

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

### *Resultados de la Campaña 2016/17: Soja de primera*

#### **Preparado por:**

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

En la campaña 2016/17, 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 primera 2016/17 bajo rotación Maíz-Soja1ra-Trigo/Soja2da (Mz-Sj-Tr/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 (directa y 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:  $P_{\text{Bray-1}}$ , 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 tres ensayos que se reportan en este informe se establecieron en lotes bajo siembra directa de varios años ubicados en establecimientos de grupos CREA de la región Sur de Santa Fe, en la provincia de Santa Fe, en la campaña 2000/01 (**Tabla 1**). Desde 2000/01, la rotación establecida es Mz-Sj-Tr/Sj para los tres sitios: La Blanca (Alejo Ledesma), La Hansa (Cañada de Gómez-Armstrong), y Lambaré (El Trébol). Los seis tratamientos establecidos son homogéneos entre sitios y se disponen en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los mismos se repiten anualmente siempre sobre las mismas parcelas. En la campaña 2016/17, los tratamientos fueron aplicados a la siembra del cultivo de soja, cuyas dosis de nutrientes se indican en la **Tabla 2**. Cabe destacar, que debido a los altos niveles de  $P_{\text{Bray-1}}$  alcanzados en los tratamientos con P, a partir de esta campaña se decidió suspender la aplicación de P en los tratamientos correspondientes, se volverá a aplicar P en dichos tratamientos cuando el nivel de  $P_{\text{Bray-1}}$  alcance valores inferiores a  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ . 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 casos.

En pre-siembra del cultivo, 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 en el tratamiento NPS.

Al estado de 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  $\text{m}^2$ .

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.

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., 2017) o el método gráfico de Cate-Nelson 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 de soja se muestran en la **Tabla 3** y la **Fig. 1**. En el caso de  $P_{\text{Bray-1}}$ , en los tres sitios la residualidad se observa principalmente en superficie, con diferencias (NPS vs NS) de +356% en 0-20 cm en La Blanca, de +152%, +24%, -2% y +8% en La Hansa, y de +368%, +287%, +173% y +102% en Lambaré, a 0-20, 20-40, 40-60 cm y 60-100 cm, respectivamente. En cuanto a la evolución de P en el suelo, mientras el nivel de  $P_{\text{Bray-1}}$  (0-20 cm) disminuyó en el tratamiento sin P (NS) en los tres sitios, en el tratamiento NPS los niveles se incrementaron a lo largo de los 17 años (**Fig. 2**), a partir del aporte que se hace con dosis de P que cubren la extracción en grano más el 5-10%.

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.

Para S-sulfato, en los tres sitios la residualidad se observa sin un patrón definido en profundidad, con diferencias (NPS vs NPS) de +1% en 0-20 cm en La Blanca, de +41%, +16%, +20% y +46% en La Hansa, y de +18%, -6%, +13% y +24% en Lambaré, a 0-20, 20-40, 40-60 cm y 60-100 cm, respectivamente. En todos los casos, los niveles de S-sulfato (0-20 cm) se ubicaron por debajo de los 8-10 mg kg<sup>-1</sup>, umbral crítico tentativo.

### *Respuestas a la fertilización en rendimiento*

Las precipitaciones fueron abundantes durante todo el ciclo de cultivo en los tres sitios (454 a 750 mm), especialmente en la segunda mitad (**Tabla 1**). Los contenidos de agua a la siembra de la soja fueron de más de 100 mm hasta el metro de profundidad. Las precipitaciones mantuvieron niveles de humedad suficientes en el suelo, aunque provocaron algunos excesos hídricos en los sitios La Blanca y La Hansa, que registraron suelo saturado durante el ciclo del cultivo.

En La Blanca, se alcanzaron muy buenos rendimientos a nivel general, donde los tratamientos fertilizados registraron más de 4000 kg ha<sup>-1</sup>, con un máximo de 4407 kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento NP, mientras que el Testigo registro 3782 kg ha<sup>-1</sup> (**Tabla 4, Fig. 3**). De forma similar, en La Hansa se lograron rendimientos superiores a los 4000 kg ha<sup>-1</sup> en las parcelas fertilizadas, con un máximo de 4574 kg ha<sup>-1</sup> mientras el testigo registró 4201 kg ha<sup>-1</sup>. Por su parte, Lambaré registró los rendimientos más altos, con más de 4600 kg ha<sup>-1</sup>

en los tratamientos fertilizados, con un máximo de 4829 kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento NPS, y una media de 4432 kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento Testigo.

