

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

Resultados de la Campaña 2015/16: Soja de segunda

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 soja de segunda 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 fosfatada (residual) y el análisis de P Bray-1 en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
2. Evaluar la respuesta a la fertilización azufrada (residual) y el análisis de S-sulfato en pre-siembra como método de diagnóstico.
3. Evaluar los rendimientos sin limitaciones nutricionales en cada uno de los sitios de experimentación.
4. 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 aleatorizados con tres repeticiones. Los mismos se repiten anualmente siempre sobre las mismas parcelas. Los tratamientos fueron aplicados a la siembra del cultivo de trigo inmediato anterior en la campaña 2015/16, cuyas dosis de nutrientes 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 ambos sitios.

En pre-siembra del cultivo de trigo anterior, se muestrearon tratamientos selectos en los tres bloques para determinar: P Bray-1, 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 del cultivo de soja de segunda en los tratamientos PS, NS, NP y NPS.

Al estado de sexta hoja y R2 del cultivo de soja se determinó el índice de verdor utilizando un Minolta SPAD 502. A cosecha se determinó el rendimiento, y el peso de mil granos (PG). Los rendimientos reportados se han corregido al 13.5% de humedad. Con la información de PG, se estimó el número de granos (NG) por m². En todos los tratamientos se tomaron muestras de grano para evaluar la concentración de nutrientes (datos no mostrados).

En Balducchi, durante etapas iniciales del cultivo de trigo previo, las parcelas correspondientes a las repeticiones 1 y 2 del ensayo sufrieron anegamiento prolongado, por lo cual solo se cosechó la repetición restante tanto en trigo como en soja de segunda. Así, los resultados que se muestran de este sitio en el presente informe son solo a título descriptivo ya que no poseen análisis estadístico.

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. Se estimó la productividad del agua (PA) como el cociente

entre el rendimiento de los tratamientos y las precipitaciones registradas entre durante el ciclo de los cultivos. 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) considerando la producción del doble cultivo trigo/soja de segunda, dado que sobre el trigo se aplicó la totalidad de los nutrientes para ambos cultivos.

El análisis de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) y/o regresión, según corresponda, mediante diferentes paquetes estadísticos del software R (R Core Team, 2016). Los niveles críticos de nutrientes se estimaron mediante el método del arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2016) utilizando Microsoft Excel 2016®. Las figuras fueron realizadas con el software GraphPad Prism (GraphPad Software Inc., 2016) y Microsoft Excel 2016®.

RESULTADOS

Análisis de suelos

Los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra del trigo antecesor 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.

A la siembra del cultivo de trigo previo, 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 en trigo 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 Nan en 0-20 cm (como indicador del N mineralizable) para el tratamiento PS (37 mg kg^{-1}) respecto de NPS (19 mg kg^{-1}). Sin embargo, no se observó efecto de la fertilización nitrogenada sobre este indicador en la capa 20-40 cm en ninguno de los dos sitios.

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 y soja 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 $8-10 \text{ mg kg}^{-1}$, 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 el ciclo de cultivo en ambos sitios, especialmente en la segunda mitad (**Tabla 1**). Los contenidos de agua a la siembra de la soja de segunda fueron adecuados (**Fig. 3**). Las precipitaciones mantuvieron buenos niveles de humedad en el suelo, aunque provocaron excesos hídricos hacia finales de ciclo cuando ambos sitios registraron suelo saturado.

En Balducchi, se alcanzaron muy buenos rendimientos con los tratamientos NPS y Completo, superiores a los 4500 kg ha⁻¹, con el registro más alto de rendimientos de soja de segunda si se consideran todas las campañas anteriores (**Tabla 4, Fig. 4**). En contraste, con los mismos tratamientos en San Alfredo, se lograron rendimientos considerablemente inferiores, con el segundo registro más bajo para soja de segunda luego de la campaña 2011/12. Los bajos rendimientos de San Alfredo se explican principalmente por inconvenientes fitosanitarios.

En Balducchi, no se pudo evaluar la significancia de las diferencias por pérdida de parcelas por exceso hídrico en el cultivo de trigo previo. Sin embargo, se observaron respuestas a todas las combinaciones de nutrientes: desde 994 kg ha⁻¹ de respuesta a P y 1143 kg ha⁻¹ de respuesta a S, hasta 1728 kg ha⁻¹ de respuesta a PS cuando se aplicó N sobre el trigo previo. Por otra parte, en San Alfredo se observaron respuestas significativas a todas las combinaciones de nutrientes, desde 635 kg ha⁻¹ de respuesta a P y 579 kg ha⁻¹ de respuesta a S, hasta 1889 kg ha⁻¹ de respuesta al tratamiento Completo. En ninguno de los sitios se observó respuesta a la aplicación de otros nutrientes (**Tabla 4**). Estas respuestas directas y residuales, se explican parcialmente por el agotamiento de los niveles de P Bray⁻¹ y S-sulfato en los tratamientos sin aplicación de los mismos.

