



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

Resultados de la Campaña 2013/14: Soja de Primera y Soja de Segunda

Preparado por:

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

En la campaña 2013/14, 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 tres ensayos de soja de primera (La Blanca, La Hansa y Lambaré), y dos ensayos de soja de segunda (Balducchi y San Alfredo) en la campaña 2013/14. Los tres primeros bajo una rotación maíz-soja de primera-trigo/soja de segunda (M-Sj-T/Sj) y los dos últimos 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 (directa y residual) y el análisis de suelos en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
2. Evaluar la respuesta a la fertilización azufrada (directa y residual) y el análisis de $S-SO_4^{-2}$ en pre-siembra como método de diagnóstico.
3. Evaluar los rendimientos sin limitaciones nutricionales en cada uno de los sitios de experimentación.
4. Evaluar parámetros de suelo: P_{Bray-1} , y $S-SO_4^{-2}$ 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, las rotaciones establecidas son: M-Sj-T/Sj en La Blanca (Alejo Ledesma), La Hansa (Cañada de Gómez) y Lambaré (El Trébol), y M-T/Sj en Balducchi (Teodelina) y San Alfredo (Santa Emilia). Los seis tratamientos establecidos son similares en todos 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 2013/14 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 de soja de primera y del trigo, en el caso de los ensayos de soja de segunda, se muestrearon tratamientos selectos en los tres bloques para determinar: $P_{\text{Bray-1}}$, y $S\text{-SO}_4^{-2}$ a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm de profundidad. Se tomaron veinte “piques” por muestra superficial y 10 “piques” por muestra sub-superficial.

Se determinó el contenido de agua útil del suelo, de ser posible a 0-100 cm de profundidad, a la siembra, R1 y madurez fisiológica en los tratamientos PS, NS, NP y NPS. En los estados de 5-6 hojas y R3 se determinó el índice de verdor mediante el Minolta SPAD 502. A cosecha se determinó el rendimiento, y el peso de mil granos. Los rendimientos reportados se han corregido al 13.5% de humedad. Con la información de peso de mil granos, se estimó el número de granos por m^2 . En todos los tratamientos se tomaron muestras de grano para evaluar la concentración de nutrientes (información no presentada). Adicionalmente, se realizó un análisis de calidad de los granos, determinando contenidos de proteína y de aceite mediante técnicas no destructivas.

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 Octubre de 2013 y Marzo de 2014 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) y/o regresión, según corresponda, mediante el paquete estadístico Infostat v2013.

RESULTADOS

Análisis de suelos

Los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra se muestran en la **Tabla 3** y la **Fig. 1a y 1b**. Se observaron efectos residuales de fertilizaciones fosfatadas anteriores en todos los sitios en los niveles de $P_{\text{Bray-1}}$. Se observaron efectos residuales sobre los niveles de S en el suelo en Balducchi y San Alfredo (trigo/soja de segunda), mientras que este efecto no se detectó en los sitios con soja de primera (La Blanca, La Hansa y Lambaré).

En el caso de $P_{\text{Bray-1}}$, en Balducchi y San Alfredo (M-T/Sj), la residualidad se observó principalmente en superficie, con diferencias (NPS vs NS) de 586%, 200%, 86% y 36% en Balducchi, y de 529%, 219%, 161% y 241% en San Alfredo a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm, respectivamente. En La Blanca, La Hansa y Lambaré (M-Sj-T/Sj), también se observaron efectos residuales de la aplicación de P, principalmente en la superficie (0-20 cm) con diferencias (NPS vs NS) +419%, +474% y +250%, respectivamente. En La Blanca y La Hansa también se observaron diferencias en las capas sub-superficiales que variaron entre 42-135% y 82-238%, 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 13 años en todos los sitios (**Fig. 2**), a partir del aporte realizado 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%), 7 mg kg⁻¹ en La Blanca (45%), 33 mg kg⁻¹ en La Hansa (73%), y 37 mg kg⁻¹ en Lambaré (55%). En esta campaña (2013/14), los niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ de los tratamientos NS fueron menores que los considerados críticos para soja en Balducchi, San Alfredo y La Blanca, cercano al nivel crítico (alrededor de 12 mg kg⁻¹) en La Hansa, y más alto en Lambaré. Por otro lado, en los tratamientos NPS, los niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ superaron a los considerados críticos en todos los sitios.

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 del perfil de suelo 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 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.

Para $S-SO_4^{-2}$, la residualidad se expresó de forma distinta en cada sitio (**Fig. 1a y b**). En los sitios muestreados a la siembra de soja de primera (La Blanca, La Hansa y Lambaré), los niveles fueron bajos y no se observaron efectos residuales de la fertilización azufrada (**Fig. 1a**). En Balducchi, la residualidad se observa principalmente debajo de los primeros 20 cm, mientras que en San Alfredo, las mayores diferencias se observaron en superficie (**Fig. 1b**). Las diferencias (NPS vs NP) fueron de -12%, 37%, 74% y 95% en Balducchi y de 91%, 38%, 21% y 22% 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 de $S-SO_4^{-2}$, umbral crítico mencionado en la literatura, en los tratamientos NP y NPS en ambos sitios.

Rendimientos y respuestas a la fertilización

Las precipitaciones fueron abundantes durante todo el ciclo del cultivo (Octubre-Marzo), con menores registros en Diciembre, pero con excesos hacia el final del ciclo por las lluvias registradas desde fines de Enero hasta mediados de Marzo (**Tabla 1**). Los contenidos de agua a R1 y madurez fisiológica reflejan esta condición de exceso hacia los estados finales del ciclo del cultivo (**Fig. 3**).

En Lambaré, se alcanzaron los rendimientos más altos, entre 5311-6126 kg ha⁻¹, alcanzando un nuevo récord de rendimiento de soja de primera. En La Blanca, los rendimientos fueron más bajos que las últimas campañas en todos los tratamientos, mientras que en La Hansa los rendimientos se mantuvieron estables comparados con campañas previas (**Tabla 4, Fig. 4**). En los sitios La Hansa y Lambaré, solo el Testigo fue significativamente diferente del resto de los tratamientos, que no difirieron entre sí, con respuestas significativas a PS, NS, y NP. Por otra parte, en La Blanca se observaron respuestas a la aplicación de P (666 kg ha⁻¹) y S (659 kg ha⁻¹) cuando ambos nutrientes se aplicaron en forma conjunta (tratamientos PS y NPS). Si bien la respuesta a micronutrientes no fue significativa, los datos muestran diferencias (Completo vs NPS) de alrededor de +2-3%.

En los sitios con soja de segunda, los rendimientos alcanzados variaron entre 2464 y 4089 kg soja ha⁻¹ en Balducchi para los tratamientos Testigo y NPS, respectivamente; mientras que en San Alfredo el rango de rendimientos fue más estrecho: entre 3198 y 3672 kg soja ha⁻¹, para los tratamientos Testigo y Completo, respectivamente. En Balducchi, se observaron respuestas significativas, y de igual magnitud, a P, a S, y a N (aplicado en el trigo previo). El Testigo fue significativamente menor al resto de los tratamientos, con una brecha máxima del 66%, respecto del tratamiento NPS. En San Alfredo, solo se observaron respuestas significativas a P. El tratamiento Testigo fue menor a

todos los tratamientos, excepto aquel que nunca recibió P en la rotación (NS). El resto de los tratamientos fueron muy similares entre sí.

