

## EFFECTOS RESIDUALES Y DIRECTOS DE FÓSFORO Y AZUFRE EN EL RENDIMIENTO DE SOJA DE SEGUNDA.

SALVAGIOTTI F<sup>1</sup>, GERSTER G<sup>2</sup>, BACIGALUPPO S<sup>1</sup>, CASTELLARÍN J<sup>1</sup>, GALARZA C<sup>3</sup>, GONZÁLEZ N<sup>4</sup>, GUDELJ V<sup>3</sup>, NOVELLO O<sup>5</sup>, PEDROL H<sup>1</sup>, VALLONE P<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> EEA Oliveros INTA. <sup>2</sup> AER Cañada de Gómez INTA. <sup>3</sup> EEA Marcos Juárez INTA. <sup>4</sup> EEA Pergamino INTA. <sup>5</sup> GEOLAB – Cañada de Gómez. e-mail: [fsalvagiotti@correo.inta.gov.ar](mailto:fsalvagiotti@correo.inta.gov.ar). INTA Oliveros – Ruta 11 km 353 – 2206 – Oliveros – Pcia. Santa Fe. Tel. 03476 – 498010/011.

Recibido 5 de octubre de 2004, aceptado 11 de noviembre de 2004

### RESIDUAL AND FRESH EFFECTS OF PHOSPHORUS AND SULPHUR ON SOYBEAN FOLLOWING WHEAT

Most of the wheat crops are followed by double cropped soybean in the northern Pampas of Argentina. Low mobility nutrients applied in wheat could leave residual effects for the double cropped soybean. Some studies show soybean responses to residual phosphorus (P) or sulphur (S) when they are applied at rates in excess to wheat requirements, but there is no evidence showing if these effects on yield are the same than applying the nutrient level needed for each crop in the sequence and how nutrient use efficiency is affected. The objectives of this work were to: i) Evaluate the relationship between extractable P and sulphate-S content in soil and soybean yield response, ii) Evaluate P and S residual effects applied in wheat on soybean yield and iii) Compare response level between residual and fresh application of these nutrients on soybean yield and on nutrient use efficiency. Seven wheat/soybean experiments were conducted in two seasons (2001/02 and 2002/03) under no-tillage in the northern pampas with soybean as previous crop. Treatments were established to analyze the effect of P and S application strategies: i) Fertilization (P and S) based on the demand of a wheat/soybean sequence (wheat plus soybean requirement) applied when wheat was planted, and ii) The same fertilization level but applied in each crop based on the demand of each crop. Soils had low content of organic carbon and Bray P (below 15 mg kg<sup>-1</sup>). P \* S interaction was not significant in all the experiments. Wheat yields were low because of fungal diseases, and there was no response to S application. Soybean yield increased 15% and 17% in average because of P and S fertilization, respectively, and there were no differences in soybean yield and in nutrient use efficiency as a consequence of fertilizer application strategy. These results contribute to making P or S recommendations in double cropped soybean depending on operative or economic convenience, under the conditions in which the experiments were performed.

**Keywords:** Phosphorus, Sulphur, Soybean, Wheat, Residual effects, Fresh effects, Nutrient use efficiency.

### INTRODUCCION

El desarrollo de una agricultura intensiva con baja reposición de nutrientes que caracterizó los sistemas de producción de la región pampeana del siglo pasado, provocó balances negativos de los mismos, generando un proceso de degradación química que afectó la productividad del suelo (Andriulo *et al.* 1996). En el norte de la región pampeana esta ampliamente difundida la siembra de soja luego de la cosecha del trigo. La presencia de dos cultivos en un mismo ciclo agrícola, genera interacciones que afectan a cada uno de ellos de diferente manera. En consecuencia, prácticas de manejo aplicadas al primer cultivo afec-

tan directa o indirectamente el rendimiento del segundo. En este contexto, la aplicación en el trigo de fertilizantes que contienen en su formulación nutrientes de mediana a baja movilidad en el suelo, puede dejar remanentes aprovechables para la soja, debido a que la concentración en la solución esta en equilibrio con la fase sólida y son adsorbidos por las arcillas (Mengel, Kirby 1987). Si bien el suelo tiene la capacidad de adsorber más fuertemente a los fosfatos en relación a los sulfatos (Bohn *et al.* 1986; Scherer 2001), ambos nutrientes pueden mostrar efectos residuales en los cultivos siguientes cuando son aplicados en exceso (Barrow 1980; Bohn *et al.* 1986). En suelos