En Balducchi, los rendimientos elevados de soja de segunda se suman a los muy buenos rendimientos del antecesor trigo, dada la ausencia de limitantes hídricas y el buen estado sanitario que permitieron alcanzar altos rendimientos en ambos cultivos. Los rendimientos acumulados variaron desde 4890 kg grano ha⁻¹ (1866 kg trigo + 3024 kg soja) en el tratamiento Testigo, hasta 10816 kg grano ha⁻¹ (6065 kg trigo + 4751 kg soja) (**Fig. 5**). En San Alfredo, los rendimientos fueron comparativamente menores en ambos cultivos, pero registraron respuestas significativas a la fertilización. La producción acumulada en este caso varió entre 2723 kg grano ha⁻¹ (1624 kg trigo + 1099 kg soja) en el tratamiento Testigo, hasta 5498 kg grano ha⁻¹ (2365 kg trigo + 3133 kg soja) en el tratamiento Completo.

En cuanto a los componentes de rendimiento, se observaron efectos significativos de los tratamientos tanto sobre el número como el peso de los granos (**Tabla 5**) con los menores registros en las parcelas Testigo y los mayores en las parcelas NPS y Completo. De tal forma, el rendimiento se relacionó estrechamente

con número de granos por m² ($R^2 = 0.98$) y, en menor medida, con el peso de mil granos ($R^2 = 0.34$) (**Fig. 6**).

La productividad del agua de lluvia (PA) varió entre 4.2 y 6.6 kg soja ha⁻¹ mm⁻¹ en Balducchi, y entre 2.0-5.7 kg soja ha⁻¹ mm⁻¹, en San Alfredo (**Fig. 7**). 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 a pesar de los altos rendimientos alcanzados.

Referido a la eficiencia de uso de los nutrientes, si se considera la fertilización sobre el trigo para el doble cultivo T/Sj, la PPF de los nutrientes (expresada como la suma de los kg de trigo más los kg de soja por cada kg de N, P o S aplicado) indica la superioridad en producción de los tratamientos NPS y Completo en ambos sitios (**Tabla 6**). Por otro lado, los BPN (expresados como el cociente entre los kg de N, P o S aplicados en el trigo y los kg de N, P o S extraídos en la cosecha de trigo+soja) indican balances negativos del doble cultivo para el caso de N, especialmente en el sitio Balducchi (entre -23% a - 98%), dado los altos rendimientos logrados. En contraste, San Alfredo registró BPN levemente negativos en los tratamientos NS (-27%) y NP (-12%). Para el caso de P, los balances fueron levemente positivos en Balducchi para los tratamientos sin N (PS, +10%) y sin S (NP, +10%), mientras que fueron levemente negativos en los tratamientos NPS (-17%) y Completo (-16%). Por su parte, en el sitio San Alfredo, los balances de P fueron muy positivos en todos los casos (entre +38% a + 71%), dados los bajos rendimientos alcanzados en comparación con los esperados en base a los cuales se estimaron las dosis de P. Para el caso de S, los balances fueron positivos en Balducchi para los tratamientos sin N (PS, +16%) y sin P (NP, +29%), mientras que fueron levemente negativos en los tratamientos NPS y Completo. En el sitio San Alfredo, similar al caso de P, los balances de S fueron muy positivos en todos los casos dados los bajos rendimientos alcanzados en comparación con los esperados.

Relación entre variables de suelo-planta y rendimientos

A continuación, se discuten algunas relaciones entre las variables de suelo y planta, y las respuestas a los nutrientes. En todos los casos se evalúan las relaciones para las 14 campañas con información de soja de primera y soja de segunda de la Red de Nutrición, incluyendo once sitios en 2001/02, seis en 2002/03, cinco en 2003/04, cinco en 2004/05, ocho en 2005/06, siete en 2007/08, cuatro en 2008/09, dos en 2009/10, cuatro en 2010/11, cinco en 2011/12, cinco en 2013/14, tres en 2014/15, y dos en 2015/16 (n=67).

El índice de verdor (SPAD Minolta 502) tanto en V6 como en R2 fue afectado por el manejo de la fertilización donde el tratamiento NPS siempre registró los

niveles más altos de SPAD, mientras que la falta de N en el trigo previo generó un menor índice SPAD en las parcelas PS de soja de segunda (**Tabla 7**).

Para el caso de P, el rendimiento relativo sin aplicación de P se correlacionó significativamente ($r=0.48$, $p<0.0001$) con la concentración de P Bray-1 en capa superficial (**Fig. 8**). En base a dicho modelo, se indican niveles críticos de 11.6 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=9.8$ a 13.6 mg kg^{-1}) y 15.6 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=13.3$ a 18.3 mg kg^{-1}) de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener el 90% y el 95% del rendimiento relativo al máximo rendimiento, respectivamente. Por su parte, el modelo gráfico de cuadrantes de Cate-Nelson indica un nivel crítico comparativamente menor, de 10.8 mg kg^{-1} de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener el 95% del rendimiento relativo.