En soja de primera, las eficiencias de uso de agua (EUA) variaron entre 4.1-7.1 y 4.9-8.3 kg soja ha⁻¹ mm⁻¹, para los tratamientos Testigo y Completo, respectivamente (**Fig. 5A**). Los sitios mostraron diferencias entre sí, con mayores EUA en Lambaré, seguido de La Blanca y, por último, La Hansa. Entre tratamientos, en general, los fertilizados (PS, NS, NP, NPS y Completo) superaron al Testigo pero sin diferencias entre sí. En La Blanca, aquellos tratamientos que recibieron P+S (PS, NPS y Completo) fueron superiores respecto de los que no recibieron P y S combinados (Testigo, NS, NP). Esta interacción muestra los efectos positivos de una fertilización equilibrada. En soja de segunda, las EUA variaron entre 3.8-4.6 y 5.1-6.2 kg soja ha⁻¹ mm⁻¹, para los tratamientos Testigo y NPS, respectivamente (**Fig. 5B**).

Referido a la eficiencia de uso de los nutrientes (**Tabla 5**), la PPF de P se estimó entre 146 y 167 y entre 103 y 204 kg grano por kg de P aplicado, para los distintos tratamientos de los sitios de soja de primera y de segunda, respectivamente. Estos valores están por debajo de la estimación de PPF de P a nivel nacional que es del orden de 436 kg de grano por kg de P aplicado para los últimos años. Las diferencias en PPF de P entre los ensayos de la Red y el promedio nacional, se deben a la baja aplicación de P a nivel nacional, demostrada por el alto BPN de P, que se estima en 2.4 kg P extraído por kg de P aplicado, versus estimaciones de BPN de P de los ensayos de la Red que variaron entre 0.10 y 1.09 kg P extraído por kg de P aplicado. Esto demuestra la importancia de utilizar más de un indicador de eficiencia de uso de nutrientes ya que se pueden obtener altas PPF a costa de la fertilidad del suelo (con altos BPN). Por otro lado, la fertilidad del suelo se debe mantener o mejorar (con BPN para P cercanos a 1 o aun inferiores) pero alcanzando adecuados niveles de PPF, los cuales deberían ser de al menos 180-200 kg de grano por kg de P aplicado en soja.

El rendimiento se relacionó estrechamente con número de granos por m² (p<0.01; R² = 0.99) y, en contraste, no se relacionó con el peso de los granos (p>0.05; **Fig. 6**). Asimismo, se observó que en soja de primera se logró un mayor número de granos por metro cuadrado respecto de soja de segunda, pero que a su vez fueron más livianos (**Fig. 6**).

El índice de verdor mostró diferencias entre tratamientos fertilizados en los tres sitios con soja de primera al momento de 5-6 hojas, y solo en uno de los tres sitios al momento de R3 en soja de primera y R2 en soja de segunda (**Tabla 7**). En V5-6, la Hansa y Lambare muestran los valores más altos en los tratamientos NPS, mientras que en La Blanca se observan en el tratamiento NP. En el estado R3, se observan diferencias significativas solamente en Lambaré. En soja de segunda, tanto en Balducchi como en San Alfredo, los mayores valores de IV se registraron en el tratamiento NPS y los menores en el Testigo.

En cuanto a la calidad de los granos, las principales diferencias no se detectaron entre tratamientos (las cuales no resultan interpretables en términos agronómicos) sino entre los cultivos de primera y de segunda. Esta diferencia se expresó en un mayor contenido de aceite y menor de proteína en soja de primera, y menor contenido de aceite y mayor de proteína en soja de segunda.

Relación entre variables de suelo 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 soja (de primera y de segunda) de la Red de Nutrición, incluyendo once sitios en el 2001/02, seis en 2002/03, cinco en 2003/04, cinco en 2004/05, ocho en 2005/06, siete 2007/08, cuatro sitios 2008/09, dos sitios 2009/10, cuatro en 2010/11, cinco en 2011/12, y cinco sitios en 2013/14 (n=62).

Considerando los 62 casos (sitios-años) de las campañas de soja de primera y de segunda, la relación entre el rendimiento relativo (rendimiento tratamiento NS/rendimiento tratamiento NPS) y la concentración de $P_{\text{Bray-1}}$ (**Fig. 7**) indica que:

- Según el método gráfico de Cate y Nelson podríamos estimar un rango crítico entre 12-14 mg kg^{-1} :
 - el 66% de los casos con $P_{\text{Bray-1}}$ menor de 12 mg kg^{-1} presentó rendimientos relativos menores del 90%;
 - el 88% de los casos con $P_{\text{Bray-1}}$ superior a 14 mg kg^{-1} presentó rendimientos relativos mayores o iguales al 90%.
- Según el método estadístico de Cate y Nelson:
 - El nivel crítico de respuesta a P resultó de 11.3 mg kg^{-1} , para lograr el 87% del rendimiento relativo.
- Ajustando una función matemática de respuesta con la restricción de que tienda a un máximo = 1 (100 % de rendimiento relativo):
 - Se requieren niveles entre 13.3 y 21.2 mg kg^{-1} de $P_{\text{Bray-1}}$ para lograr entre 90 y 95% del rendimiento relativo de soja, respectivamente.

Los rendimientos y las respuestas a S se pudieron relacionar con la concentración de S-SO_4^{-2} a 0-20 cm (**Fig. 8**), no así con la disponibilidad a 0-60 cm (datos no mostrados). En general, los niveles de S-SO_4^{-2} en superficie (0-20 cm) a la siembra son bajos, menores de 10 mg kg^{-1} , por lo que se maneja un rango reducido niveles de S en el suelo. Surge la necesidad de evaluar

metodologías alternativas basada en el análisis de planta o grano con el fin de poder diagnosticar la deficiencia de S en el cultivo de soja.

Considerando los 62 casos (sitios-años) de las campañas de soja de primera y de segunda, la relación entre el rendimiento relativo (rendimiento tratamiento NP/rendimiento tratamiento NPS) y la concentración de $S-SO_4^{-2}$ (**Fig. 8**) indica que, según el método gráfico de Cate y Nelson:

- el 61% de los casos con niveles de $S-SO_4^{-2}$ menores a 10 mg kg^{-1} presentaron rendimientos relativos de soja, menores al 95%;
- el 88% de los casos con $S-SO_4^{-2}$ superior a 10 mg kg^{-1} presentaron rendimientos relativos de soja, mayores o iguales al 95%.