subtropicales con alto grado de meteorización se ha observado que el rendimiento de la soja se incrementó por efecto de la fertilización con fósforo (P) en el trigo sembrado previamente, siendo más eficiente que este en el uso del P residual (Aulakh *et al.* 2003). En suelos molisoles de la región pampeana, se han observado incrementos en el rendimiento del cultivo de soja respondiendo al aporte residual no solo de P, sino también del azufre (S) (Albrecht *et al.* 2000; Martínez *et al.* 2000; Cordone, Martínez 2001). Una secuencia trigo/soja extraerá 3.7 y 6.8 kg ha<sup>-1</sup> de P y 2.3 y 4.8 kg ha<sup>-1</sup> de S por tonelada de rendimiento de trigo y soja respectivamente (PPI-PPIC 1999). En región pampeana se ha determinado para el cultivo de soja un umbral de 13 mg kg<sup>-1</sup> de contenido de P Bray en el suelo, por encima del cual la respuesta a P disminuye, mientras que para S no se ha podido encontrar un umbral de sulfatos confiable (Echeverría *et al.* 2002). La eficiencia agronómica de uso del P o el S de la soja puede ser diferente si se comparan distintos momentos de aplicación en la secuencia (Barrow 1980). Si bien los trabajos en suelos molisoles del área pampeana muestran el efecto en el rendimiento de la soja de segunda del P y S residual, no existen evidencias que muestren si la magnitud de la respuesta y la eficiencia de uso los mismos son similares a la de aplicaciones directas en cada cultivo.

Los objetivos de este trabajo fueron: i)

Relacionar la respuesta en rendimiento a la fertilización con P y S de los cultivos de la secuencia trigo/soja en relación al contenido inicial de P y sulfatos en el suelo, ii) Evaluar los efectos residuales de la fertilización con P y S en el trigo sobre el rendimiento de la soja de segunda, y iii) Comparar el nivel de respuesta entre efectos residuales y de aplicaciones directas a soja de segunda de estos nutrientes y sus efectos sobre la eficiencia de uso del fertilizante aplicado.

#### MATERIALES Y METODOS

Durante dos campañas (2001/02 y 2002/03) se condujeron siete ensayos de fertilización con P y S en una secuencia trigo/soja, en suelos molisoles representativos del norte de la región pampeana, todos sembrados sobre soja de primera como cultivo antecesor en siembra directa (Tabla 1). Para poder analizar el efecto del momento de aplicación de P y S y la respuesta a la fertilización de los dos cultivos de la secuencia, se establecieron siete tratamientos (Tabla 2): 1) Testigo, sin fertilización fosfórica o azufrada, 2) Fertilización según secuencia (FSS): se fertilizó a la siembra del trigo con P, S y P + S de acuerdo a la extracción de P y S de los dos cultivos de la secuencia según un rendimiento objetivo, y 3) Fertilización según cultivo (FSC): se aplicaron las mismas combinaciones de P y S que en FSS, dividiendo la dosis de acuerdo al rendimiento esperado de cada cultivo, a la siembra de cada uno de ellos. El rendimiento objetivo se fijó en base a los rendimientos factibles de lograr en los dos cultivos en las condiciones agroecológicas de la región

Tabla 1.- Características de los lotes en donde se establecieron los ensayos de fertilización con P y S en una secuencia trigo/soja y fechas de siembra de cada uno de los cultivos.

Table 1.- Characteristics of plots where P and S experiments were established and sowing dates of wheat and soybean.