Por otra parte, la respuesta a S no se correlacionó significativamente con la concentración de S-sulfato a 0-20 cm de manera de poder ajustar una curva de respuesta. Sin embargo, se logró ajustar el modelo de cuadrantes de Cate-Nelson (Cate & Nelson, 1965). En base a dicho modelo, se estimó un nivel crítico de 9.9 mg S kg^{-1} para obtener el 95% del rendimiento relativo (**Fig. 9**). Cabe destacar que, en la gran mayoría de los casos evaluados, 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 soja.

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 Balducchi y San Alfredo, respectivamente, la respuesta de soja de segunda a P fue de 26% y 27% y la respuesta a S de 32% y 24%. El agregado de N en el cultivo de trigo previo generó una respuesta residual positiva de 6% en Balducchi y de 39% en San Alfredo.
3. Luego de quince años en la rotación M-T/Sj (23 cultivos), en la decimo-sexta campaña, los niveles de rendimiento de los tratamientos Testigo muestran el agotamiento de las reservas de N, P y S de los suelos, con respuestas de soja de segunda entre: 48% a 95% a la aplicación de PS, 24% a 114% a la aplicación de NS, 19 a 119% a la aplicación de NP, y entre 57% a 172% a la aplicación de NPS. Si se considera el doble cultivo T/Sj, las respuestas fueron entre: 47 a 62% a PS, 16 a 37% a NS, 29 a 72% a NP, y 56 a 121% a NPS.
4. Los excesos de agua durante el ciclo de cultivo de trigo previo generaron la pérdida de parcelas en el sitio Balducchi, aunque el rendimiento general de las

parcelas cosechadas fue muy alto. En San Alfredo no se perdieron parcelas pero los rendimientos generales fueron comparativamente más bajos.

5. La productividad del agua de lluvia (PA) se incrementó de forma marcada cuando se eliminaron las deficiencias de N, P y/o S, registrando variaciones desde 2.0 kg soja mm⁻¹ para el Testigo hasta 6.6 kg soja mm⁻¹ para el tratamiento NPS/Completo.
6. Los casos con niveles de P Bray-1 (0-20 cm) menores de 9.8 mg kg⁻¹ presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 18.3 mg kg⁻¹ de P Bray, tanto la probabilidad como magnitud de la respuesta a P disminuyó marcadamente.
7. La respuesta la fertilización azufrada se relacionó débilmente con el nivel de S-sulfato a la siembra a 0-20 cm (mg kg⁻¹). Sin embargo, se logró estimar un nivel crítico aproximado de 9.9 mg 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.
- 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.
- GraphPad Software Inc. 2016. GraphPad Prism v7.0a for MacOSX, La Jolla, CA, USA.
<http://www.graphpad.com/guides/prism/7/user-guide/index.htm>
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://R-project.org>

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. Soja de segunda. Campaña 2015/16.

<i>Establecimiento</i>	<i>Balducchi</i>	<i>San Alfredo</i>
CREA	Teodelina	Santa Isabel
Serie Suelo	Santa Isabel	Hughes
Labranza	Siembra directa	
Años agricultura	+ 60	15
Rotación	M-T/S	
Antecesor	Trigo	
Variedad	DM4612	DM4612
Fecha de siembra	17/12/2015	18/12/2015
Densidad lograda (pl m⁻²)	31.6	37.6
Distancia entre surcos (cm)	42	42
Fecha de Cosecha	26/5/2016	8/6/2016
Lámina de agua a la siembra (mm) (0-100 cm)	49	118
<i>Precipitaciones (mm)</i>		
Diciembre	27	16
Enero	127	137
Febrero	242	193
Marzo	59	44
Abril	270	159
<i>Diciembre-Abril</i>	<i>725</i>	<i>549</i>

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

TRATAMIENTO	M-T/S		
	Balducchi	San Alfredo	Promedio
	Rendimientos [#] (kg ha ⁻¹)		
Testigo	3024	1099 c	2061
PS	4480	2143 b	3312
NS	3757	2353 b	3055
NP	3608	2409 b	3009
NPS	4751	2988 a	3869
Completo	4757	3133 a	3945
DMS (5%)	-	374	-
NUTRIENTE	Respuestas (kg ha ⁻¹)		
N	271	844	558
P	994	635	814
S	1143	579	861
PS	1456	1045	1250
NS	734	1254	994
NP	585	1310	948
NPS	1728	1889	1808
Otros ^{##}	6	145	76

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

Tabla 5. Componentes de rendimiento en soja de segunda (Granos por m² –NG-y Peso mil granos-PG-) para los seis tratamientos evaluados en los dos ensayos bajo rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campaña 2015/16.