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 S-sulfato.
2. La buena disponibilidad de agua a la siembra y las precipitaciones durante el ciclo no limitaron los rendimientos, pero se registraron excesos de agua hacia el final del ciclo del cultivo en todos los sitios, que generó una alta presión de enfermedades de fin de ciclo y/o atrasos significativos de las fechas de cosecha, principalmente en soja de segunda en San Alfredo.
3. Luego de catorce años en la rotación M-Sj-T/S (18 cultivos), en esta campaña, los niveles de rendimiento de soja de primera de los tratamientos Testigo muestran el agotamiento de las reservas de N, P y S de estos suelos, alcanzando en promedio un 20% (13-24%) de respuesta a la aplicación del tratamiento PS o NPS en la rotación. Adicionalmente, la aplicación del tratamiento Completo generó respuestas entre 15-27% respecto del Testigo.
4. Luego de catorce años en la rotación M-T/Sj (21 cultivos), en esta campaña, los niveles de rendimiento de soja de segunda de los tratamientos Testigo muestran el agotamiento de las reservas de N, P y S de estos suelos, alcanzando en promedio un 39% (11-66%) de respuesta a la aplicación del tratamiento NPS en la rotación. Adicionalmente, la aplicación del tratamiento Completo generó respuestas entre 15-48% respecto del Testigo.
5. En soja de primera, se observaron respuestas significativas a P y a S en La Blanca. En La Hansa y Lambare, las respuestas observadas fueron a PS, NS y NP.
6. En soja de segunda se observaron respuestas a P, a S, y a N (en las gramíneas) ya sea solos o combinados en Balducchi. En San Alfredo solo se observó respuesta a P y a PS.

7. La eficiencia de uso de agua (EUA) resultaron bajas y similares en La Hansa y La Blanca debido a las abundantes precipitaciones registradas, mientras que en Lambaré se observaron eficiencias superiores más cercanas a las óptimas. En los tres sitios de soja de primera, en general, los tratamientos fertilizados presentaron mayor EUA que los Testigos. En La Blanca, la EUA se incrementó cuando se realizó la aplicación conjunta de P+S, respecto de cuando se fertilizó solo con P o S.
8. La EUA de soja de segunda en función de las precipitaciones registradas resultaron bajas en ambos sitios, expresando mayores diferencias entre tratamientos en el sitio Balducchi donde el tratamiento NPS casi duplicó la EUA del Testigo.
9. En cuanto a los componentes del rendimiento, en soja de primera se observó un mayor número de granos por metro cuadrado respecto de soja de segunda, que expresó un mayor peso de los mismos.
10. La calidad del grano de soja principalmente mostró diferencias entre soja de primera y soja de segunda, con una tendencia a mayores contenido de aceite en soja de primera y mayores contenidos de proteína en soja de segunda. Las diferencias entre tratamientos solo se observaron en los sitios Balducchi (proteína y aceite) y La Blanca (proteína).
11. Los sitios-años con niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ menores de $11-12 \text{ mg kg}^{-1}$ presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de $20-21 \text{ mg kg}^{-1}$ de $P_{\text{Bray-1}}$, la probabilidad de respuesta disminuyó a menos del 5%.
12. Se estimó un nivel crítico de respuesta de soja a la fertilización azufrada de 10 mg kg^{-1} de S-SO_4^{-2} a la siembra para obtener el 95% del rendimiento relativo.
13. La calidad de los granos de soja mostró diferencias entre soja de primera y soja de segunda. El contenido de proteína promedio fue de 36.7% y 39% en grano de soja de primera y de segunda, respectivamente. En contraparte, el contenido de proteína promedio fue de 20.3% y 18.5% en grano de soja de primera y de segunda, respectivamente. Solo se observaron diferencias entre tratamientos en Balducchi y La Blanca en contenido de proteína. En aceite, solo se detectaron diferencias entre tratamientos en Balducchi.

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

- 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. 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. Soja. Campaña 2013/14.

Establecimiento	Balducci	San Alfredo	La Blanca	La Hansa	Lambaré
CREA	Teodelina	Santa Isabel	Gral. Baldissera	Amstrong-Montes de Oca	San Jorge-Las Rosas
Serie Suelo	Santa Isabel	Hughes	La Bélgica	Bustinza	El Trébol
Labranza	Siembra directa				
Años agricultura	+ 60	15	6	+20	12
Rotación	M-T/Sj		M-Sj-T/Sj		
Antecesor	Trigo		Maíz		
Variedad	SPS 4x4				
Fecha de siembra	06/12/2013	20/12/2013	20/11/2013	19/11/2013	19/11/2013
Densidad lograda (pl m⁻²)	37	34	18.7	11.2	14.3
Distancia entre surcos (cm)	42	42	52	35	35
Fecha de Cosecha	18/04/2014	28/05/2014	31/03/2014	16/04/2013	16/04/2014
Lámina de agua útil a la siembra (mm) (0-100 cm)	-	-	102	151	141
Precipitaciones (mm)					
Octubre	-	-	147	81	69
Noviembre	-	-	110	262	243
Diciembre	39	40	43	78	156
Enero	149	96	135	69	101
Febrero	202	309	172	228	115
Marzo	94	99	104	158	84
Abril	172	153	-	-	-
Octubre-Marzo	-	-	711	876	768
Diciembre-Abril	656	697	-	-	-

Tabla 2a. Tratamientos de fertilización establecidos en los sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré a la siembra de la soja. Rotación M-Sj-T/Sj. Región CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2013/14.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
Fertilizante (kg ha⁻¹)						
FMA	-	132	-	132	132	132
Azufertil (19%)	-	-	-	-	-	100
Oxido de magnesio (36%)	-	-	-	-	-	30
Cloruro de potasio	-	97	97	-	97	97
B10	-	-	-	-	-	10
Zn 40	-	-	-	-	-	5
Cu25	-	-	-	-	-	4
Fertilizante total (kg ha⁻¹)	-	132		132	132	132
Nutrientes (kg ha⁻¹)						
N	-	14	-	14	14	14
P	-	30	-	30	30	30
K	-	-	-	-	-	50
Mg	-	-	-	-	-	11
S	-	18	18	-	18	18
B	-	-	-	-	-	1
Zn	-	-	-	-	-	46
Cu	-	-	-	-	-	1
Cl	-	-	-	-	-	2

Tabla 2b. Tratamientos de fertilización establecidos en los sitios Balducchi y San Alfredo a la siembra de Trigo. Rotación M-T/S. Región CREA Sur de Santa Fe. Trigo/Soja de segunda. Campaña 2013/14.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
Fertilizante (kg ha⁻¹)						
FMA	-	195	-	195	195	195
Urea	-	-	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⁻¹)	0	305	330	375	485	598
Nutrientes (kg ha⁻¹)						
N	-	20	101	102	102	102
P	-	44	0	44	44	44
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/soja de segunda en los sitios Balducchi y San Alfredo, y previo a la siembra de soja de primera en La Blanca, La Hansa y Lambaré. Rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2013/14.