En La Blanca y La Hansa, no se observaron respuestas significativas a los nutrientes en particular, ni a sus combinaciones. Por su parte, en Lambaré se registraron diferencias significativas respecto del Testigo en los tratamientos PS (+425 kg ha<sup>-1</sup>) y NP (+292 kg ha<sup>-1</sup>) (**Tabla 4**).

En cuanto a los componentes de rendimiento, solo se evaluaron en el sitio La Blanca, donde se observaron efectos significativos de los tratamientos sobre el peso de los granos (PG) (**Tabla 5**) y no así sobre el número de granos (NG). Los menores registros de PG en las parcelas NS (143 g) y los mayores en las parcelas NP (161 g). El rendimiento, sin embargo, se relacionó estrechamente con número de granos por m<sup>2</sup> (R<sup>2</sup> = 0.73), no así con el peso de mil granos (R<sup>2</sup> = 0.04) (**Fig. 4**).

La productividad del agua de lluvia (PA) varió entre 8.3 y 9.7 kg soja ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> en La Blanca, entre 6.0 y 7.2 kg soja ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> en La Hansa, y entre 5.9 y 6.4 kg soja ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> en Lambaré (**Fig. 5**). Tanto en La Blanca como en la Hansa, la ausencia de diferencias en rendimiento entre tratamientos derivó en ausencia de diferencias en PA. Por su parte, en Lambaré, el testigo registró menor PA que los tratamientos fertilizados, que no se diferenciaron entre sí.

### **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/o 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, dos en 2015/16, y tres en 2016/17 (n=70).

En la presente campaña, el índice de verdor (SPAD Minolta 502) en R2 no varió en función de los tratamientos de fertilización (**Tabla 6**) en los dos sitios donde se realizaron las mediciones (La Hansa y Lambaré).

Para el caso de P, el rendimiento relativo en las parcelas sin aplicación de P se correlacionó significativamente (r=0.48, p<0.0001) con la concentración de P<sub>Bray-1</sub> en capa superficial (**Fig. 6**). En base a dicho modelo, se indican niveles críticos de 12 mg kg<sup>-1</sup> (IC<sub>95%</sub>=10 a 14 mg kg<sup>-1</sup>) y 16 mg kg<sup>-1</sup> (IC<sub>95%</sub>=13 a 18 mg kg<sup>-1</sup>) de P<sub>Bray-1</sub> 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 11 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>Bray-1</sub> para obtener el 95% del rendimiento relativo.