Ensayo	Tratamiento	NG m ⁻²	PG (g 1000 ⁻¹)
Balducchi	Testigo	1989	152
	PS	2872	156
	NS	2378	158
	NP	2284	158
	NPS	2970	160
	Completo	2973	160
	DMS (5%)	-	-
San Alfredo	Testigo	772 c	142.5 d
	PS	1560 b	137.5 d
	NS	1574 b	149.5 c
	NP	1530 b	157.5 b
	NPS	1805 ab	165.5 a
	Completo	1917 a	163.5 a
	DMS (5%)	285	5.4

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

Tabla 6. Productividad parcial de factor (kg rendimiento kg nutriente aplicado⁻¹) y Balance parcial de nutrientes (kg extraído kg aplicado⁻¹) como Indicadores de eficiencia de uso de los nutrientes para el doble cultivo trigo/soja de segunda en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2015/16.

Sitio	Tratamiento	PPF (Trigo + Soja II)			BPN [#] (Trigo + Soja II)		
		PPN	PPP	PPS	BPN	BPP	BPS
Balducchi	PS	-	86+112	163+213	-	0.90	0.84
	NS	29+37	-	141+179	1.23	-	0.71
	NP	48+36	121+90	-	1.54	0.90	-
	NPS	60+47	152+119	289+226	1.98	1.17	1.07
	Completo	59+47	148+119	282+227	1.96	1.16	1.06
San Alfredo	PS	-	58+54	111+102	-	0.29	0.45
	NS	16+23	-	78+112	0.73	-	0.43
	NP	24+24	60+60	-	0.88	0.53	-
	NPS	25+23	62+75	119+142	1.01	0.62	0.58
	Completo	23+31	59+78	113+149	1.01	0.63	0.59

[#] Para la estimación del balance parcial de los nutrientes en trigo se consideraron concentraciones en grano de 1.81%, 0.35% y 0.15% de N, P y S, respectivamente. En el caso de soja se consideraron concentraciones en grano de 4.74%, 0.53% y 0.28% de N, P y S, respectivamente.

Tabla 7. Valores de SPAD en los momentos de V6 y en R2 del cultivo de soja de segunda en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campaña 2015/16.

Ensayo	Tratamiento	SPAD V6	SPAD R2
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%.

