

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

Resultados de la campaña 2011/12: Soja de segunda

Preparado por Miguel Boxler (Coordinador Ensayos), Fernando O. García (IPNI Cono Sur), Adrián Correndo (IPNI Cono Sur), Jorge Minteguiaga (anteriormente Coordinador Zonal), Ricardo Pozzi (CREA San Jorge-Las Rosas), Máximo Uranga (CREA Posta Espinillos), Francisco Bauschen (Agroservicios Pampeanos), Nahuel Reussi Calvo (Laboratorio Fertilab) y Angel Berardo (Laboratorio Fertilab)

En la campaña 2011/12, 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)

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

1. Evaluación de la respuesta de soja de segunda a la fertilización fosfatada (directa y residual) y del análisis de suelos en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
2. Evaluación de la respuesta de soja de segunda a la fertilización azufrada (directa y residual) y del análisis de S-sulfato en pre-siembra como método de diagnóstico.
3. Evaluación del rendimiento de soja de primera sin limitaciones nutricionales en cada uno de los sitios de experimentación.

Información de años anteriores de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe se puede encontrar en García et al. (2010)¹ y en los sitios de Internet www.aacrea.org.ar y www.lacs.ipni.net.

¹ 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 200-2009*. 2a. ed. AACREA. Buenos Aires, Argentina. ISBN ISBN 978-987-1513-07-9. 64 pag.

Materiales y Métodos

Los cinco ensayos se establecieron en lotes bajo siembra directa de varios años ubicados en establecimientos de los distintos grupos CREA de la región Sur de Santa Fe en las provincias de Santa Fe y Córdoba en la campaña 2000/01 (Tabla 1). En la campaña 2010/11, los sitios La Blanca, La Hansa y Lambaré se sembraron con soja de primera bajo rotación M-S-T/S, y los sitios Balducci y San Alfredo con maíz bajo rotación M-T/S.

Los tratamientos de fertilización se realizan anualmente siempre sobre las mismas parcelas en todos los ensayos. La cantidad de nutrientes y los fertilizantes aplicados en la campaña 2011/12 a la siembra del cultivo de trigo antecesor, se indican en la Tabla 2. En ningún caso se aplica N en la soja, si bien se indican las respuestas residuales a la aplicación de N en cultivos de años anteriores (maíz y trigo). Los seis tratamientos establecidos fueron similares en los cinco sitios. En todos los casos, los tratamientos se disponen en un diseño en bloques completos con tres repeticiones.

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 de trigo antecesor, se muestrearon tratamientos selectos en los tres bloques para determinar: P Bray en capa superficial (0-20 cm); N-nitrato y S-sulfato a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad y Nitrógeno anaeróbico (Nmin) de 0-20 y 20-40 cm (Tabla 3). Se tomaron veinte “piques” por muestra superficial y 10 “piques” por muestra subsuperficial.

En madurez fisiológica se determinó el número de plantas por m². A cosecha se determinó el rendimiento, la humedad de grano y el peso de mil granos. Los rendimientos reportados se han corregido al 13% de humedad. En todos los tratamientos se tomaron muestras de grano para evaluar la concentración de nutrientes (información no presentada).

Resultados

Análisis de suelo

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra de trigo. Se observaron efectos residuales de fertilizaciones fosfatadas anteriores en los cinco sitios en los niveles de P Bray. Para N-nitrato, se observó residualidad de fertilizaciones nitrogenadas anteriores en Balducci, mientras que

para S-sulfato se observaron efectos residuales de fertilizaciones azufradas anteriores en Balducci, La Blanca y Lambaré (ver Informe Trigo 2011/12 en www.lacs.ipni.net).

Los niveles de P Bray de los tratamientos NS fueron menores que los considerados críticos para soja en Balducchi y San Alfredo, fueron medios en La Blanca y La Hansa y altos en Lambaré; mientras que en los tratamientos NPS, los niveles de P Bray superaron a los considerados críticos. Los niveles de S-sulfato (0-20 cm) se ubicaron por debajo de los 10 mg kg⁻¹, umbral crítico mencionado en la literatura, en los tratamientos NP y NPS en los cinco sitios.