Por otra parte, la respuesta a S no se correlacionó de forma significativa 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 10 mg S kg<sup>-1</sup> para obtener el 95% del rendimiento relativo (**Fig. 7**). 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  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ . Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar metodologías complementarias basadas en el análisis de planta o grano con el fin de poder diagnosticar mejor la deficiencia de S en el cultivo de 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 promedio, la respuesta de soja de primera a P fue de  $+153 \text{ kg ha}^{-1}$  y la respuesta a S de  $+66 \text{ kg ha}^{-1}$ . De la misma forma, el agregado de N en los cultivos de trigo y maíz de la rotación generó una respuesta residual positiva sobre las parcelas de soja que recibieron P (NP,  $+167 \text{ kg ha}^{-1}$ ) o S (NS,  $+254 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La fertilización conjunta de P+S mostró un efecto sinérgico que, en promedio, generó respuestas de  $+386 \text{ kg ha}^{-1}$ . En tal caso, las parcelas con N en las gramíneas no manifestaron respuesta residual. La respuesta a micronutrientes en soja sigue sin manifestarse, aún luego de 17 campañas.
3. Aunque en prácticamente todas las campañas previas los niveles de rendimiento de soja en los tratamientos Testigo mostraron el agotamiento de las reservas de N, P y S de los suelos, en esta campaña no se observaron diferencias significativas en dos de los tres sitios con soja de primera.
4. Los excesos de agua generaron la pérdida de parcelas en el sitio La Blanca y La Hansa, aunque el rendimiento general de las parcelas cosechadas fue bueno.
5. La productividad del agua de lluvia (PA) varió desde  $5.9 \text{ kg soja mm}^{-1}$  para el Testigo hasta  $9.7 \text{ kg soja mm}^{-1}$  para el tratamiento NPS.
6. Los casos con niveles de  $P_{\text{Bray-1}}$  (0-20 cm) menores de  $12 \text{ mg kg}^{-1}$  presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de  $16 \text{ mg kg}^{-1}$   $P_{\text{Bray-1}}$  tanto la probabilidad como la magnitud de la respuesta a P disminuyó marcadamente.
7. La respuesta a la fertilización azufrada se relacionó débilmente con el nivel de S-sulfato a la siembra a 0-20 cm ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). No obstante, se logró estimar un nivel crítico aproximado de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  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. Salvagiotti, F.O. García, and F.H. Gutiérrez Boem. 2017. A modification of the arcsine-log calibration curve for analysing soil test value-relative yield relationships. *Crop & Pasture Science* 68 (3): 297-304. <https://doi.org/10.1071/CP16444>
- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo y N. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. AACREA. 64 pp. ISBN 978-987-1513-07-9.
- 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 primera. Campaña 2016/17.

Establecimiento	La Blanca	La Hansa	Lambaré
CREA	Gral. Baldissera	Armstrong-M. De Oca	San Jorge-Las Rosas
Serie Suelo	La Bélgica	Bustinza	Los Cardos
Labranza	SD	SD	SD
Años agricultura	12	20	6
Antecesor	Maíz	Maíz	Maíz
Genotipo	DM4670	SPS4x4	DM4612
Fecha de siembra	30/11/2016	25/11/2016	22/11/2016
Densidad lograda (pl/ha)	324 mil	-	-
Distancia entre surcos (cm)	52.5	52.5	52.5
AU siembra (mm, 0-100cm)	Saturado	151	142
Precipitaciones			
Septiembre	0	27	16
Octubre	134	131	95
Noviembre	45	108	84
Diciembre	135	130	192
Enero	88	217	166
Febrero	94	115	266
Marzo	87	171	126
Ciclo	454	633	750

**Tabla 2.** Tratamientos de fertilización establecidos en los sitios La Blanca, La Hansa, y Lambaré. Rotación Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
<b>Fertilizante (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
FMA						
Urea						
Azufertil (19%)		97	97		97	97
KCl (0-0-50)						100
OxMg (36%)						30
B10						10
Zn 40						5
Cu25						4
<b>Fertilizante total (kg/ha)</b>	<b>0</b>	<b>97</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>97</b>	<b>224</b>
<b>Nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
N						
P						
K						50
Mg						11
S		18	18		18	18
Cl						46
B						1
Zn						2
Cu						1

**Tabla 3.** Análisis de suelo previo a la siembra del trigo en los sitios La Blanca, La Hansa, y Lambaré. Rotación Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>	S-SO <sub>4</sub>	Nmin
		ppm	kg ha <sup>-1</sup>	ppm	kg ha <sup>-1</sup>	ppm
		0-20 cm	0-60 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20/20-40 cm
La Blanca	PS	-	39*	-	-	39
	NS	13	-	-	-	-
	NP	-	-	5.0	11	-
	NPS	61	68*	5.1	12	34
La Hansa	PS	-	129	-	-	59/16
	NS	31	-	-	-	-
	NP	-	-	4.1	34	-
	NPS	78	127	5.8	50	57/16
Lambaré	PS	-	61	-	-	64/17
	NS	14	-	-	-	-
	NP	-	-	4.9	34	-
	NPS	64	89	6.3	50	53/19

\*En La Blanca se muestreo solamente a 0-20 cm.

**Tabla 4.** Rendimientos de soja para los seis tratamientos evaluados y respuestas a diferentes combinaciones de N, P, S y otros nutrientes en los tres ensayos. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.

