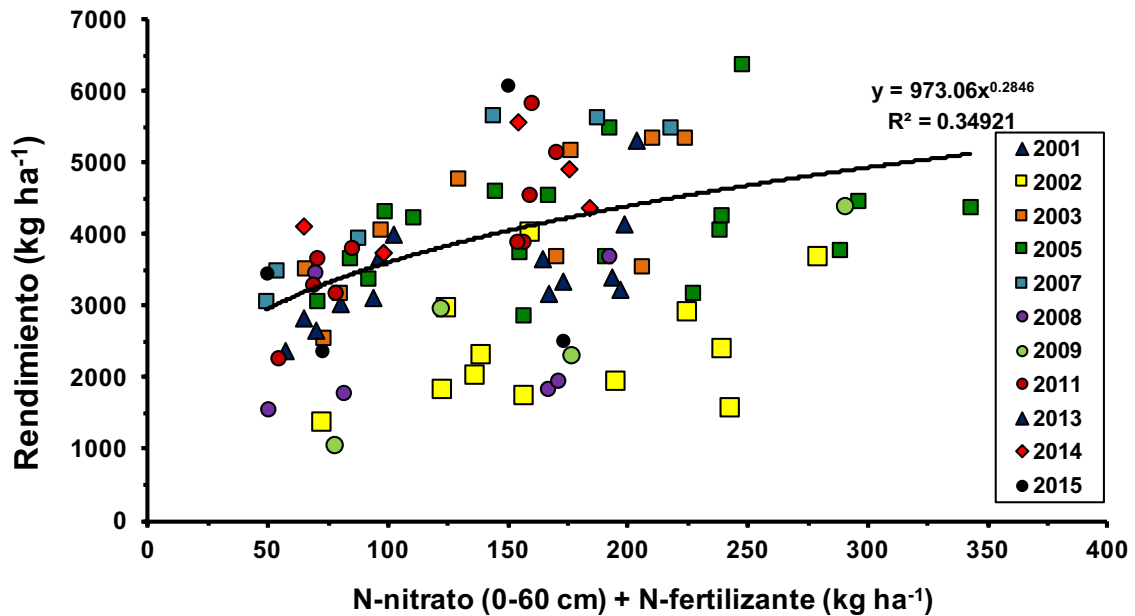


Fig. 7. Rendimiento de trigo en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante. El ajuste de la ecuación (n=70) no incluye los datos de la campaña 2002/03, Santo Domingo en 2005/06, La Hansa y Lambaré en 2008/09, y Balducchi en 2009/10. Red de Nutrición 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 y 2015/16.