Ensayo	Tratamiento	$P_{\text{Bray-1}}$	$S\text{-SO}_4^{-2}$	$S\text{-SO}_4^{-2}$	Nan
		ppm	ppm	kg ha ⁻¹	ppm
		0-20 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20/20-40 cm
Balducchi	PS	-	-	-	23/18
	NS	6	-	-	-
	NP	-	6.7	40	-
	NPS	39	5.9	51	23/16
San Alfredo	PS	-	-	-	44/26
	NS	7	-	-	-
	NP	-	4.4	34	-
	NPS	41	8.5	50	44/30
La Blanca	PS	-	-	-	42/26
	NS	9	-	-	-
	NP	-	4.6	33	-
	NPS	46	4.7	34	41/29
La Hansa	PS	-	-	-	50/29
	NS	12	-	-	-
	NP	-	4.1	31	-
	NPS	71	4.2	31	60/28
Lambaré	PS	-	-	-	53/30
	NS	31	-	-	-
	NP	-	4.2	31	-
	NPS	107	4.6	31	50/27

Tabla 4. Rendimientos de soja de primera y soja de segunda para los seis tratamientos evaluados y respuestas residuales a diferentes combinaciones de N, P, S y otros nutrientes en los cinco ensayos. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

Tratamiento	M-T/S Soja de Segunda			M-S-T/S Soja de Primera			
	Balducci	San Alfredo	Promedio	La Blanca	La Hansa	Lambaré	Promedio
	<i>Rendimientos (kg ha⁻¹)</i>						
Testigo	2464 c	3198 d	2831	3056 b	3309 b	5311 b	3892
PS	3218 b	3392 bc	3305	3747 a	4045 a	5962 a	4585
NS	3260 b	3328 cd	3294	3096 b	4001 a	6007 a	4368
NP	3268 b	3427 bc	3347	3103 b	4093 a	6126 a	4441
NPS	4089 a	3558 ab	3823	3762 a	4094 a	5984 a	4613
Completo	3648 ab	3672 a	3660	3885 a	4166 a	6117 a	4723
DMS (5%)	605	178	-	542	331	370	-
Nutrientes	<i>Respuestas (kg ha⁻¹)</i>						
N	870	166	518	15	48	23	29
P	828	230	529	666	93	-23	246
S	821	131	476	659	1	-142	173
PS	754	194	474	691	737	650	693
NS	796	130	463	39	692	696	476
NP	804	229	516	46	784	815	549
NPS	1624	360	992	706	785	673	721
Otros ##	-440	114	-163	123	72	133	109

Rendimientos seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. ## Otros incluye K, Mg y Zn.

Tabla 5a. Estimaciones de indicadores de eficiencia de uso de nutrientes (N, P y S) para los tratamientos de fertilización en los sitios con Soja de primera. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2013/14.

Ensayo	Tratamiento	Productividad parcial del factor (PPF)			Balance parcial de nutrientes (BPN) [#]		
		N	P	S	N	P	S
		kg soja kg nutriente aplicado ⁻¹			kg extraído kg aplicado ⁻¹		
La Blanca	PS	-	125	208	-	0.54	0.58
	NS	-	-	172	-	-	0.48
	NP	-	103	-	-	0.55	-
	NPS	-	125	209	-	0.55	0.59
	Completo	-	130	216	-	0.67	0.60
La Hansa	PS	-	135	225	-	0.72	0.63
	NS	-	-	222	-	-	0.62
	NP	-	136	-	-	0.73	-
	NPS	-	136	227	-	0.73	0.64
	Completo	-	139	231	-	0.74	0.65
Lambaré	PS	-	199	331	-	1.06	0.93
	NS	-	-	334	-	-	0.94
	NP	-	204	-	-	1.09	-
	NPS	-	199	332	-	1.06	0.93
	Completo	-	204	340	-	1.09	0.95

[#] Para la estimación del balance de nutrientes se consideraron concentraciones de P y S en grano de 0.53%, y 0.28%, respectivamente.

Tabla 5b. Estimaciones de indicadores de eficiencia de uso de nutrientes (N, P y S) para los tratamientos de fertilización en los dos sitios con Trigo/Soja de segunda. Para los cálculos se consideró la mitad de la dosis de P y S aplicada al trigo (ver Tabla 2). Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo/Soja de segunda. Campaña 2013/14.

Ensayo	Tratamiento	Productividad parcial del factor (PPF)			Balance parcial de nutrientes (BPN) [#]		
		N	P	S	N	P	S
		kg trigo kg nutriente aplicado ⁻¹			kg extraído kg aplicado ⁻¹		
Balducchi	PS	-	146	153	-	0.39	0.43
	NS	-	-	311	-	-	0.44
	NP	-	149	-	-	0.40	-
	NPS	-	186	389	-	0.50	0.55
	Completo	-	166	347	-	0.44	0.49
San Alfredo	PS	-	154	323	-	0.00	-
	NS	-	-	317	-	-	0.24
	NP	-	156	-	-	0.11	-
	NPS	-	162	339	-	0.10	0.26
	Completo	-	167	350	-	0.10	0.26

[#] Para la estimación del balance de nutrientes se consideraron concentraciones de P y S en grano de soja de 0.53%, y 0.28%, respectivamente.

Tabla 6. Componentes del rendimiento de soja (Granos por m² y Peso mil granos) para los seis tratamientos evaluados en los tres ensayos con soja de primera (La Blanca, La Hansa y San Alfredo) y los dos con soja de segunda (Balducchi y San Alfredo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

Ensayo	Tratamiento	Granos m ⁻²	Peso mil granos (g)
La Blanca	Testigo	2194 b	140
	PS	2770 a	135
	NS	2230 b	139
	NP	2226 b	139
	NPS	2796 a	134
	Completo	2738 a	142
La Hansa	Testigo	2490 b	133
	PS	2969 a	136
	NS	2965 a	135
	NP	3077 a	133
	NPS	3024 a	135
	Completo	3054 a	137
Lambaré	Testigo	3848 b	138 c
	PS	4251 a	140 bc
	NS	4334 a	139 c
	NP	4279 a	143 ab
	NPS	4294 a	139 bc
	Completo	4220 a	145 a
Balducchi	Testigo	1284 c	182 bc
	PS	1927 ab	184 bc
	NS	1783 b	182 c
	NP	1832 ab	184 b
	NPS	2222 a	188 a
	Completo	1978 ab	188 a
San Alfredo	Testigo	1990 bc	161d
	PS	2085 abc	163 cd
	NS	1976 c	169 b
	NP	2087 abc	164 c
	NPS	2105 ab	169 b
	Completo	2130 a	173 a

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

Tabla 7a. Índice de verdor (Minolta SPAD 502) para cuatro tratamientos selectos en los tres ensayos con soja de primera (La Blanca, La Hansa y San Alfredo) y los dos con soja de segunda (Balducchi y San Alfredo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

Ensayo	Tratamiento	V5-6	R3
La Blanca	PS	33.3 b	35.5
	NS	37.0 b	39.3
	NP	42.0 a	37.1
	NPS	37.0 b	39.8
La Hansa	PS	37.0 b	40.1
	NS	39.6 a	41.3
	NP	39.7 a	41.7
	NPS	40.9 a	42.7
Lambaré	PS	40.3 b	38.7 c
	NS	39.0 b	40.0 bc
	NP	42.8 a	41.0 b
	NPS	42.6 a	42.6 a
Balducchi	PS	44.3 b	44.1 c
	NS	46.1 b	46.2 b
	NP	45.1 b	45.2 bc
	NPS	48.5 a	48.5 a
San Alfredo	PS	41.2	41.6 c
	NS	44.4	45.3 ab
	NP	43.0	43.5 bc
	NPS	44.3	45.7 a

