

**Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos
Región CREA Sur de Santa Fe
Resultados de la campaña 2004/05: Soja I**

Preparado por Hugo Blanco (Asesor CREA María Teresa), Miguel Boxler (Asesor Privado), Jorge Minteguiaga (Coordinador Zonal), Raúl Houssay (CREA María Teresa), Germán Deza Marin (Agroservicios Pampeanos), Angel Berardo (Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce) y Fernando O. García (INPOFOS Cono Sur)

La región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP), implantó en la campaña 2000/01 una red de ensayos a largo plazo con un protocolo común, cuyos objetivos generales son:

1. Determinar respuestas directas y residuales de los cultivos dentro de la rotación a la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y otros nutrientes (potasio, magnesio, boro, cobre y zinc) 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

En este informe se reportan los resultados de los cinco ensayos de soja de primera realizados en la campaña 2004/05. Los objetivos específicos para estos ensayos fueron:

1. Evaluación de la respuesta residual a la fertilización nitrogenada de cultivos previos.
2. Evaluación de la respuesta a la fertilización fosfatada (directa y residual) y del análisis de suelos en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
3. Evaluación de la respuesta a la fertilización azufrada (directa y residual) y del análisis de S-sulfatos en pre-siembra y el índice de verdor en hoja como método de diagnóstico.
4. Evaluación del rendimiento sin limitaciones nutricionales en cada uno de los sitios de experimentación.

Materiales y Métodos

Los cinco ensayos que se reportan en este informe se establecieron en las campañas 2000/01 en lotes bajo siembra directa de varios años ubicados en establecimientos de distintos grupos CREA de la región Sur de Santa Fe en las provincias de Santa Fe y Córdoba (Tabla 1). La rotación de estos ensayos es maíz-soja-trigo/soja, es decir que tuvieron maíz en 2000/01 y 2003/04, trigo/soja en 2002/03 y soja de primera en 2001/02. Los tratamientos de fertilización se realizan anualmente siempre sobre las mismas parcelas.

Los tratamientos utilizados incluyen un Testigo sin fertilizar, distintas combinaciones de N, P y S, y un tratamiento Completo con NPS más potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y/o zinc (Zn). La cantidad de nutrientes y los fertilizantes aplicados se indican en la Tabla 2. En soja de primera no se aplica N en ninguno de los tratamientos. Cuando se indica N en los distintos tratamientos corresponde a aplicaciones de N realizadas en los cultivos de trigo y maíz previos. En todos los sitios, los tratamientos se dispusieron en un diseño en bloques completos con tres repeticiones.

En pre-siembra, se muestrearon tratamientos selectos de dos bloques para determinar: P Bray en capa superficial (0-20 cm); y S-sulfatos a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. Se tomaron veinte submuestras por muestra superficial y 10 submuestras por muestra subsuperficial.

Se determinó el contenido de agua del suelo a 0-100 cm de profundidad en el tratamiento 5 (NPS) a la siembra, en floración y a madurez fisiológica.

El índice de verdor se determinó utilizando un Minolta SPAD 502 en floración (R2) en los folíolos de la última hoja plenamente expandida en los tratamientos NP y NPS.

A cosecha se determinó el rendimiento y la humedad de grano. Los rendimientos reportados se han corregido al 13.5% de humedad.

Resultados

Análisis de suelo

En las Tabla 3 se indican los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra de los ensayos. Se observan efectos residuales importantes de la fertilización con P de años anteriores en los cinco sitios. Las concentraciones de P Bray en los tratamientos NS fueron menores a los niveles críticos estimados para soja (12-14 mg/kg P Bray) en San Antonio, algo superiores en Santo Domingo y La Blanca, y muy superiores en La Hansa y Lambaré.

Las diferencias en concentración de S-sulfatos entre tratamientos NP y NPS fue variable para los cinco sitios. En La Blanca, La Hansa y San Antonio no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, mientras que en Lambaré el NP superó a NPS, y en Santo Domingo el NPS superó al NP

Rendimientos y respuestas a la fertilización

El rendimiento promedio para todos los tratamientos y sitios fue de 4426 kg/ha (Tabla 4), a partir de las excelentes condiciones climáticas registradas en esta campaña. Las precipitaciones promediaron 617 mm para el período Noviembre-Marzo en los cinco sitios. Los rendimientos más bajos se obtuvieron en La Hansa, el sitio de historia agrícola mas prolongada, y en San Antonio, en un lote con signos de erosión hídrica previa a la instalación del ensayo.