Rendimientos y respuestas a la fertilización

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo fueron variables para los cuatro sitios en cuanto a cantidad (Tabla 1), sin embargo, la distribución de las mismas fue similar en todos los casos, registrando precipitaciones casi nulas durante el mes de diciembre, y muy altas en el mes de febrero. Se lograron bajos rendimientos en el sitio San Alfredo, entre 1600 a 1800 kg ha⁻¹, mientras que los máximos se registraron en el sitio de Lambaré, entre 2600 a 3300 kg ha⁻¹ (Tabla 4, Figura 1). Los bajos rendimientos de San Alfredo se atribuyen a la pobre implantación y desarrollo inicial del cultivo por la baja disponibilidad hídrica inicial.

Considerando las precipitaciones promedio de Diciembre a Marzo, las eficiencias de uso de agua fueron, en promedio, 3.4, 4.6, 4.3, 4.2, 4.7 y 4.8 kg de soja ha⁻¹ mm⁻¹, para los tratamientos Testigo, PS, NS, NP, NPS y Completo, respectivamente. Los incrementos en la eficiencia del uso de agua variaron según el sitio y el tratamiento de fertilización (Fig. 2).

Los rendimientos, respuestas y el análisis estadístico se presentan en la Tabla 4 y Fig. 1. Se observaron respuestas significativas a los tratamientos de fertilización en Balducchi, La Blanca, La Hansa y Lambaré. Las respuestas promedio a los efectos residuales de N, y a P y S fueron de 68, 193 y 398 kg ha⁻¹, y de 14, 239 y 196, para las rotaciones M-T/S y M-S-T/S, respectivamente.

En Balducci, se observaron respuestas significativas a P, S, y a las combinaciones PS y NPS. En San Alfredo no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización, probablemente debido a la sequía inicial sufrida en este sitio que se reflejó en la obtención de muy bajos rendimientos en general. En La Blanca, se observaron respuestas significativas a las combinaciones PS, NS y NP. En La Hansa, las respuestas fueron significativas a P, S y a la interacción PS. En Lambaré, la respuesta a la interacción PS fue significativa.

Las respuestas de los cultivos a los distintos nutrientes y, especialmente, a las interacciones, se han ido ampliando a través de los años debido a la acumulación

de fertilidad en los tratamientos fertilizados y la pérdida de la misma en el Testigo o en aquellos tratamientos sin aplicación de algún nutriente en particular. En el caso de soja de segunda, estas respuestas dependen fuertemente de la oferta hídrica del año, sin embargo las tendencias también son crecientes (Fig. 3).

Considerando los 57 sitios de todas las campañas con soja de primera y de segunda en las dos rotaciones, la relación entre el rendimiento relativo (rendimiento tratamiento NS/rendimiento tratamiento NPS) y la concentración de P Bray a 0-20 cm a la siembra de soja de primera y de trigo (Fig. 4), indica que:

- ✓ El 65% de los sitios con P Bray menor de 12 mg kg^{-1} presentaron rendimientos relativos menores del 90%.
- ✓ El 87% de los sitios con P Bray mayor de 14 mg kg^{-1} presentó rendimientos relativos mayores del 90%.

Por lo tanto, se sugiere considerar un rango crítico de P Bray de $12\text{-}14 \text{ mg kg}^{-1}$ para soja en la Región.

Las respuestas a S se relacionaron con la concentración de S-sulfato a 0-20 cm y la cantidad de S-sulfato a 0-60 cm + el S aplicado como fertilizante a la siembra de soja de primera (rotación M-S-T/S) y a la siembra de trigo (rotaciones M-T/S y M-S-T/S). Sin embargo. Estas relaciones no son lo suficientemente robustas como para proponer metodologías de recomendación a partir de los análisis de suelo.

En general, los niveles de S-sulfato a la siembra de soja de primera y del trigo fueron muy bajos, menores de 10 mg kg^{-1} a 0-20 cm (88% de los 51 sitios/año). En los 45 sitios/año con niveles menores de 10 mg kg^{-1} de S-sulfato, solamente 19 sitios/año mostraron respuestas superiores a 10%. De los 6 sitios/año con niveles de S-sulfato mayores de 10 mg kg^{-1} , solamente 1 sitio mostro respuestas superiores al 10% (Fig. 5).