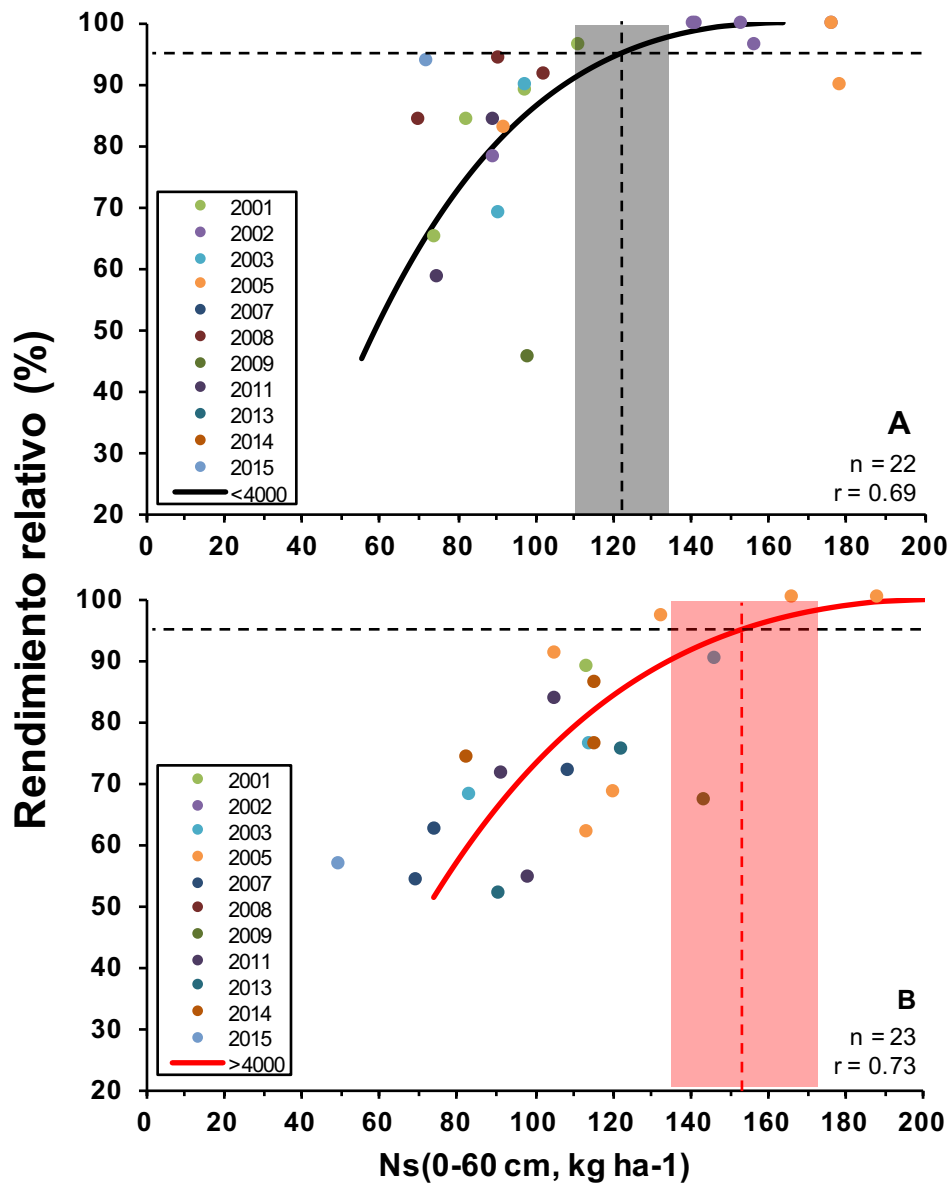


Fig. 8. Rendimiento relativo de trigo (%) sin aplicación de N (PS) en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (Ns). El N aplicado con el fertilizante fosforado (entre 18-22 kg) se sumó como parte del Ns. Se ajustaron dos modelos según el potencial de rendimiento: A) $<4000\text{ kg ha}^{-1}$ ($p<0.0001$), y B) $>4000\text{ kg ha}^{-1}$ ($p<0.0001$). En A, la línea vertical punteada negra y la franja gris indican el nivel crítico para obtener el 95% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 90%. En B, la línea vertical punteada y la franja rojas indican el nivel crítico para obtener el 95% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 90%. 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 y 2015/16.