El número de granos por m² fue el principal determinante del rendimiento, mientras que el peso de mil granos no se relacionó con el rendimiento (Tabla

5). Los rendimientos obtenidos se asociaron con el número de granos por m² según la siguiente relación:

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = 1.712 \text{ Número de granos por m}^2 \quad R^2 = 0.918$$

Se observaron diferencias significativas por P en La Blanca, San Antonio y Santo Domingo; por S en La Blanca, y Santo Domingo; y por efecto residual de N aplicado en campañas anteriores en La Blanca. En ningún sitio, la aplicación de otros nutrientes (Mg, B, Cu y Zn) tuvo efectos significativos.

En La Blanca, los niveles de P Bray cercanos al umbral crítico, la historia agrícola de 10 años y, sobretodo, los altos niveles de rendimiento alcanzados permitirían explicar las respuestas a N, P y S. El efecto de N es residual de aplicaciones anteriores y estaría indicando un efecto sobre el ambiente sin relación directa con una mayor disponibilidad de N-nitratos.

En La Hansa, las diferencias entre tratamientos se observaron entre el Testigo y cualquiera de los otros tratamientos, siendo significativa la respuesta a NPS.

El sitio de Lambaré es el de mayor fertilidad inicial al inicio de los ensayos en 2000. En esta campaña de soja mostró diferencias significativas entre el tratamiento NPS y el Testigo. Esta respuesta podría indicar un efecto acumulativo de fertilidad en este tratamiento a lo largo de los años.

El ensayo de San Antonio mostró respuestas significativas a P a partir del bajo nivel de P Bray. En Santo Domingo, los excelentes rendimientos logrados permitieron expresar el potencial de respuesta a P y S.

La Fig. 1 muestra los rendimientos promedios en el 2001/02 y en esta campaña 2004/05. Las diferencias entre tratamientos Testigo y PS en 2001/02 fueron de 166 kg/ha (+4%) y 591 kg/ha (+15%) para 2001/02 y 2004/05, respectivamente. Las mayores diferencias entre tratamientos en 2004/05 que en 2001/02, más allá de las diferencias en condiciones climáticas entre campañas, indicarían que la soja estaría respondiendo a la "acumulación" de fertilidad como ya ha sido observado para trigo y maíz en esta misma red de ensayos.

Relaciones entre las variables de suelo y planta y los rendimientos y las respuestas a la fertilización

El rango de P Bray de los once ensayos realizados en soja de primera (6 en 2001/02 y 5 en esta campaña), presenta un sesgo hacia niveles de P Bray superiores a los umbrales considerados críticos, dificultando la obtención de modelos de respuesta. De los once ensayos solamente San Antonio 2004 presentó niveles debajo de 12-14 mg/kg P Bray. La Fig. 2 muestra el ordenamiento según concentración de P Bray y rendimiento relativo de soja sin aplicación de P.

La respuesta a S de los once sitios 2001/02 y 2004/05 no se relacionó significativamente con la disponibilidad de S-sulfatos en kg/ha a 0-60 cm de

profundidad y parcialmente con la de S-sulfatos en mg/kg a 0-20 cm de profundidad (Fig. 3). Esta falta de ajuste entre la respuesta a S y la disponibilidad de S-sulfatos a la siembra se observó en muchas experiencias en la zona, incluso en una extensa red de S en soja de primera (44 sitios) realizada en la campaña 2003/04. La determinación del índice de verdor (IV) con el Minolta SPAD 502 al estado de plena floración (R2) (Tabla 6), tampoco mostró una correlación significativa con la respuesta a la fertilización azufrada.