La relación entre la disponibilidad de S a la siembra de soja de primera y de trigo (S-sulfato a 0-60 cm + S aplicado como fertilizante) con los rendimientos obtenidos en soja de primera y de segunda para las rotaciones M-S-T/S y M-T/S, respectivamente, no muestra una tendencia clara que permita definir un rango crítico de disponibilidad de S-sulfato (Fig. 6).

Conclusiones

1. Se observaron respuestas significativas a los tratamientos de fertilización en cuatro de los cinco ensayos de soja de segunda de la campaña 2011/12. Las respuestas promedio a los efectos residuales de N, y a P y S fueron de 68, 193 y 398 kg ha^{-1} , y de 14, 239 y 196, para las rotaciones M-T/S y M-S-T/S, respectivamente.

2. Las respuestas de los cultivos a los distintos nutrientes y, especialmente, a las interacciones, se han ido ampliando a través de los años debido a la acumulación de fertilidad en los tratamientos fertilizados y la pérdida de la misma en el Testigo o en aquellos tratamientos sin aplicación de algún nutriente en particular.
3. Considerando los 57 sitios de soja de primera y de segunda evaluados en la Red de Nutrición, se obtuvieron relaciones significativas entre el rendimiento y el nivel de P Bray a la siembra de soja de primera y de trigo con un rango crítico de 12-14 mg kg⁻¹, por debajo del cual la probabilidad de respuesta es elevada.
4. La relación entre la respuesta a S y la concentración de S-sulfato a 0-20 cm no fue robusta: la probabilidad de respuesta de la soja a la fertilización azufrada fue del 42% cuando la concentración de S-sulfato a 0-20 cm a la siembra de la soja de primera o del trigo fue inferior a 10 mg kg⁻¹, y del 17% cuando la concentración de S-sulfato fue superior a 10 mg kg⁻¹.
5. La disponibilidad de S (suelo a 0-60 cm + fertilizante) a la siembra de soja de primera y a la siembra del trigo no se relacionó significativamente con los rendimientos de soja de primera y de segunda.

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.

Tabla 1. Información de manejo y de sitio, lámina de agua en el suelo a en los estados de R2 y madurez fisiológica (MF), y precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2011/12.

<i>Establecimiento</i>	<i>Balducci</i>	<i>San Alfredo</i>	<i>La Blanca</i>	<i>La Hansa</i>	<i>Lambaré</i>
CREA	Teodelina	Santa Isabel	Gral. Baldissera	Amstrong - Montes de Oca	San Jorge - Las Rosas
Serie Suelo	Santa Isabel	Hughes	La Bélgica	Bustinza	Los Cardos
Labranza	----- SD -----				
Años agricultura	+ 60	15	6	+20	12
Rotación	-----M-T/S-----		----- M-S-T/S -----		
Antecesor	----- Trigo -----				
Variedad	----- Nidera 4670 -----				
Fecha de siembra	19/01/2012	15/12/2011	12/01/2012	08/12/2011	05/12/2011
Densidad lograda (pl m ⁻²)	49	46	29	39	31
Distancia entre surcos (cm)	42	21	26	35	52
Fecha de Cosecha	04/06/2012	14/05/2012	23/04/2012	20/04/2012	24/04/2012
Lámina de agua a R2 (0-100 cm, mm)	225	290	237	282	249
Lámina de agua a MF (0-100 cm, mm)	203	285	221	313	302
<i>Precipitaciones registradas (mm)</i>					
Octubre	143	110	90	215	176
Noviembre	43	88	66	105	96
Diciembre	0	8	13	29	15
Enero	137	125	65	181	89
Febrero	244	288	265	264	216
Marzo	167	201	108	195	156
Abril	20	19	24	25	65
<i>Enero-Abril</i>	<i>568</i>	<i>633</i>	<i>462</i>	<i>665</i>	<i>526</i>

Tabla 2. Tratamientos de fertilización establecidos en los cinco sitios experimentales. Región CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2011/12.