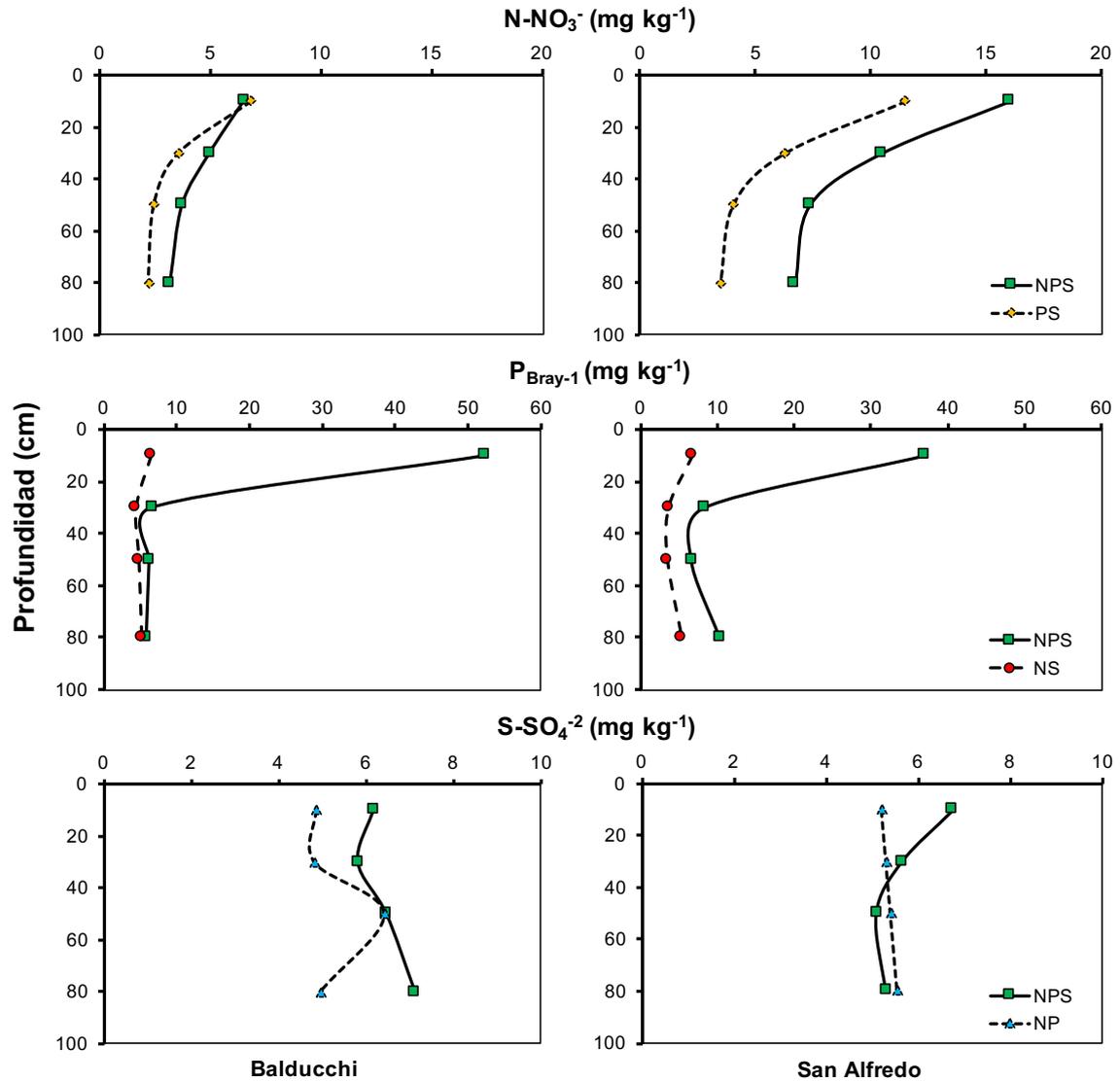


Fig. 1. Distribución de la concentración de N-NO₃⁻, P_{Bray-1} y S-SO₄⁻² a 0-100 cm en pre-siembra del cultivo de trigo previo a la soja de segunda para tratamientos selectos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campaña 2015/16.

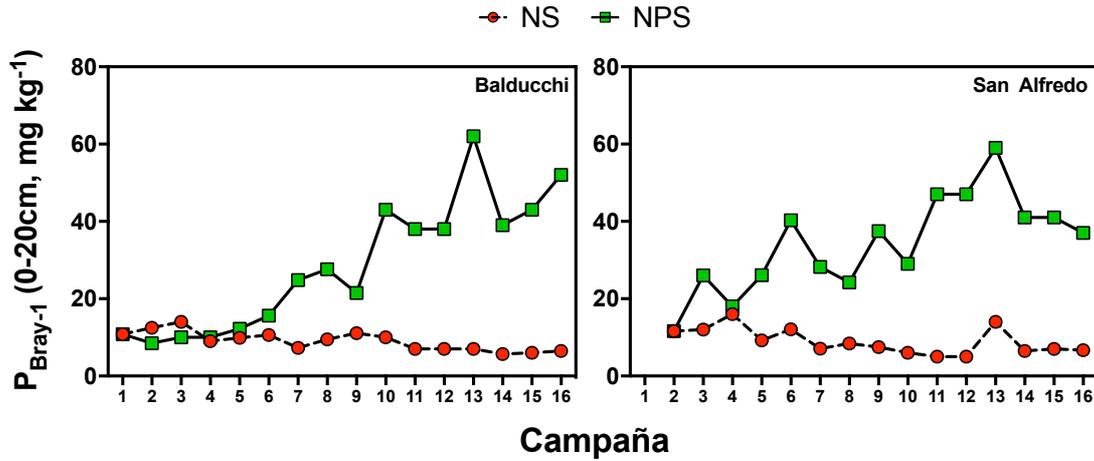


Fig. 2. Evolución de P Bray (0-20 cm) en los tratamientos con (NPS) y sin P (NS) desde el establecimiento de los ensayos en los sitios Balducchi y San Alfredo, bajo rotación M-T/S,. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 16 (2015/16).