Campana	Sitio	Tipo de suelo	Serie	Años de AC * Siembra Trigo	Siembra Soja
2001/02	Armstrong	Argiudol acuico	Armstrong	18	27-Jun 07-Dic
2001/02	Pergamino	Argiudol típico	Pergamino	3	27-Jul 22-Dic
2001/02	Marcos Juárez	Argiudol típico	Marcos Juarez	10	25-Jun 27-Dic
2001/02	Leones	Argiudol típico	Marcos Juarez	10	22-Jun 13-Dic
2001/02	Maciel	Argiudol típico	Maciel	100	12-Jun 03-Dic
2002/03	Maciel II	Argiudol típico	Maciel	80	18-Jun 11-Dic
2002/03	Va. Eloísa	Argiudol típico	Va Eloísa	15	20-Jun 27-Nov

\* AC = Agricultura continua

Tabla 2.- Niveles y estrategias de aplicación de P y S: Fertilización según la secuencia (FSS) y Fertilización según cultivo (FSC) en la secuencia trigo/soja. Los niveles de nutrientes se calcularon en base a la extracción de un trigo de 3000 kg ha<sup>-1</sup> y una soja de segunda de 2500 kg ha<sup>-1</sup>.

Table 2.- Phosphorus and S rates and application strategies: Fertilization on sequence (FSS) and Fertilization on crop (FSC) in a wheat/soybean sequence. Nutrients rates estimations were calculated for an export of 3000 kg ha<sup>-1</sup> in wheat and 2500 kg ha<sup>-1</sup> in soybean.

Estrategia	Nutrientes	Dosis de nutrientes en kg /ha			
		Aplicados al Trigo		Aplicados a la Soja	
		P	S	P	S
	Testigo	0	0	0	0
	P	30	0	0	0
	S	0	20	0	0
FSS	PS	30	20	0	0
	P	13	0	17	0
	S	0	8	0	12
FSC	PS	13	8	17	12

pampeana norte: 3000 kg ha<sup>-1</sup> de trigo y 2500 kg ha<sup>-1</sup> de soja de segunda. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. El tamaño de cada parcela fue igual al ancho de la sembradora de trigo (4 a 5 m) por una longitud de 40 a 100 m. El espaciamiento entre surcos en los experimentos osciló entre 0.175 y 0.23 m en trigo, y entre 0.35 y 0.70 m en soja.

Se empleó fosfato monoamónico (11% nitró-

geno (N), 23% P) como fuente de P y yeso granulado (18% S) como fuente de S. El P se aplicó al costado de la semilla con la sembradora mientras que la fertilización con yeso se realizó al voleo posterior a la siembra del ensayo. Todos los tratamientos fueron fertilizados con 60 kg ha<sup>-1</sup> de N a la siembra del trigo utilizando como fuente urea (46% N), mientras que la soja de segunda fue inoculada con una cepa de *Bradyrhizobium japonicum* para evitar deficiencias de N.

A la siembra del trigo se caracterizó el lote a través de su contenido de P extractable (Pe) (Bray, Kurtz 1945), carbono orgánico (CO) por Walkey y Black (Alison 1965), pH por potenciometría (Thomas 1996) y contenido de S de sulfatos a través de una extracción con acetato de amonio y posterior determinación por turbidimetría (Chesnin, Yien 1953), en los primeros veinte cm del suelo con cuatro muestras compuestas por sitio (una por bloque). Se calculó la eficiencia agronómica en el uso del P (EUP) y del S (EUS) según las siguientes ecuaciones (Horst 1993):

$$EUP \text{ o } EUS = \frac{\text{Rendimiento tratamiento fertilizado} - \text{Rendimiento testigo}}{\text{Cantidad de nutriente aplicado}}$$

Para analizar la interacción sitio-año \* tratamiento se utilizó el modelo de la Tabla 3 (Gómez, Gómez 1984) donde sitio-año es considerado como variable fija. En caso de detectar interacción, el análisis de los tratamientos se realizó dentro de cada sitio-año. Se realizaron contrastes entre tratamientos para detectar diferencias entre estrategias de aplicación de P y S y la respuesta a la aplicación de cada nutriente utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc. 1985). Se realizó un ANOVA para evaluar el efecto de cada nutriente y la interacción entre ellos, confundiendo FSS y FSC, cuando no hubo diferencias significativas entre estrategias de fertilización. De no existir interacción entre P y S, la respuesta a la fertilización con P o S se calculó como:

Tabla 3.- Esquema del análisis de la varianza para analizar la interacción sitio-año \* tratamiento  
Table 3.- Outline of the analysis of variance to analyse site-years \* treatment interaction