	<b>La Blanca</b>	<b>La Hansa</b>	<b>Lambaré</b>	<b>Promedio</b>
<b>Rendimiento (kg maíz ha<sup>-1</sup>)</b>				
Testigo	3782	4201	4432 b	4138
PS	4333	4500	4740 a	4524
NS	4058	4157	4700 a	4305
NP	4407	4160	4611 ab	4393
NPS	4332	4329	4714 a	4458
Completo	4058	3984	4829 a	4290
<b>DMS (5%)</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>243</b>	<b>-</b>
<b>Respuesta (kg maíz ha<sup>-1</sup>)</b>				
N	-1	-171	-26	-66
P	274	172	14	153
S	-75	169	103	66
PS	551	299	308*	386
NS	276	-44	268*	167
NP	625	-41	179	254
NPS	550	128	282	320
Otros	-274	-345	115	-168

#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 m<sup>2</sup> –NG-y Peso mil granos-PG-) para los seis tratamientos evaluados en el sitio “La Blanca”, bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj. En los sitios La Hansa y Lambaré no se cuantificaron los componentes de rendimiento. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.

<b>Ensayo</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Peso mil granos (g)</b>	<b>Granos m<sup>-2</sup></b>
<b>La Blanca</b>	Testigo	149.0 bc	2546
	PS	157.0 ab	2765
	NS	143.0 c	2837
	NP	161.0 a	2749
	NPS	160.5 ab	2699
	Completo	157.0 ab	2588
	<b>DMS (5%)</b>	<b>11.7</b>	<b>NS</b>

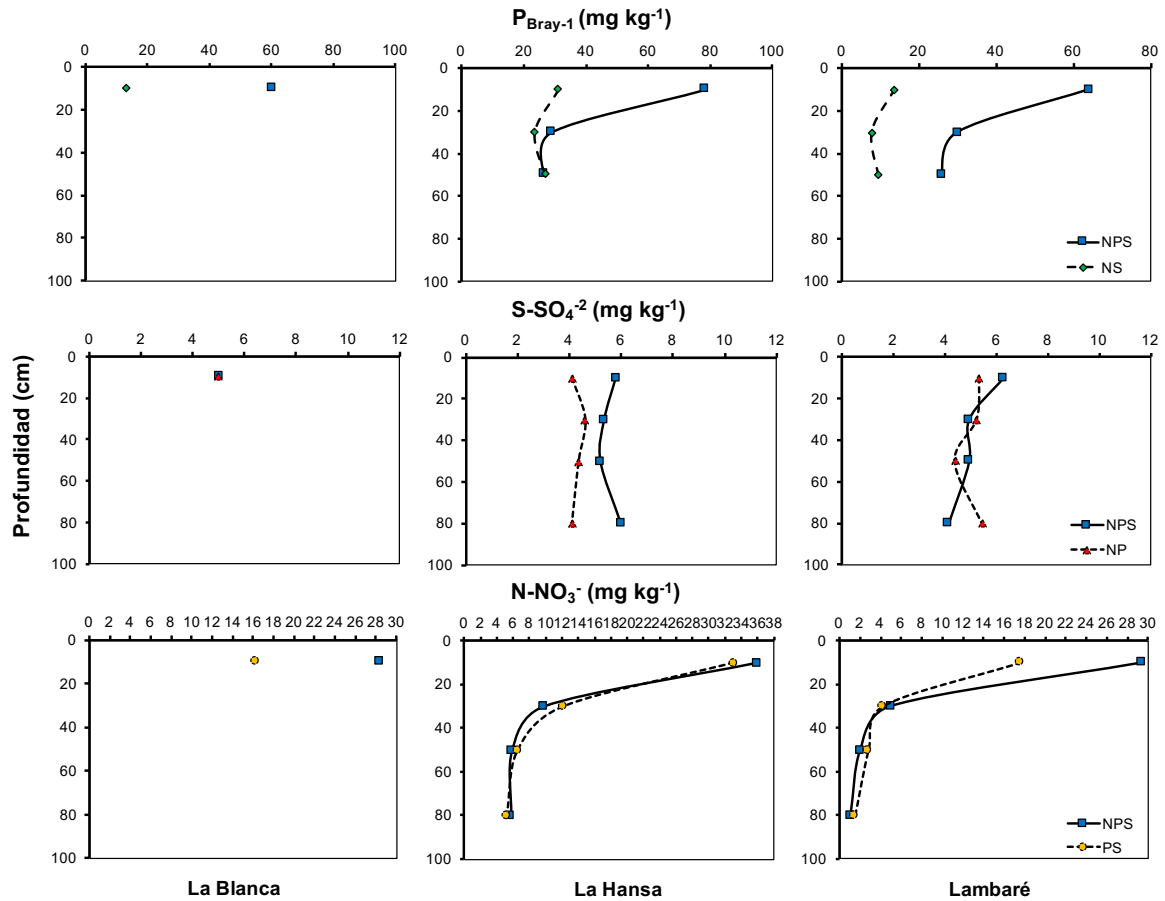
# Valores seguidos por letras diferentes, en cada sitio, no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