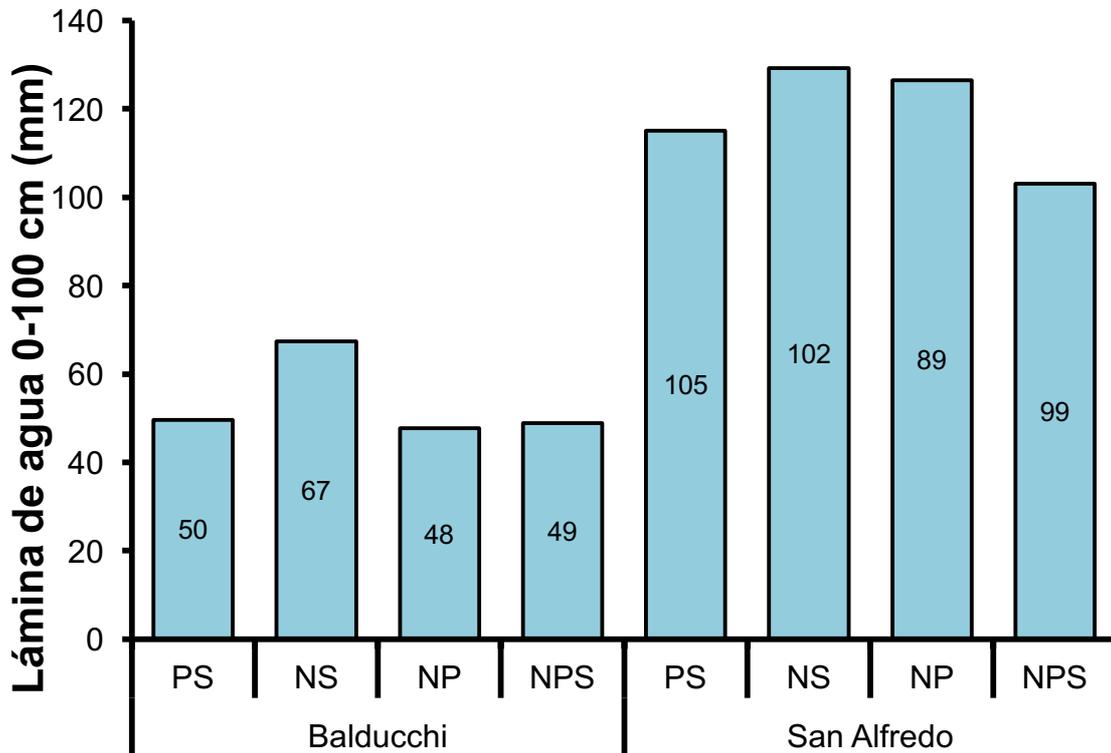


Fig. 3. Lámina de agua útil (AU) en mm hasta el metro de profundidad al momento de la siembra de soja de segunda para los tratamientos PS, NS, NP y NPS, en los establecimientos Balducchi y San Alfredo. Ambos sitios registraron suelo saturado en madurez fisiológica del cultivo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campaña 2015/16.

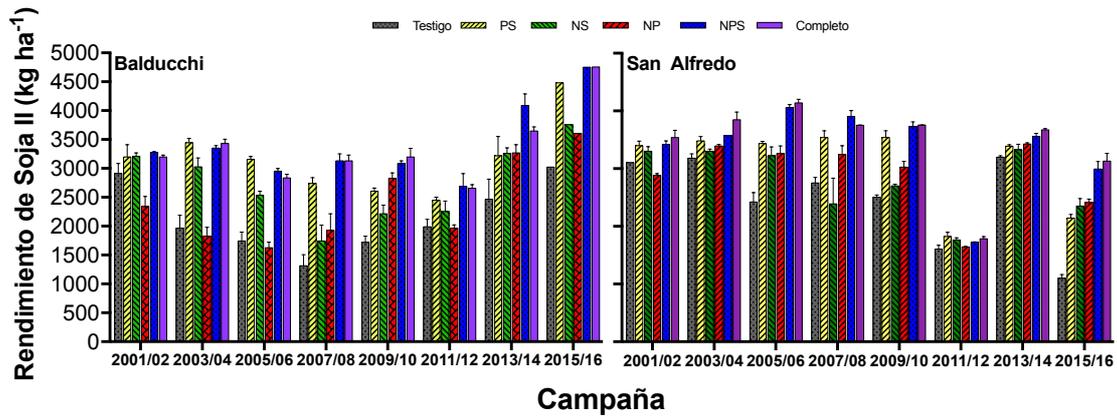


Fig. 4. Evolución de los rendimientos promedio de soja de segunda para los seis tratamientos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campañas 2001/02 a 2015/16.

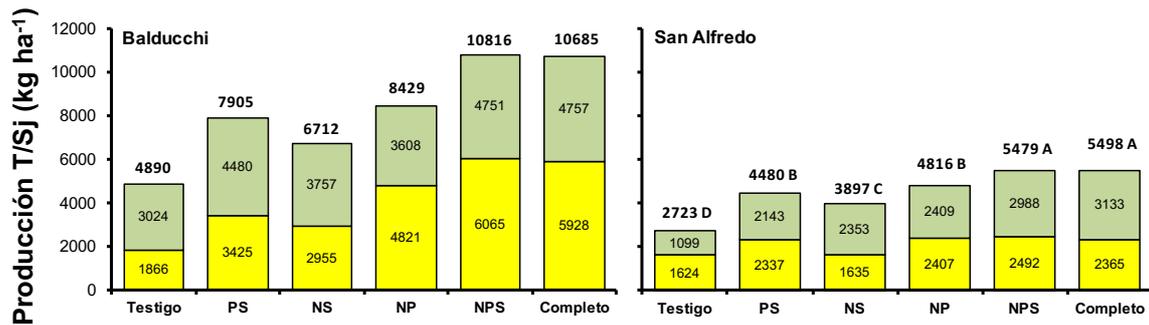


Fig. 5. Rendimientos acumulados de trigo y soja de segunda para los distintos tratamientos de fertilización en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2015/16.