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 previos a la siembra del trigo, para las rotaciones M-T/S (Balducci y San Alfredo) y M-S-T/S (La Blanca, La Hansa y Lambaré). Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2011/12.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO ₃	N-NO ₃	S-SO ₄	S-SO ₄	Nmin
		<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
Balducci	PS		8	35			32/13
	NS	7					
	NP				5	52	
	NPS	38	10	55	6	52	28/17
San Alfredo	PS		15	58			53/21
	NS	5					
	NP				6	45	
	NPS	47	13	58	6	45	51/30
La Blanca	PS		9	49			46/23
	NS	11					
	NP				4	31	
	NPS	32	10	52	6	44	31/20
La Hansa	PS		9	51			47/28
	NS	13					
	NP				9	51	
	NPS	54	10	57	7	50	53/37
Lambaré	PS		13	65			49/26
	NS	33					
	NP				6	43	
	NPS	73	13	69	8	55	52/32

Tabla 4. Rendimientos de 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. Campaña 2011/12.

Tratamiento	M-T/S			M-S-T/S			
	Balducci	San Alfredo	Promedio	La Blanca	La Hansa	Lambaré	Promedio
	<i>Rendimientos (kg ha⁻¹)</i>						
Testigo	1989 c	1608	1799	1595 c	1326 c	2621 c	1847
PS	2447 a	1821	2134	2102 b	2612 a	3342 a	2686
NS	2253 bc	1766	2010	2283 ab	2361 b	2739 bc	2461
NP	1965 c	1645	1805	2454 a	2218 b	2839 bc	2504
NPS	2686 a	1719	2203	2369 ab	2701 a	3029 ab	2700
Completo	2657 a	1784	2221	2317 ab	2728 a	3265 a	2770
DMS (5%)	416	NS	-	296	249	316	-
Nutrientes	<i>Respuestas (kg ha⁻¹)</i>						
N	239	-103	68	267	89	-313	14
P	433	-47	193	86	340	291	239
S	721	75	398	-85	483	190	196
PS	458	214	336	508	1286	722	838
NS	264	158	211	689	1034	118	614
NP	-24	37	6	859	891	218	656
NPS	697	111	404	774	1374	409	852
Otros ##	-29	65	18	-52	27	236	71

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

Otros incluye K, Mg y Zn.