Conclusiones

1. Las excelentes condiciones climáticas registradas permitieron alcanzar altos rendimientos.
2. El número de granos por m² fue el componente que definió el rendimiento del cultivo.
3. Se observaron diferencias significativas por P en tres sitios; por S en dos sitios; y por efecto residual de N aplicado en campañas anteriores en un sitio. En ningún sitio, la aplicación de otros nutrientes (Mg, B, Cu y Zn) tuvo efectos significativos sobre el rendimiento.
4. Las mayores diferencias entre tratamientos en 2004/05 que en 2001/02, indicarían que la soja estaría respondiendo a la “acumulación” de fertilidad.
5. La respuesta a la fertilización fosfatada se relacionó con los niveles de P Bray del suelo.
6. No se obtuvieron relaciones significativas entre la respuesta a la fertilización azufrada y la disponibilidad de S-sulfatos en kg/ha a 0-60 cm y en mg/kg a 0-20 cm, o con el índice de verdor determinado a floración.

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 la siembra, anthesis y madurez fisiológica y precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

Establecimiento	La Blanca	La Hansa	Lambare	San Antonio	Santo Domingo
CREA	Gral. Baldissera	Armstrong-Montes de Oca	San Jorge-Las Rosas	Rosario	Monte Buey-Inrville
Serie Suelo	La Bélgica	Bustinza	Los Cardos	Maciel	Monte Buey
Labranza	SD	SD	SD	SD	SD
Años agricultura	10	25	8	8	7
Antecesor	Maíz				
Fecha de siembra	4/11/04	10/11/04	6/11/04	10/11/04	26/10/04
Distancia entre surcos (cm)	52				
Densidad (plantas/m lineal)	20	21	23	19	18
Fecha de cosecha	19/4/05	6/4/05	5/4/05	6/4/05	19/3/05
<i>Agua en el suelo (mm) - Tratamiento NPS (0-100 cm)</i>					
Siembra	268	281	283	176	250
Floración	308	478	404	459	332
Madurez fisiológica	446	530	525	567	463
<i>Precipitaciones (mm)</i>					
Julio	75	62	19	45	55
Agosto	37	31	2.5	22	32
Septiembre	20	11	11	8	0
Octubre	123	104	50	111	120
Noviembre	71	112	139	109	102
Diciembre	130	123	99	152	150
Enero	119	140	141	122	212
Febrero	115	77	41	68	137
Marzo	23	164	285	198	57
<i>Enero-Febrero</i>	234	217	182	190	349
<i>Total Noviembre-Marzo</i>	458	616	705	649	658

ND = No determinado

Tabla 2. Tratamientos establecidos a la siembra de Soja I en los cinco sitios experimentales.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
<i>Fertilizante (kg/ha)</i>						
Fosfato Monoamonico		147		147	147	147
Magnesio 36%						30
Azufertil (19%)		126	126		126	126
B10%						10
Zn40%						5
Cu25%						4
Fertilizante total (kg/ha)	0	273	126	147	273	322
<i>Nutrientes (kg/ha)</i>						
P		34		34	34	34
Mg						11
S		24	24		24	24
B						1
Zn						2
Cu						1

Tabla 3. Análisis de suelo previos a la siembra de soja. Promedios de dos repeticiones.

Ensayo	Tratamiento	P	S-S04	S-S04
		<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>kg/ha</i>
		0-20 cm	0-20 cm	0-60 cm
La Blanca	NS	15.9		
	NP		9.9	59
	NPS	26.2	9.2	67
La Hansa	NS	22.0		
	NP		7.6	44
	NPS	53.0	6.3	47
Lambaré	NS	45.0		
	NP		11.4	81
	NPS	50.0	8.5	58
San Antonio	NS	9.6		
	NP		10.1	74
	NPS	33.0	8.8	67
Santo Domingo	NS	13.4		
	NP		5.7	36
	NPS	19.3	9.9	72

Tabla 4. Rendimientos de soja para los seis tratamientos evaluados y respuestas a N, P, S, NPS y otros nutrientes en los cinco ensayos. Promedios de tres repeticiones.

Tratamiento	La Blanca	La Hansa	Lambare	San Antonio	Santo Domingo	Promedio
Testigo	4482	3244	4100	2940	5408	4035
PS	5309	3817	4173	3185	6106	4518
NS	4958	3615	4383	2977	5605	4308
NP	5024	3769	4236	3288	5676	4399
NPS	5600	3948	4407	3335	5841	4626
Completo	5296	4046	4554	3452	5992	4668
DMS (5%)	286	373	270	338	159	-
Promedio	5112	3740	4309	3196	5771	4426
Respuestas (kg/ha)						
N	291	131	234	150	-265	108
P	642	333	24	358	236	319
S	576	179	171	47	165	228
NPS	1118	704	307	395	433	591
Otros	-304	98	147	117	151	42

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

Tabla 5. Peso de mil granos y número de granos por m² de soja para los seis tratamientos evaluados y respuestas a N, P, S, NPS y otros nutrientes en los cinco ensayos. Promedios de tres repeticiones.