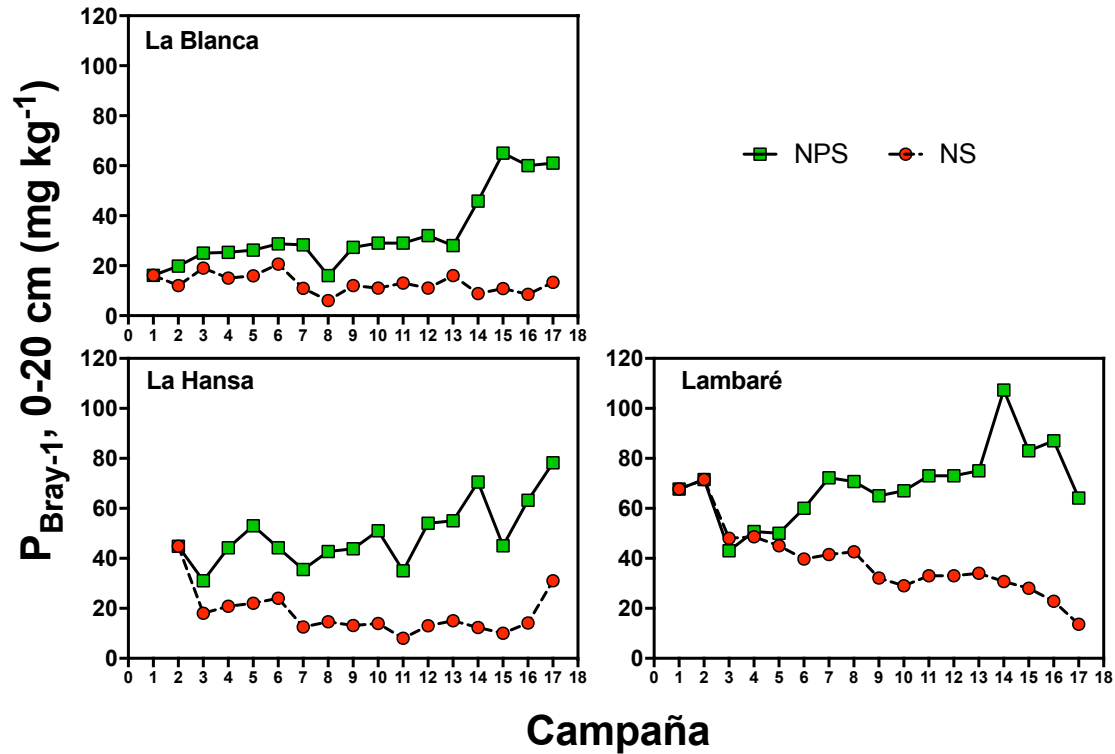


**Tabla 6.** Valores de SPAD en R2 del cultivo de soja de primera en los dos sitios bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.