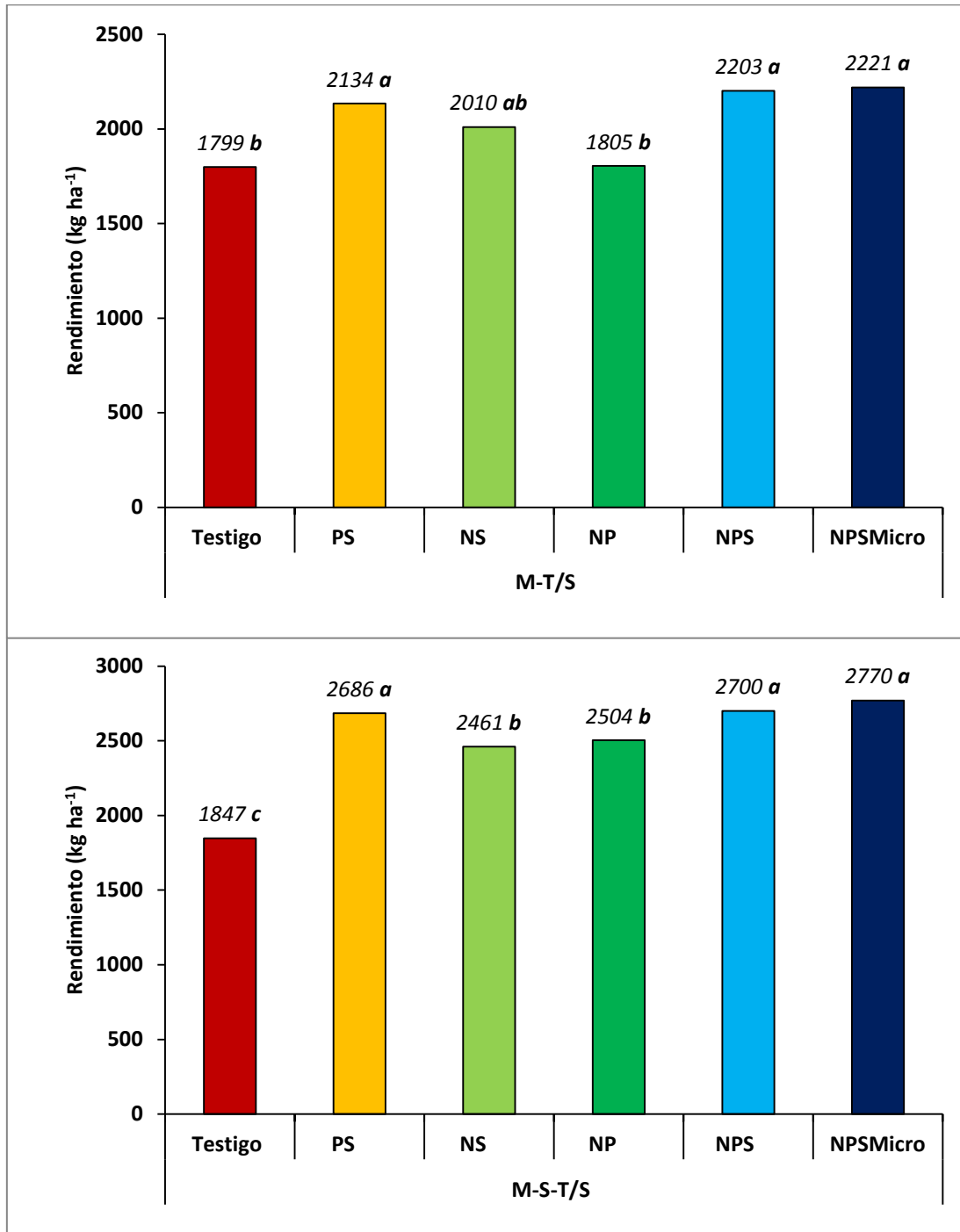


Fig. 1. Rendimientos promedio de soja de segunda para los seis tratamientos en los sitios evaluados de las rotaciones M-T/S (arriba) y M-S-T/S (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2011/12.