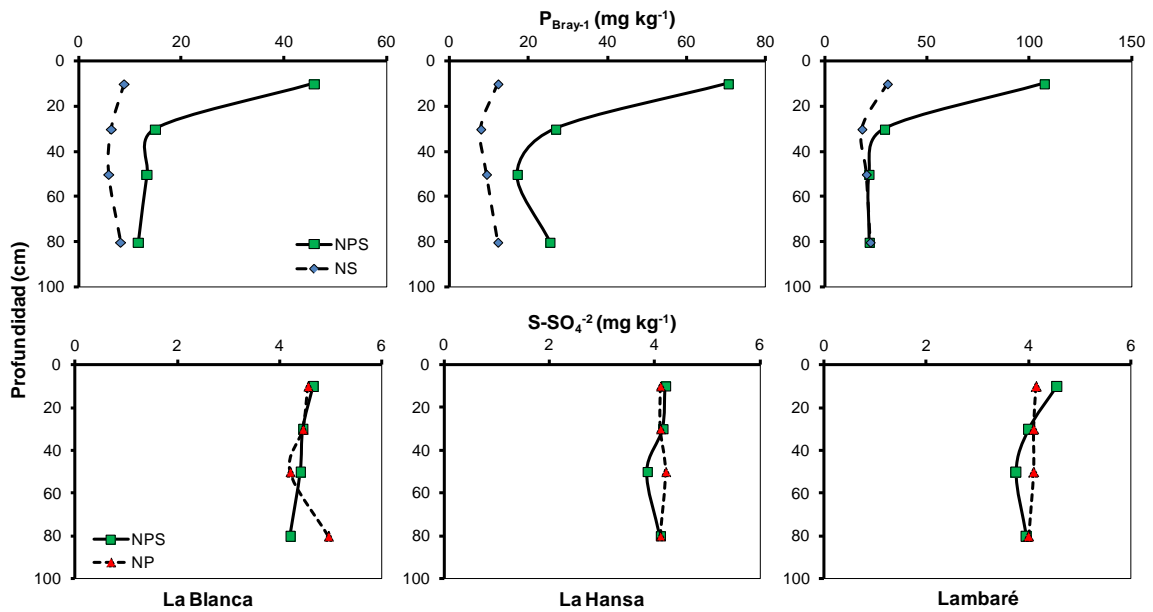


Fig. 1a. Distribución de la concentración de P_{Bray-1} y $S-SO_4^{-2}$ a 0-100 cm en pre-siembra de soja de primera para tratamientos selectos en los sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré. Rotación M-Sj-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de Primera. Campaña 2013/14.

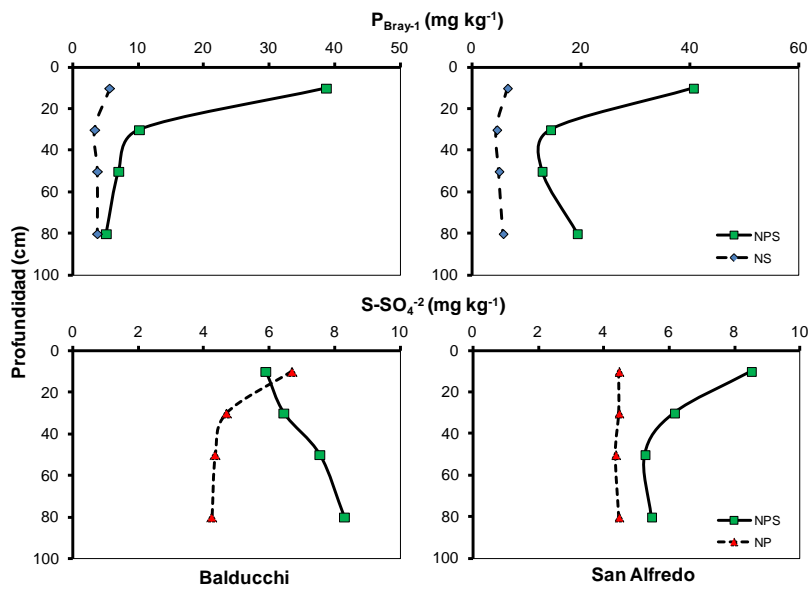


Fig. 1b. Distribución de la concentración de P_{Bray-1} y $S-SO_4^{-2}$ a 0-100 cm en pre-siembra de trigo previo a soja de segunda para tratamientos selectos en los sitios Balducchi y San Alfredo. Rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Trigo/Soja de segunda. Campaña 2013/14.

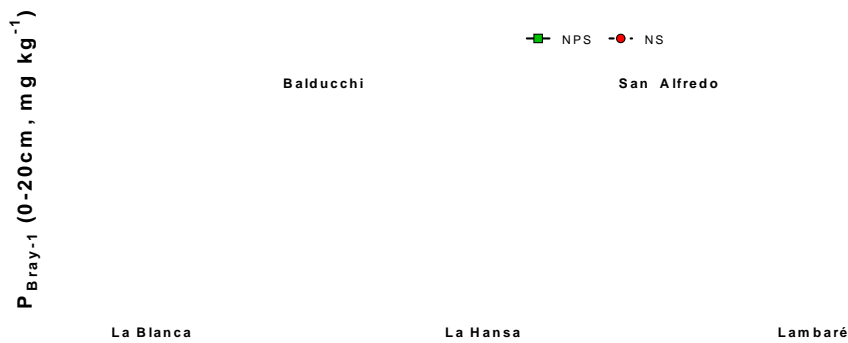


Fig. 2. Evolución de P Bray (0-20 cm), desde el establecimiento de los ensayos bajo rotación M-T/Sj (Balducchi y San Alfredo) y M-Sj-T/Sj (La Blanca, La Hansa y Lambaré) en los tratamientos NS y NPS. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (2000/01) a 14 (2013/14).

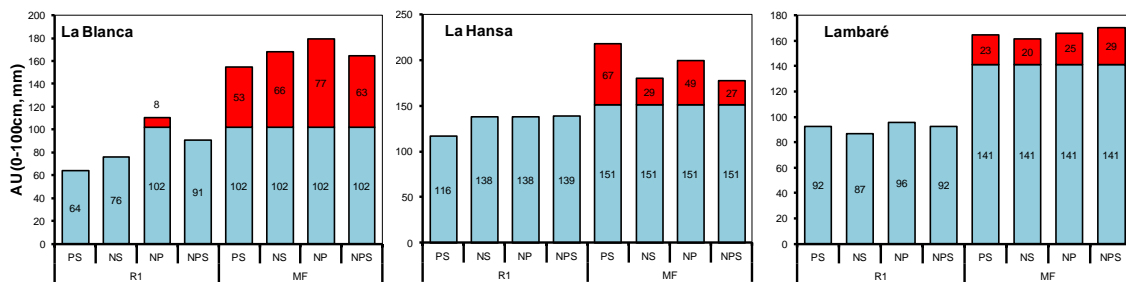


Fig. 3. Agua útil (AU, mm), hasta el metro de profundidad en inicios de floración (R1) y madurez fisiológica (MF) para los tratamientos PS, NS, NP y NPS, en los ensayos bajo M-Sj-T/Sj (La Blanca, La Hansa y Lambaré). Las barras rojas indican lámina en exceso por encima de capacidad de campo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2013/14.