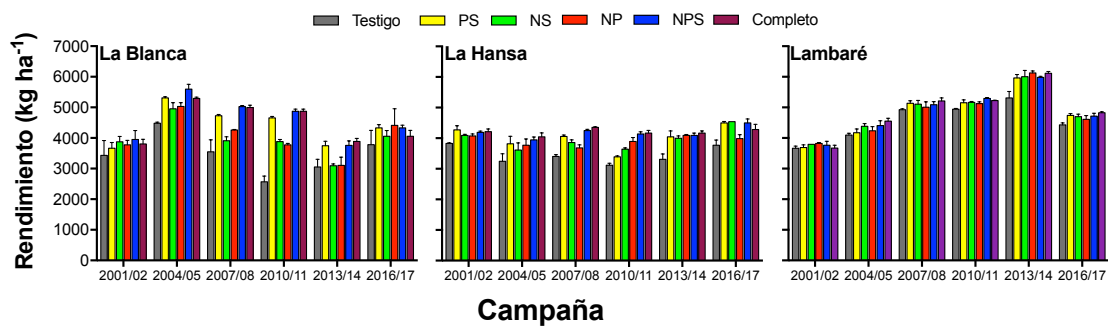
Ensayo	Tratamiento	Índice de verdor
		Floración
<b>La Hansa</b>	PS	45.3
	NS	44.9
	NP	44.4
	NPS	44.8
	<b>DMS (5%)</b>	<b>NS</b>
<b>Lambaré</b>	PS	39.3
	NS	39.4
	NP	40.2
	NPS	40.3
	<b>DMS (5%)</b>	<b>NS</b>

**Fig. 1.** Distribución de la concentración de  $N-NO_3^-$ ,  $P_{Bray-1}$  y  $S-SO_4^{2-}$  a 0-100 cm en pre-siembra del cultivo de soja de primera para tratamientos selectos en los tres sitios bajo rotación M-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.

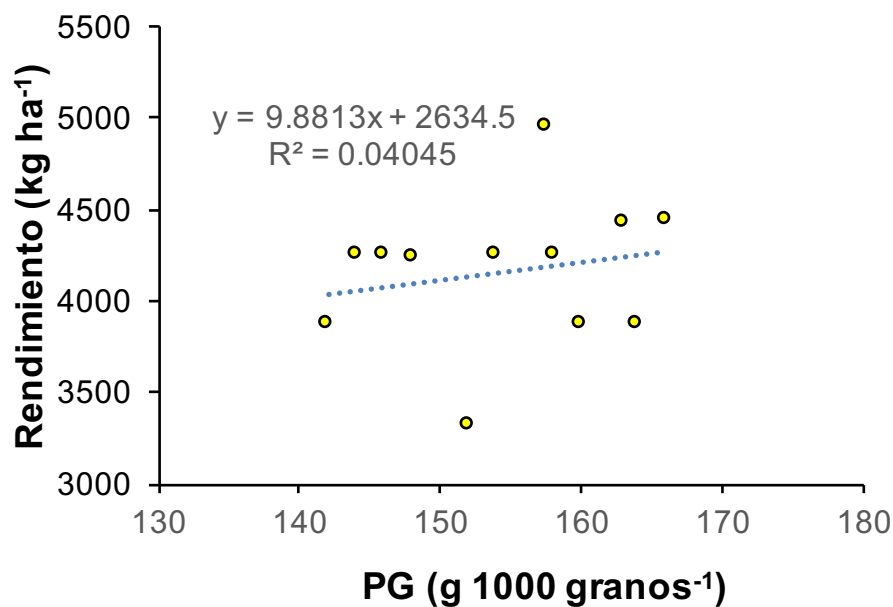
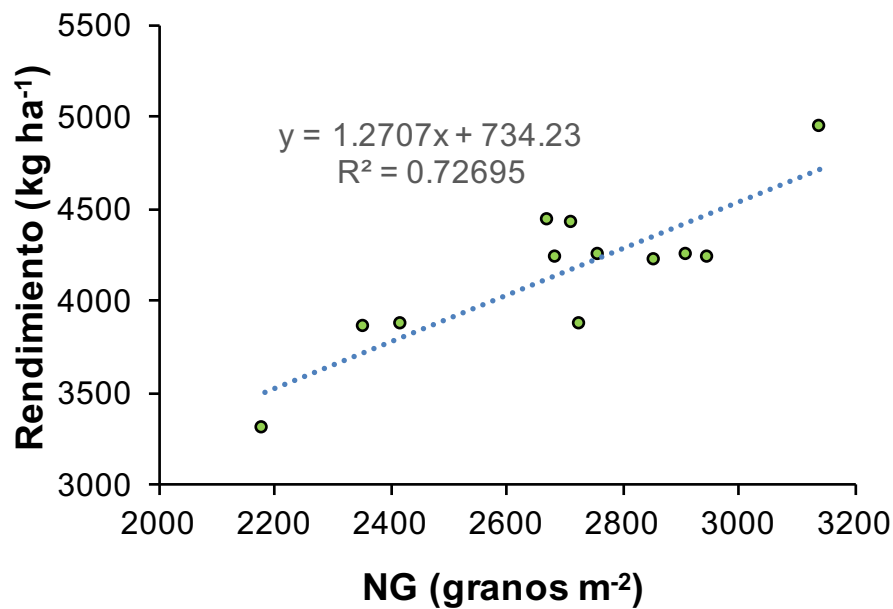