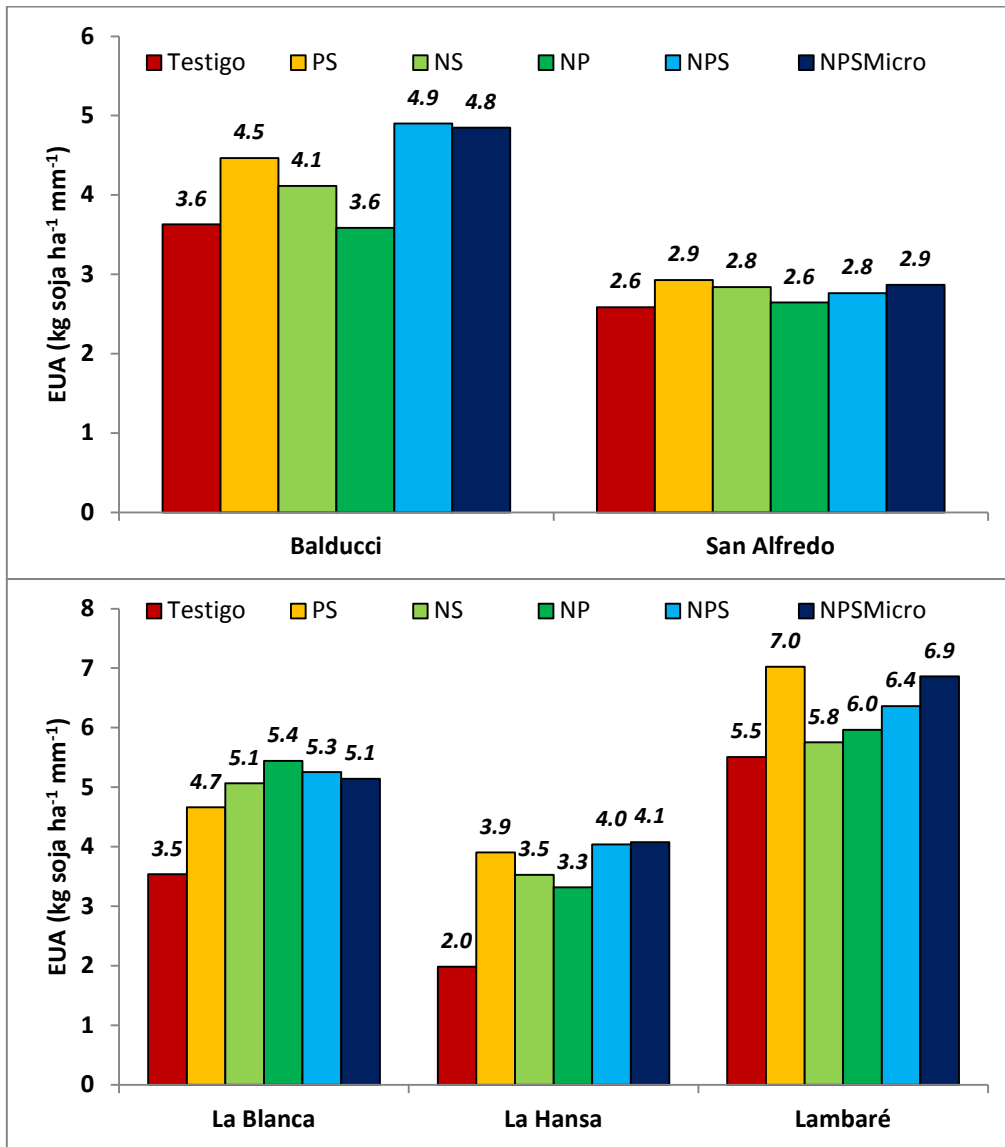


Fig. 2. Eficiencia de uso del agua (kg de soja ha⁻¹ mm⁻¹) de soja de segunda para los seis tratamientos en los sitios evaluados de las rotaciones M-T/S (arriba) y M-S-T/S (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2011/12.