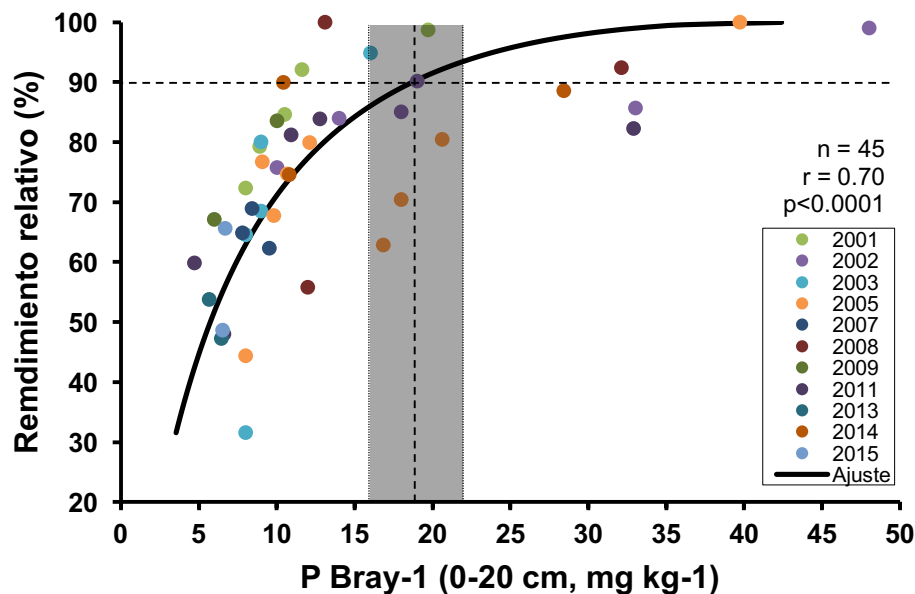


Fig. 9. Rendimiento relativo (RR) de trigo (NS/NPS) en función del nivel de $P_{\text{Bray-1}}$ (0-20 cm) a la siembra. La línea punteada y la franja vertical gris indican el nivel crítico (18.7 mg kg^{-1}) de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener 90% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 95% (15.8 a 22.0 mg kg^{-1}), según el ajuste del método arcoseno-logaritmo modificado ($n = 45$, $r = 0.70$, $p < 0.0001$). 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 y 2015/16.

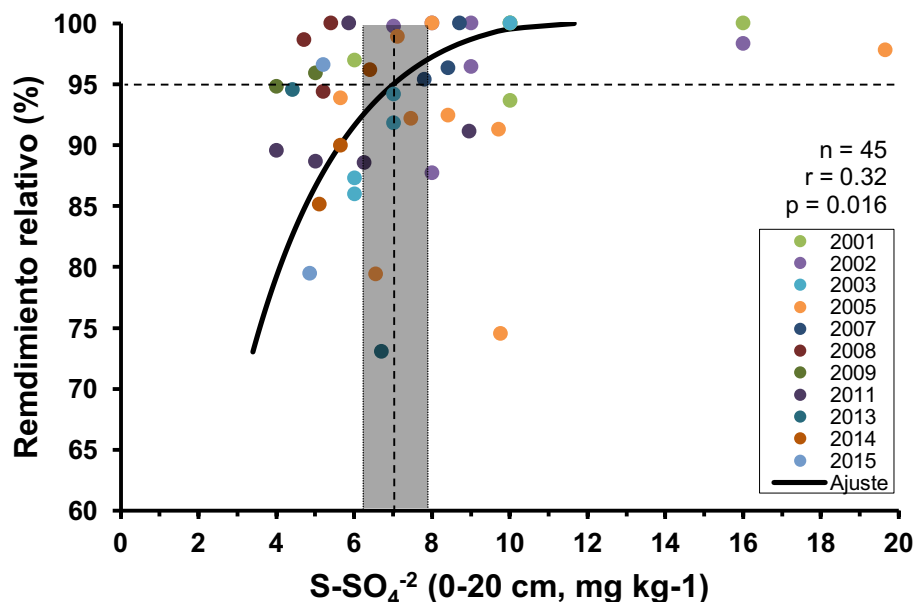


Fig. 10. Rendimiento relativo (RR) de trigo (NP/NPS) en función del nivel de $S\text{-SO}_4^{-2}$ (0-20 cm) a la siembra. La línea punteada y la franja vertical gris indican el nivel crítico (7.0 mg kg^{-1}) de $S\text{-SO}_4^{-2}$ para obtener 95% del rendimiento relativo y su intervalo de confianza al 95% (6.2 a 7.9 mg kg^{-1}), según el ajuste del método arcoseno-logaritmo modificado ($n = 45$, $r = 0.32$, $p = 0.02$). 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 y 2015/16.