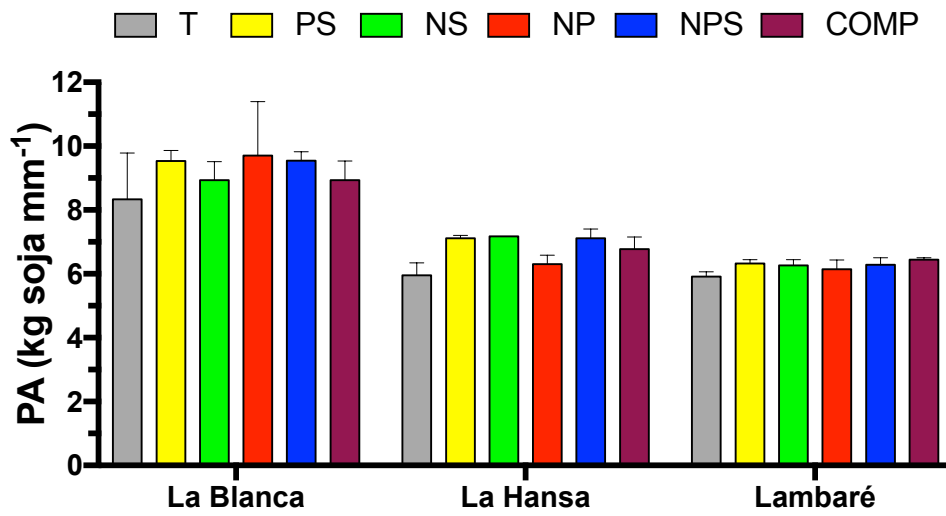
**Fig. 2.** Evolución de P Bray (0-20 cm) en los tratamientos con (NPS) y sin P (NS) desde el establecimiento de los ensayos en los tres sitios bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 17 (2016/17).



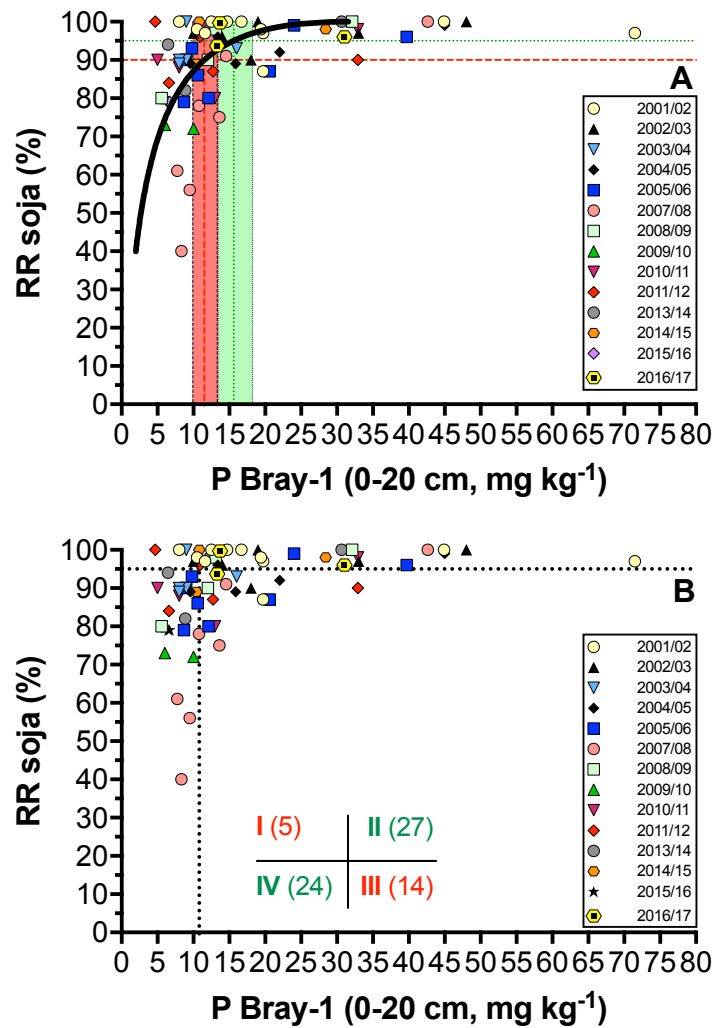
**Fig. 3.** Evolución de los rendimientos promedio de soja de primera para los seis tratamientos en los tres sitios bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campañas 2001/02 a 2016/17.