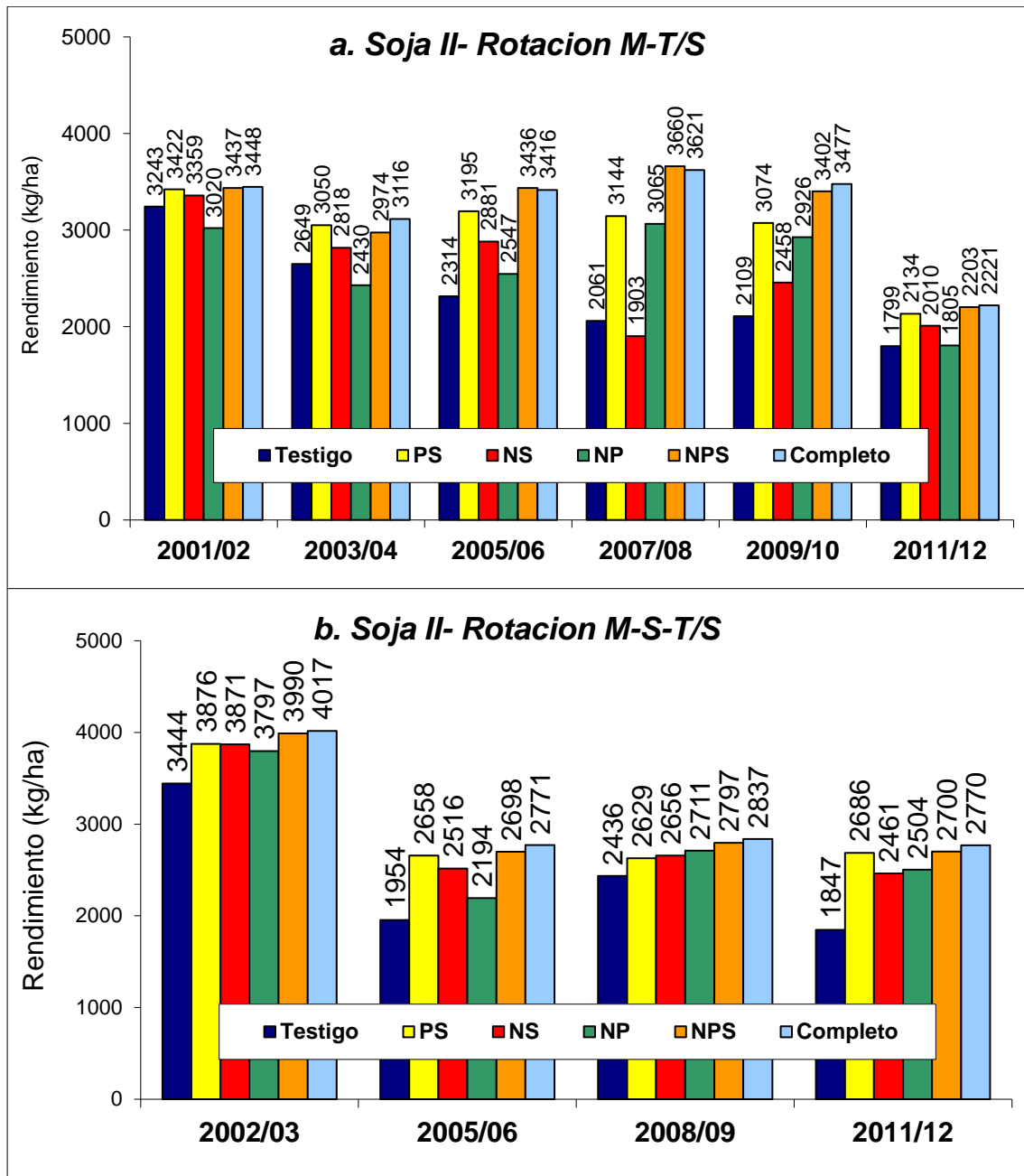


Fig. 3. Rendimientos promedios de soja de segunda para las rotaciones M-T/S (a) y M-S-T/S (b) para los seis tratamientos de fertilización en las campañas evaluadas desde 2001/02. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

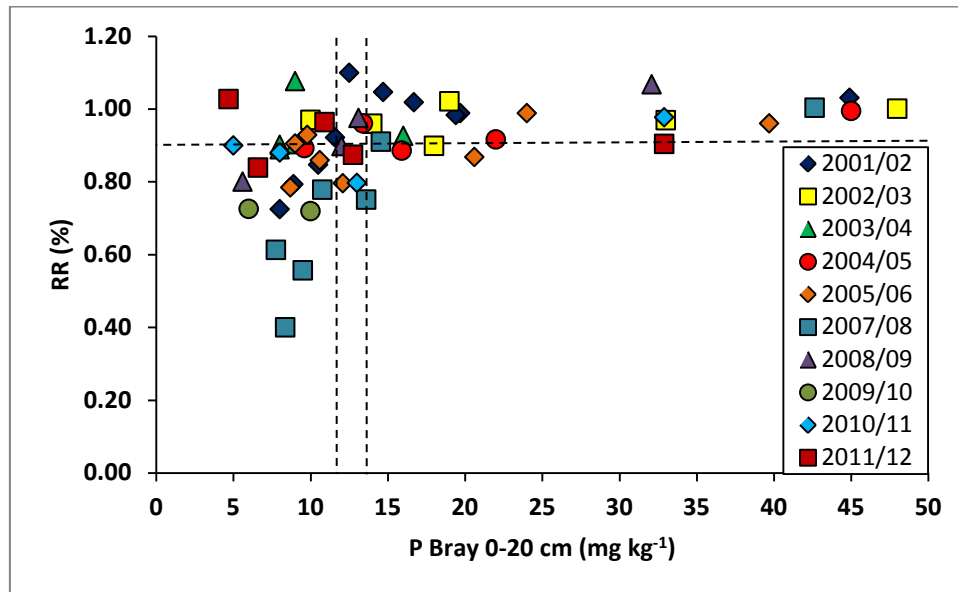


Fig. 4. Rendimiento relativo de soja de primera y de segunda (rendimiento NS/rendimiento NPS) en función del nivel de P Bray a 0-20 cm de profundidad a la siembra de soja de primera o trigo, respectivamente. Las líneas verticales indican P Bray de 12 y 14 ppm, y la horizontal Rendimiento Relativo de 0.90. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02 a 2011/12.