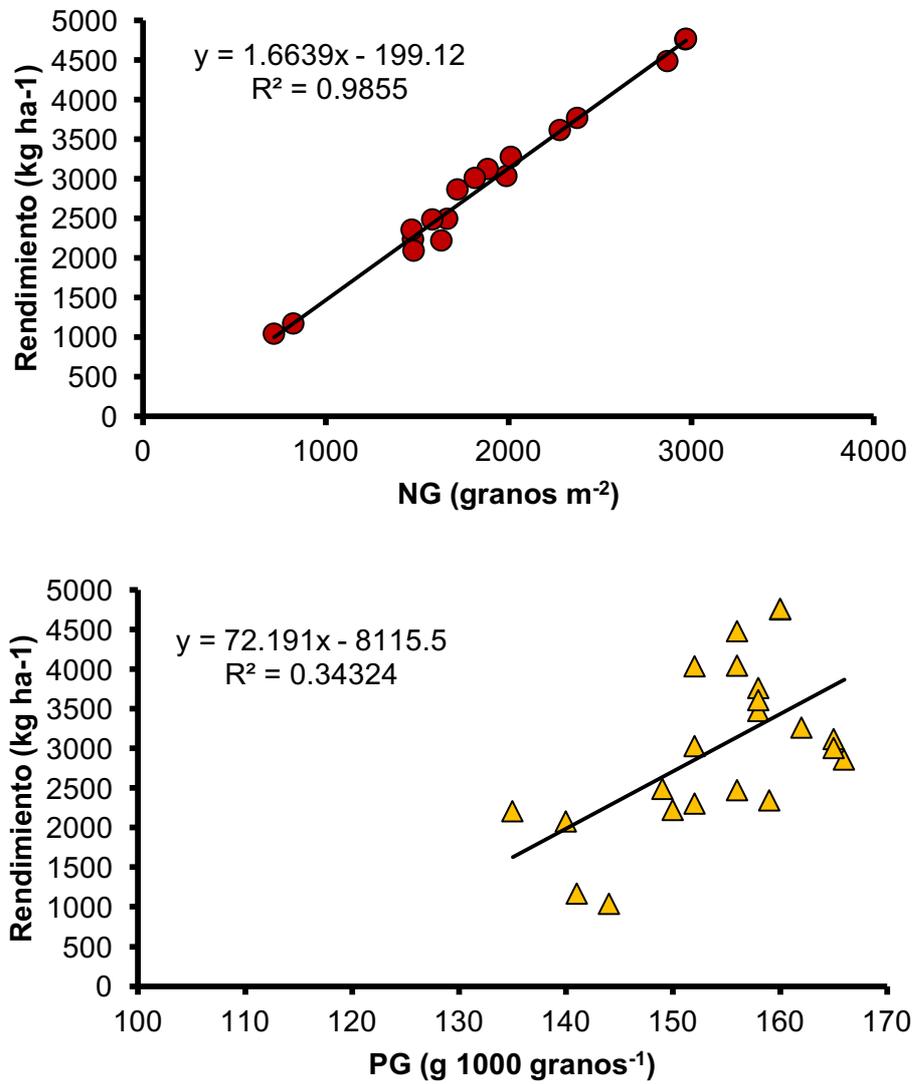


Fig. 6. Relaciones entre el rendimiento y sus componentes número de granos por m² (NG), y el peso de mil granos (PG). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campaña 2015/16.

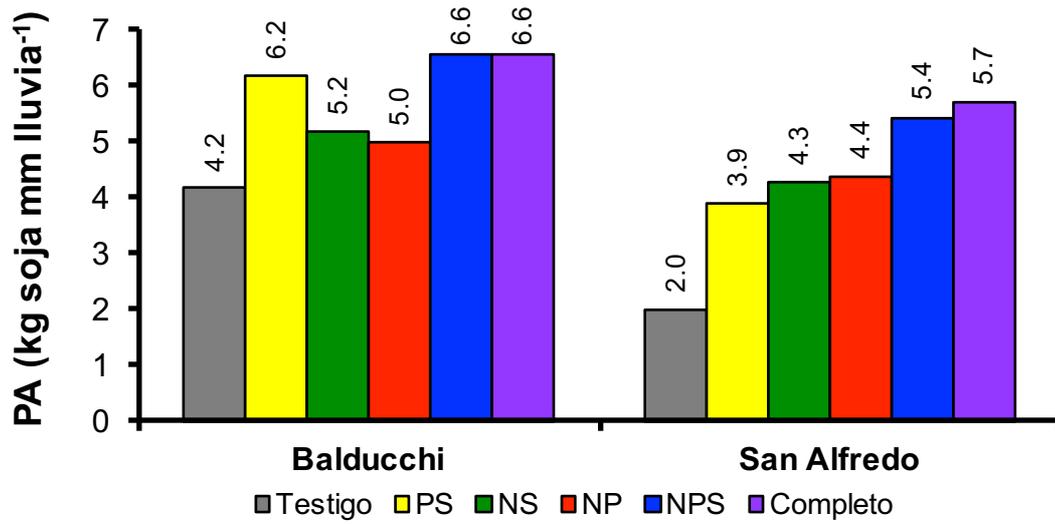


Fig. 7. Productividad del agua de lluvia (PA) en soja de segunda, calculada como cociente entre el rendimiento y la suma de las precipitaciones durante el ciclo, en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotacion M-T/Sj. Red de Nutricion CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campaña 2015/16.