Fuente variación	Cuadrados medios (CM)	F
Sitio-año	CM Sitio-año (CMSA)	CMSA / CMR
Repetición (Sitio-año)	CM Repetición (CMR)	
Tratamiento	CM Tratamiento (CMT)	CMT / CME
Tratamiento * Sitio-año	CM Tratamiento * Sitio-año (CMI)	CMI / CME
Error	CM Error (CME)	

Respuesta a P = [(Rendimiento PS – Rendimiento S) + (Rendimiento P – Rendimiento Testigo)] / 2

Respuesta a S = [(Rendimiento PS – Rendimiento P) + (Rendimiento S – Rendimiento Testigo)] / 2

La EUP o la EUS fue analizada a través de un análisis de la varianza en aquellos sitios donde la respuesta a la fertilización con P y S fue significativa, utilizando la estrategia de aplicación y el nutriente como fuente de variación.

Se realizaron regresiones entre la respuesta en rendimiento y el contenido de nutrientes en el suelo a la siembra del trigo, utilizando el procedimiento REG del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc. 1985).

**RESULTADOS Y DISCUSION**

Los lotes donde se instalaron los ensayos presentaron un importante grado de degradación química. El contenido de CO en los primeros veinte cm fue menor a 1.39%, mientras que los valores de Pe estuvieron por debajo de las 15 mg kg<sup>-1</sup> (excepto Marcos Juárez), rango en donde es más probable obtener respuesta a la aplicación de este nutriente (Ferrari et al. 2000; Echeverría et al. 2002). El contenido de S-sulfatos estuvo por debajo de 15 mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 4).

El rendimiento promedio de cada ensayo de trigo, osciló entre 1734 y 2717 kg ha<sup>-1</sup>, por

Tabla 4.- Concentración de carbono orgánico (CO), pH en agua, P extractable Bray (Pe) y S-sulfatos (S-SO<sub>4</sub>) en los primeros veinte cm en los ensayos de trigo/soja.

Table 4.- Organic carbon concentration (CO), pH in water, extractable P (Pe) and sulphate-S content (S-SO<sub>4</sub>) in the upper 20 cm layer in the wheat/soybean experiments

Sitio	CO	pH	Pe	S-SO <sub>4</sub>
	(g kg <sup>-1</sup> )		(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )
Armstrong	1.39	5.7	14	8
Pergamino	1.39	5.8	13	5
Marcos Juárez	1.33	6.0	30	8
Leones	1.16	6.1	14	18
Maciel	1.22	5.5	15	10
Maciel II	1.10	5.6	4	11
Va. Eloísa	1.39	6.0	11	10

debajo del rendimiento de 3000 kg ha<sup>-1</sup> que se fijó como objetivo al planificar la fertilización de los cultivos (Tabla 5). Los bajos rendimientos en el cultivo de trigo estuvieron explicados por un ataque de golpe blanco (*Fusarium graminearum* (Schw.) Petch) durante antesis, etapa en donde las precipitaciones estuvieron

Tabla 5.- Rendimientos en grano, promedios de 4 repeticiones, en los siete tratamientos de los siete ensayos de fertilización en la secuencia trigo/ soja en la región pampeana norte.

Table 5.- Grain yield, average of four replications, in seven fertilization experiments in the wheat/soybean sequence at the northern Pampas of Argentina

Tratamiento	Sitio						
	Armstrong	Pergamino	Marcos Juárez	Leones	Maciel	Maciel II	Va. Eloísa
	----- Trigo (kg ha <sup>-1</sup> ) -----						
Testigo	1654	2240	1842	2753	2010	1800	1770
P	2133	2435	1776	2657	2016	2020	2543
FSS S	1840	2471	1788	2556	2033	1842	2068
P + S	2192	2462	1759	2608	2021	2208	2432
FSC P	1735	2306	1643	2742	2112	2183	2427
S	2084	2365	1631	2777	2127	1850	2018
P + S	1993	2436	1702	2931	2163	2389	2382
	----- Soja (kg ha <sup>-1</sup> ) -----						
Testigo	2482	2487	2823	2502	1615	2331	3317
P	2545	2807	2836	2652	1680	2633	3491
FSS S	3186	2833	2811	2449	2140	2680	3801
P + S	3099	3073	2820	2488	2013	3142	3839
FSC P	2657	3180	2814	2569	1680	2751	3485
S	3107	2847	2992	2508	2047	2530	3900
P + S	3256	3073	2924	2476	1985	3037	3792