Fig. 4a. Evolución de los rendimientos promedio de soja de primera para los seis tratamientos en los sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campañas 2001/02 a 2013/14.



Rendimiento de trigo (kg ha^{-1})

Balducchi

San Alfredo

Campaña

Fig. 4b. Evolución de los rendimientos promedio de soja de segunda para los seis tratamientos en los sitios bajo rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda. Campañas 2001/02 a 2013/14.

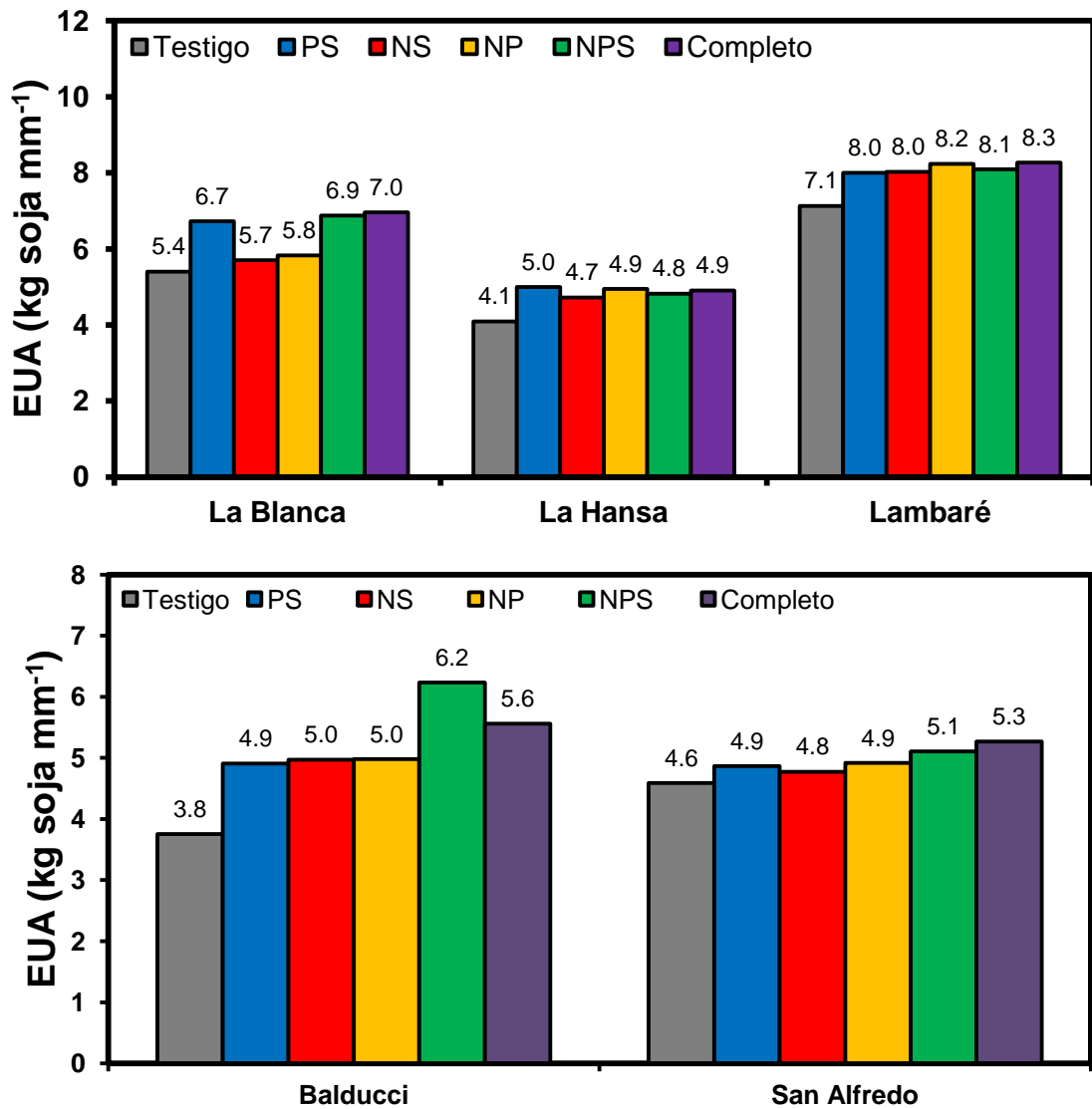


Fig. 5. Eficiencia de uso del agua (EUA) en soja de primera (A) y soja de segunda (B), calculada como cociente entre el rendimiento de soja y la suma de las precipitaciones durante el ciclo más la diferencia de almacenaje de agua en el suelo entre la siembra y madurez fisiológica, para los sitios bajo rotacion M-Sj-T/Sj (La Blanca, La Hansa y Lambaré) y M-T/Sj (Balducci y San Alfredo). Red de Nutricion CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