Tratamiento	La Blanca	La Hansa	Lambare	San Antonio	Santo Domingo	Promedio
Peso de mil granos (g)						
<i>Promedios</i>						
Testigo	168	143	168	185	117	156
PS	170	157	174	190	118	162
NS	170	143	176	183	120	159
NP	169	159	167	184	121	160
NPS	175	159	167	187	118	161
Completo	174	164	176	191	120	165
DMS (5%)	1.3	2.3	1.4	2	1.5	
<i>Respuestas</i>						
N	5	2	-8	-3	-1	-1
P	5	16	-9	4	-3	3
S	6	0	-1	3	-3	1
NPS	7	16	-1	2	0	5
Otros	-1	5	9	4	3	4
Número de Granos por m²						
<i>Promedios</i>						
Testigo	2673	2264	2440	1589	2049	2203
PS	3129	2427	2394	1676	2293	2384
NS	2911	2522	2490	1630	2070	2325
NP	2972	2369	2532	1787	2091	2350
NPS	3200	2478	2644	1787	2206	2463
Completo	3038	2462	2593	1808	2213	2423
DMS (5%)	171	267	196	186	248	
<i>Respuestas</i>						
N	71	51	250	110	-87	79
P	289	-43	154	157	136	138
S	227	109	112	0	116	113
NPS	526	214	204	197	158	260
Otros	-162	-17	-51	21	7	-40

Tabla 6. Determinaciones de índice de verdor (Minolta SPAD 502) a floración. Red de Nutrición CREA Sur de santa fe.

Ensayo	NP	NPS
<i>Unidades SPAD</i>		
La Blanca	34.7	35.3
La Hansa	36.9	37.8
Lambare	36	36.3
San Antonio	34.1	35.1
Santo Domingo	36.1	45.9

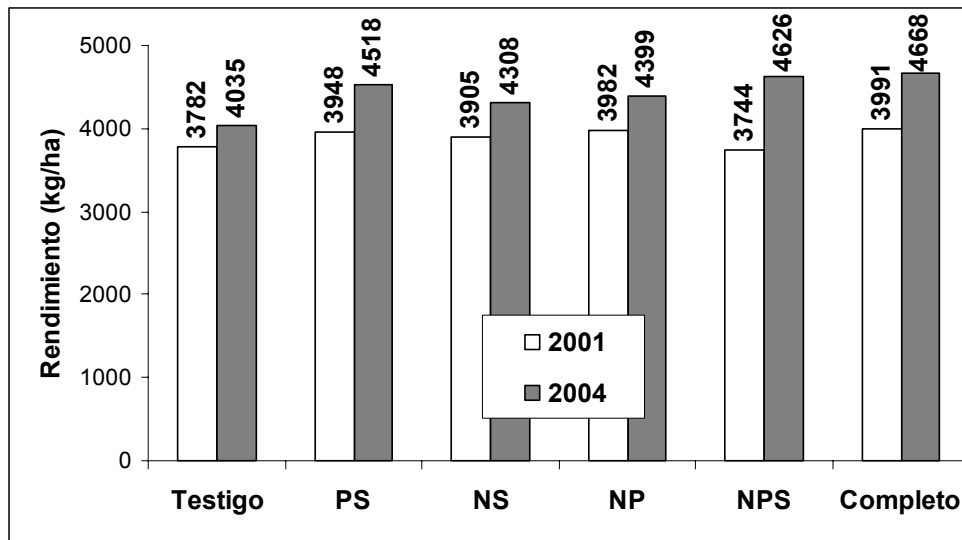


Fig. 1. Rendimientos promedio de soja de primera en los seis tratamientos evaluados en la campaña 2001/02 (6 sitios) y 2004/05 (5 sitios). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe.