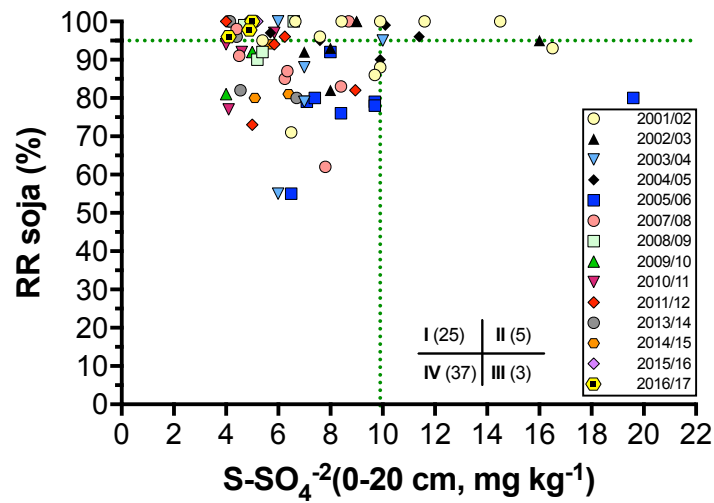
**Fig. 4.** Relaciones entre el rendimiento y sus componentes número de granos por m<sup>2</sup> (NG), y el peso de mil granos (PG). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.



**Fig. 5.** Productividad del agua de lluvia (PA) en soja de primera, calculada como cociente entre el rendimiento y la suma de las precipitaciones durante el ciclo, en los tres sitios bajo rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de primera. Campaña 2016/17.



**Fig. 6.** Rendimiento relativo (RR) de soja -1ra y 2da- (NS:NPS) en función del nivel de  $P_{\text{Bray-1}}$  (0-20 cm) a la siembra.  $n=70$ . En A, 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  $11.6 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $IC_{95\%}=9.8$  a  $13.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y  $15.6 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $IC_{95\%}=13.3$  a  $18.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) de  $P_{\text{Bray-1}}$  para obtener el 90% y el 95% del rendimiento relativo al máximo, respectivamente. En B, las líneas punteadas negras indican un nivel crítico de  $10.8 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $P_{\text{Bray-1}}$  para obtener el 95% del rendimiento relativo, según el método gráfico de Cate-Nelson (Cate & Nelson, 1965). 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, 2015/16, y 2016/17.



**Fig. 7.** Rendimiento relativo (RR) de soja -1ra y 2da- (NP:NPS) en función del nivel de S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (0-20 cm) a la siembra. n=70. Las líneas punteadas indican un nivel crítico de 10 mg kg<sup>-1</sup> de S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> para obtener 95% del rendimiento relativo según el método gráfico de Cate-Nelson (Cate & Nelson, 1965). Otros métodos de ajuste resultaron no significativos ( $p > 0.05$ ). 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, 2015/16, y 2016/17.