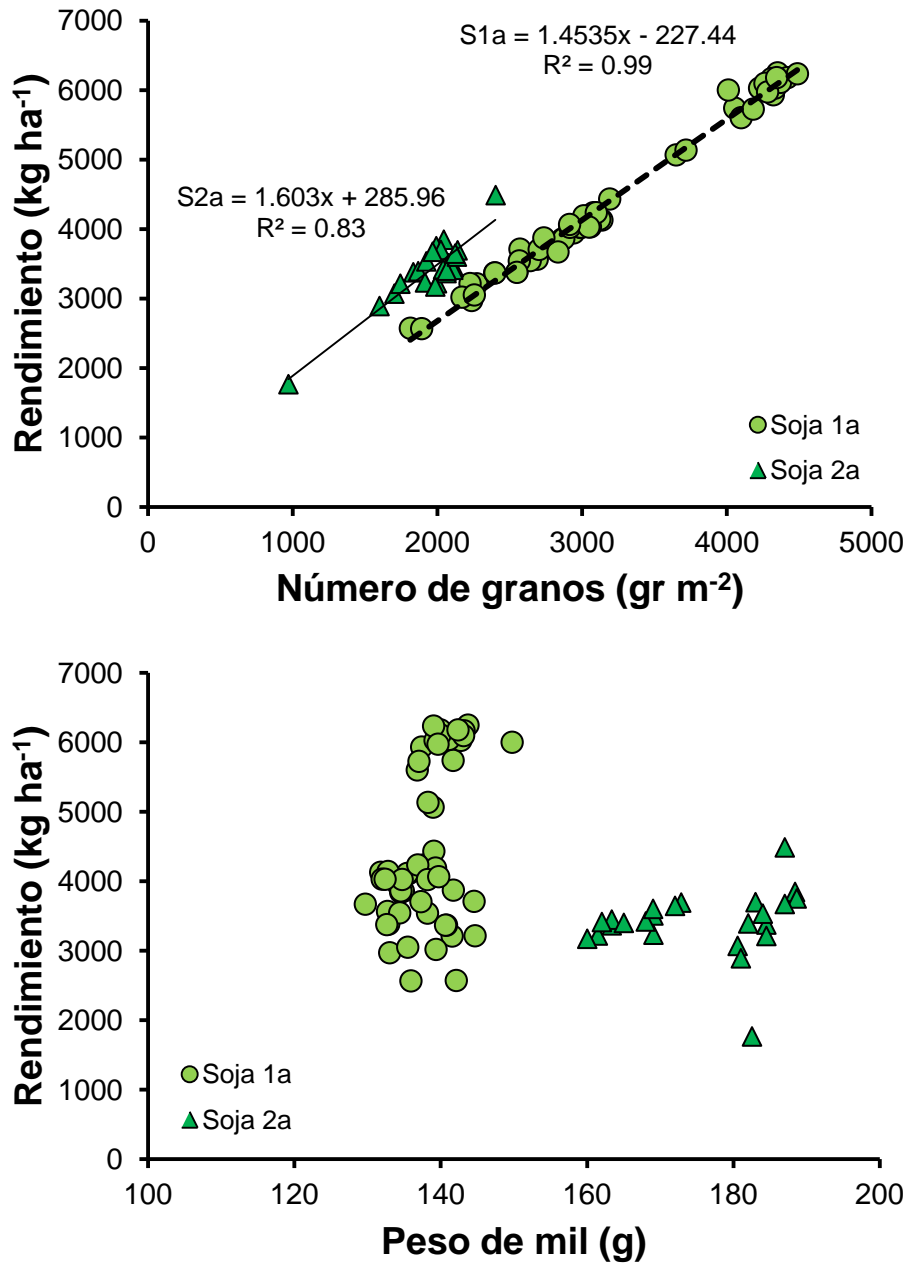


Fig. 6. Relaciones entre el rendimiento y el número de granos por m² (arriba) y el peso de mil granos (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

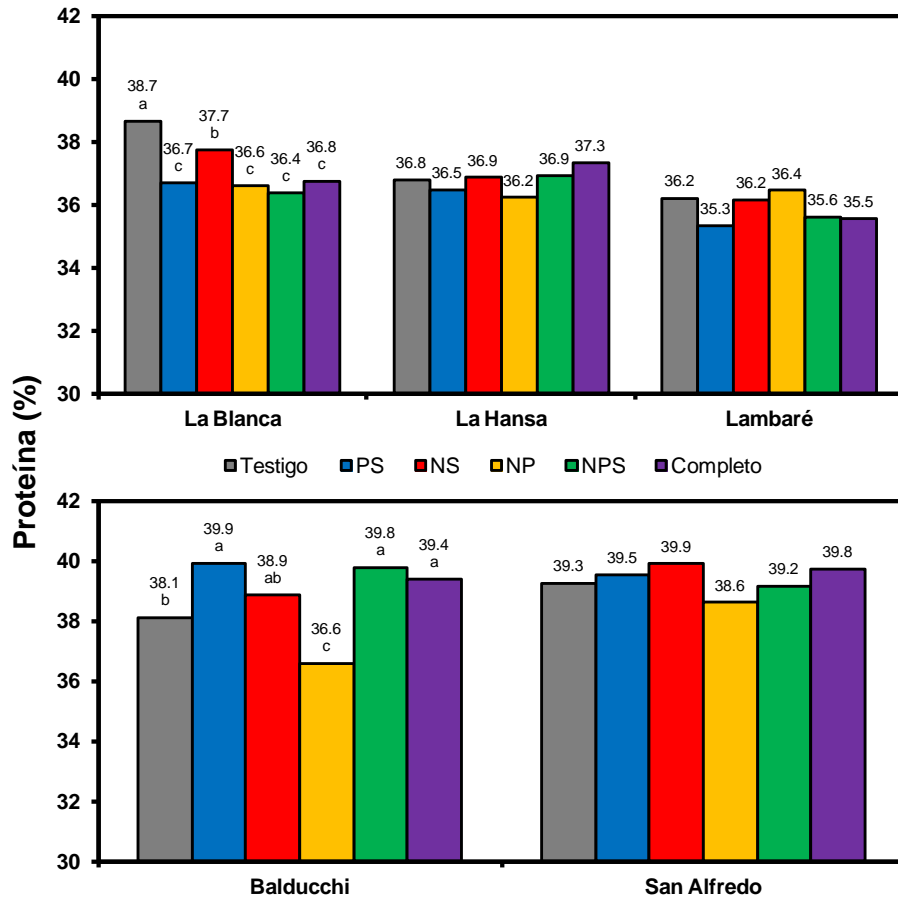


Fig. 7. Contenido de proteína (%) en soja de primera -sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré- y soja de segunda -sitios Balducchi y San Alfredo-. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

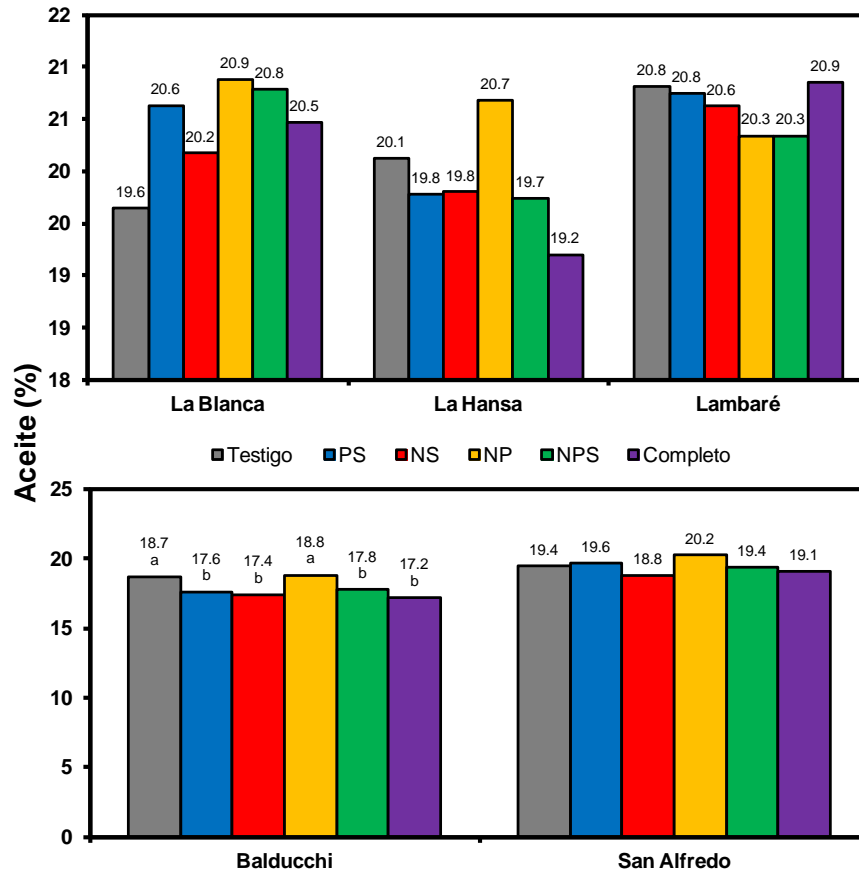


Fig. 8. Contenido de aceite (%) en soja de primera -sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré- y soja de segunda – sitios Balducchi y San Alfredo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