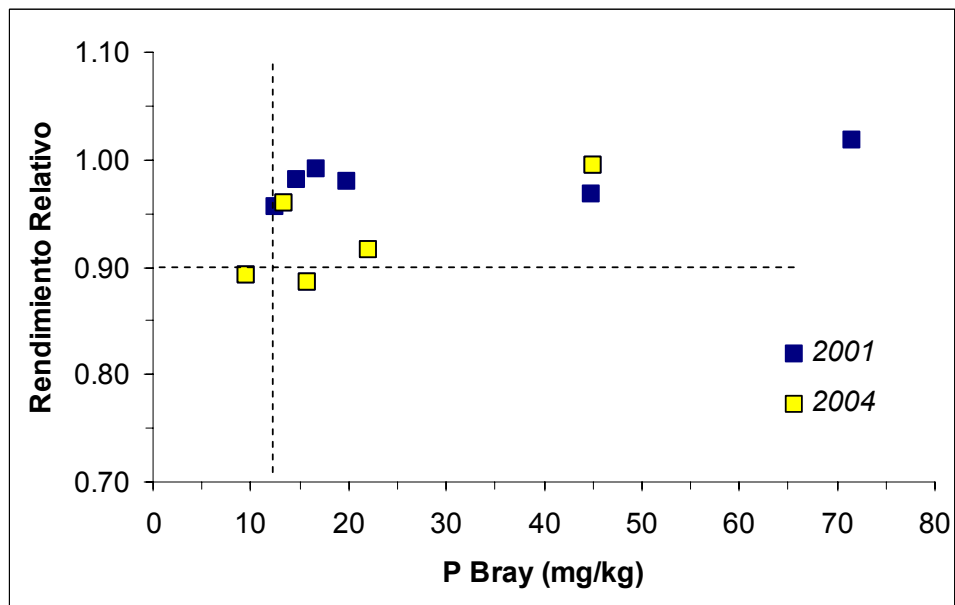


Fig. 2. Rendimiento relativo de soja en función de la concentración de P Bray en suelo. Campañas 2001/02 (6 sitios) y 2004/05 (5 sitios). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. La línea vertical indica 12-13 mg/kg P Bray y la horizontal el rendimiento relativo de 0.90.

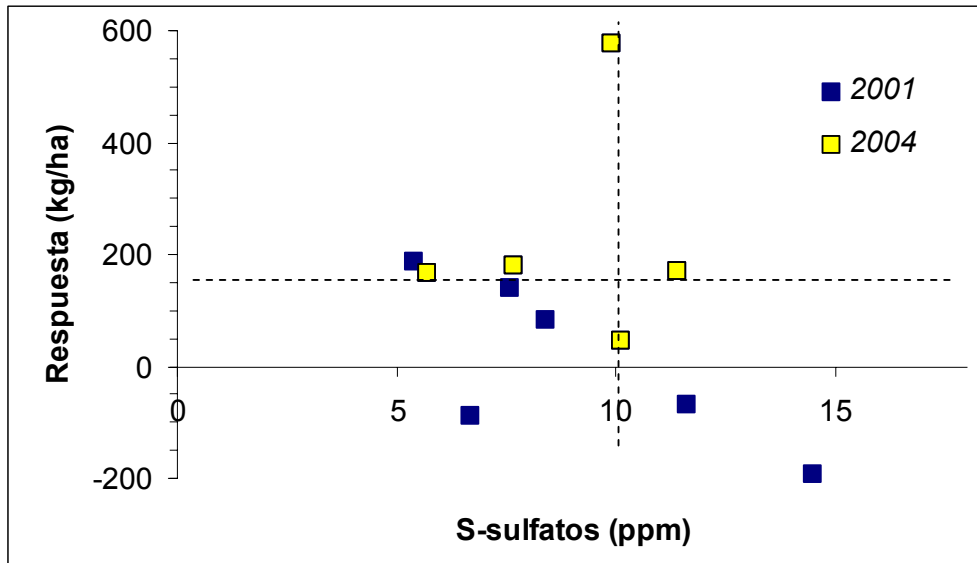


Fig. 3. Respuesta a la fertilización azufrada en soja en función de la disponibilidad de S-sulfatos a 0-20 cm. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, Campañas 2001/02 y 2004/05. la línea vertical indica 10 mg/kg S-sulfatos y la horizontal la respuesta de 150 kg/ha de soja..