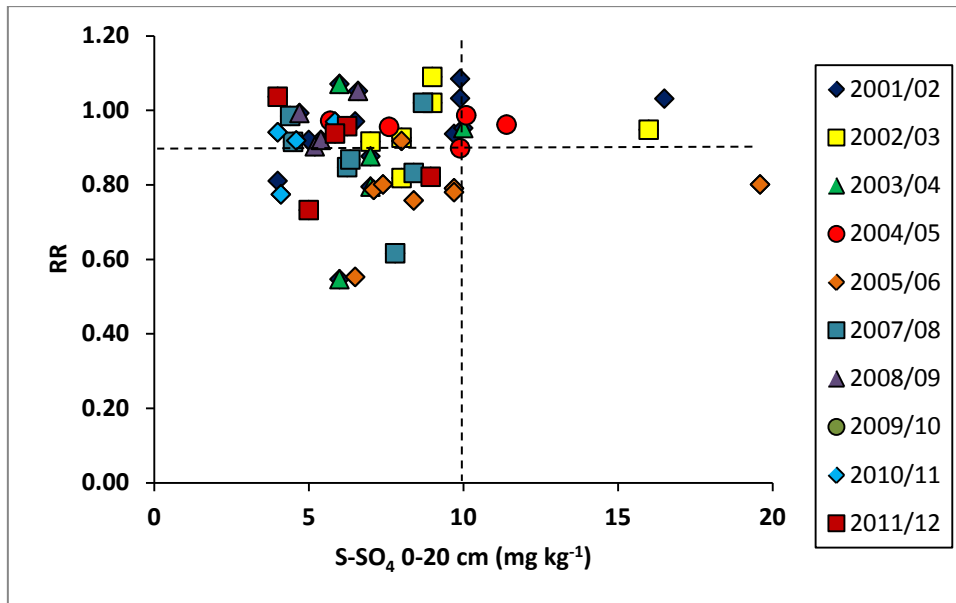


Fig. 5. Rendimiento relativo de soja de primera y segunda en función del nivel de S-sulfato ($S-SO_4$) a 0-20 cm de profundidad a la siembra de trigo para la rotación M-T/S y soja de primera para la rotación M-S-T/S. La línea vertical indica S-sulfato de 10 mg kg^{-1} , y la horizontal Rendimiento Relativo de 0.90. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02 a 2011/12.

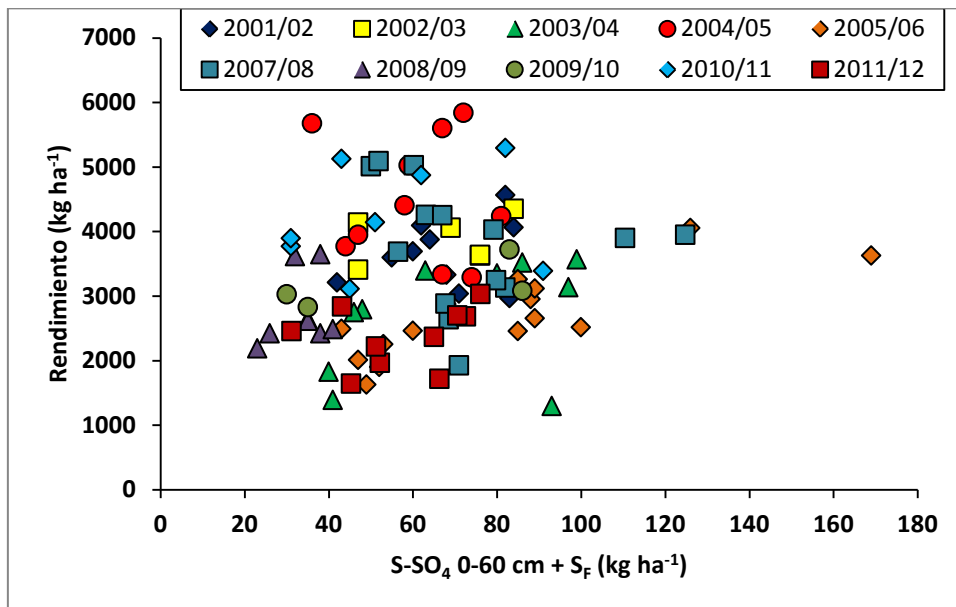


Fig. 6. Rendimiento de soja de primera y de segunda en función de la disponibilidad de S-sulfato ($S-SO_4$) en pre-siembra (0-60 cm) + S aplicado como fertilizante (S_F) para ambas rotaciones, M-T/S y M-S-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02 a 2011/12.