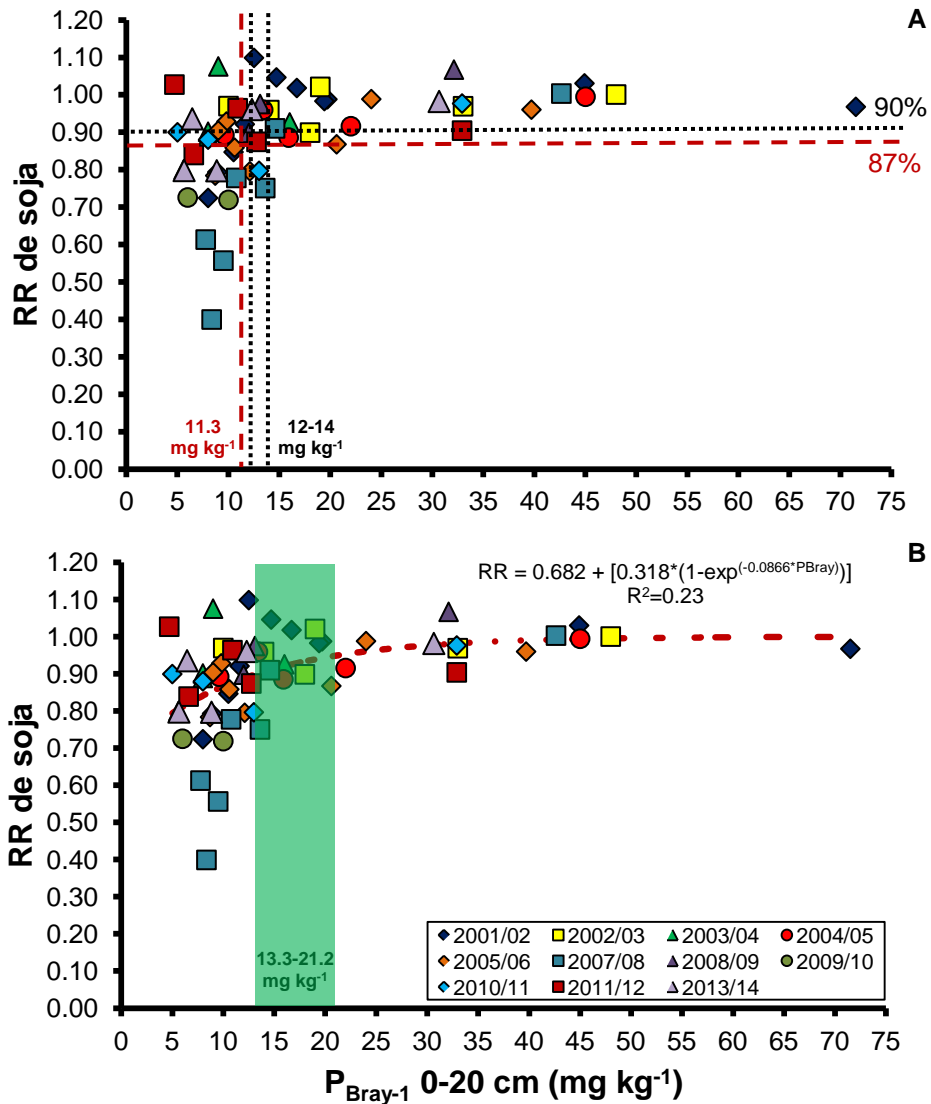


Fig. 9. Rendimiento relativo (RR) de trigo (NS:NPS) en función del nivel de P_{Bray-1} (0-20 cm) a la siembra. En A: las líneas llenas indican un nivel crítico de 12 mg kg⁻¹ de P_{Bray-1} para obtener 90% del rendimiento relativo según el método gráfico de Cate & Nelson; y las líneas punteadas indican un nivel crítico de 11.3 mg kg⁻¹ de P_{Bray-1} para obtener el 87% del rendimiento relativo, según el método estadístico de Cate & Nelson. En B: la franja verde vertical indica niveles de 13.3 y 21.2 mg kg⁻¹ de P_{Bray-1}, para alcanzar entre 90 y 95% del rendimiento relativo, según la función de respuesta ajustada (p<0.001). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/5, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12, y 2013/14 (n=62).

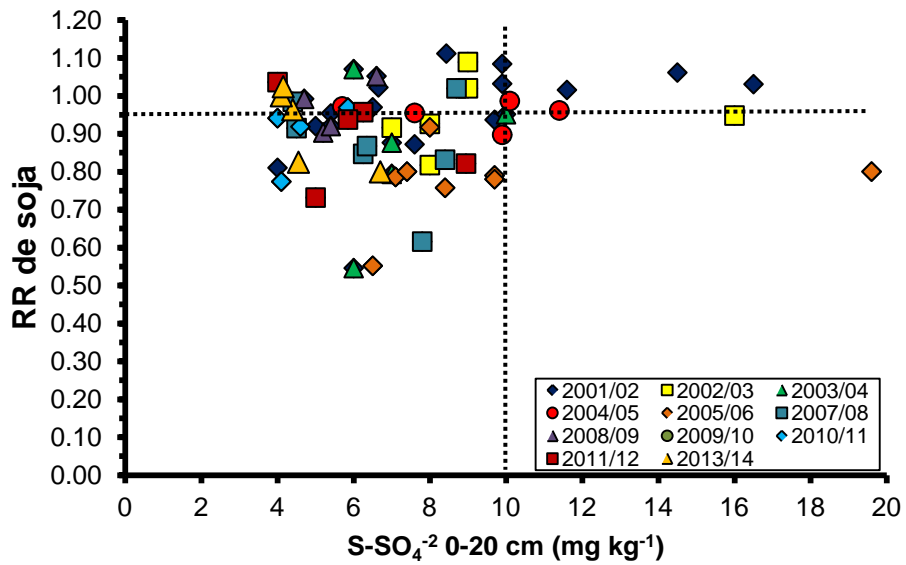


Fig. 10. Rendimiento relativo (RR) de soja (NP/NPS) en función del nivel de $S-SO_4^{2-}$ (0-20 cm) a la siembra. Las líneas punteadas indican un nivel crítico de alrededor de 10 mg kg^{-1} de $S-SO_4^{2-}$ para obtener el 95% del rendimiento relativo, según el método gráfico de Cate & Nelson. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/5, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12, y 2013/14 (n=62).