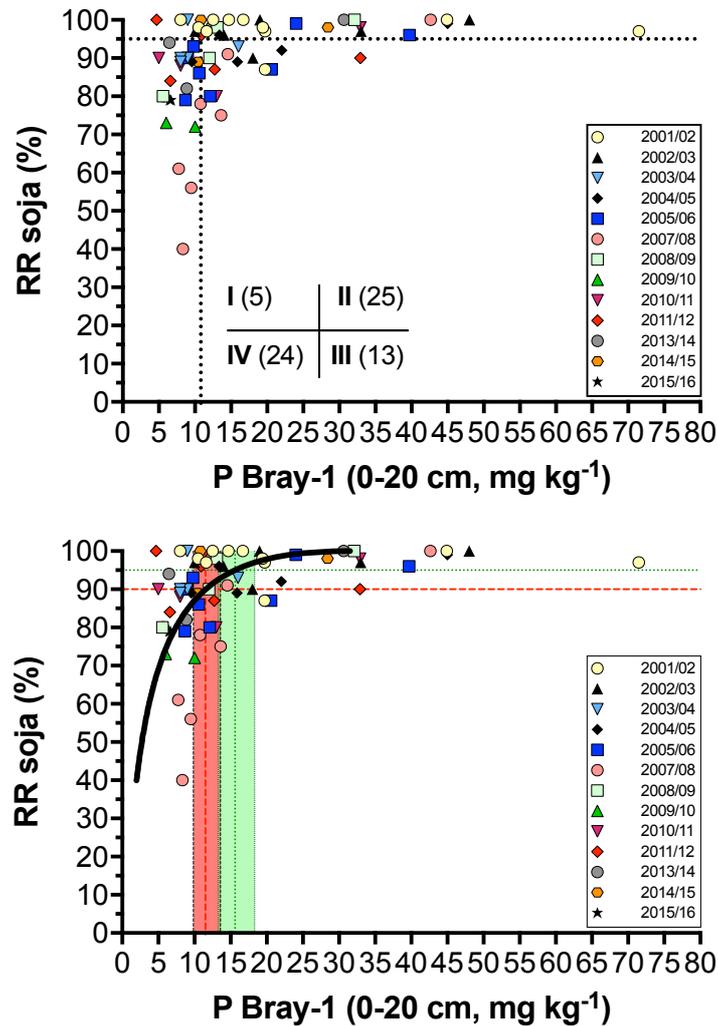


Fig. 8. Rendimiento relativo (RR) de soja (NS:NPS) en función del nivel de $P_{\text{Bray-1}}$ (0-20 cm) a la siembra. $n=67$. En A, las líneas punteadas negras indican un nivel crítico de 10.8 mg kg^{-1} de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener el 95% del rendimiento relativo, según el método gráfico de Cate-Nelson (Cate & Nelson, 1965). En B, la curva de ajuste ($r=0.48$, $p<0.0001$) y las estimaciones se obtuvieron mediante el método arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2017). Las líneas punteadas rojas y verdes indican niveles críticos de 11.6 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=9.8$ a 13.6 mg kg^{-1}) y 15.6 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=13.3$ a 18.3 mg kg^{-1}) de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener el 90% y el 95% del rendimiento relativo al máximo, respectivamente. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2013/14, 2014/15 y 2015/16.

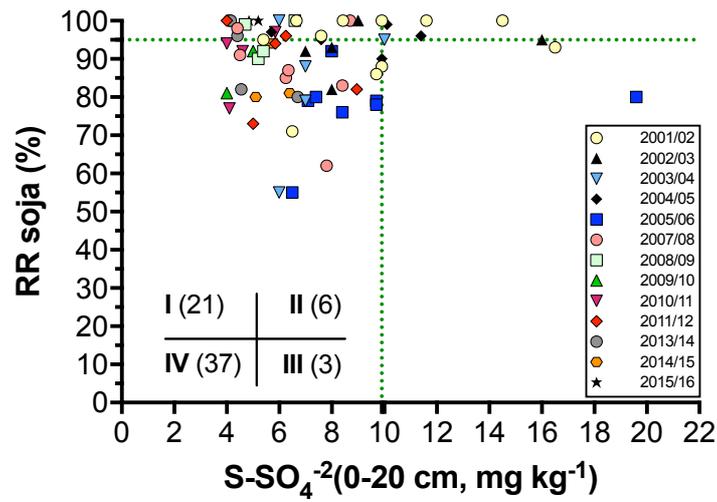


Fig. 9. Rendimiento relativo (RR) de soja (NP:NPS) en función del nivel de S-SO₄⁻² (0-20 cm) a la siembra. n=67. Las líneas punteadas indican un nivel crítico de 6.9 mg kg⁻¹ de S-SO₄⁻² para obtener 95% del rendimiento relativo según el método gráfico de Cate-Nelson (Cate & Nelson, 1965). Otros métodos de ajuste resultaron no significativos. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2013/14, 2014/15 y 2015/16.