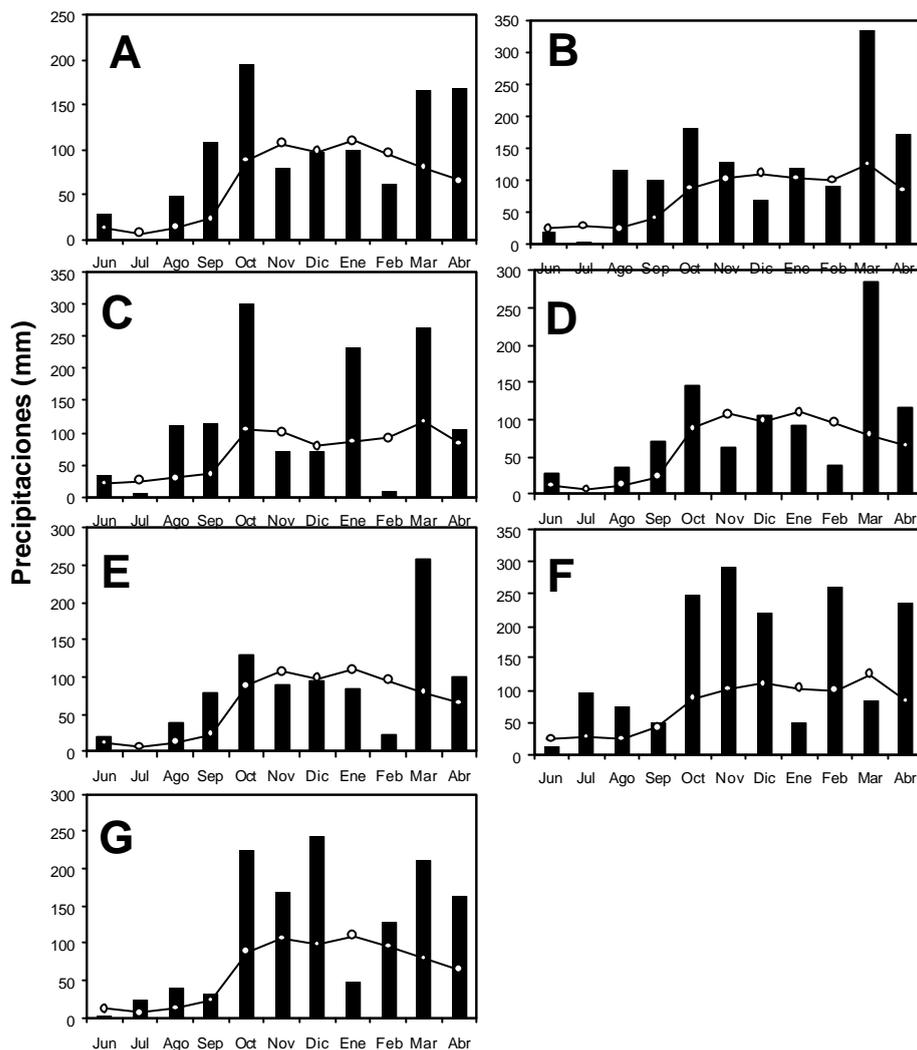


Figura 1.- Precipitaciones mensuales (columnas) en los experimentos en trigo/soja y probabilidad media de ocurrencia (líneas) según la serie climática histórica. A) Armstrong; B) Maciel; C) Pergamino; D) Marcos Juárez; E) Leones; F) Maciel II; G) Va. Eloisa.

Figure 1.- Monthly rainfall (columns) in the wheat/soybean experiments, and mean rainfall probability (lines) in the historical climatic serie. A) Armstrong; B) Maciel; C) Pergamino; D) Marcos Juárez; E) Leones; F) Maciel II; G) Va. Eloisa

por encima de la probabilidad media de ocurrencia (Figura 1). Por otra parte, la producción promedio de la soja de segunda estuvo comprendida entre 1880 y 3661 kg ha<sup>-1</sup> en los diferentes experimentos (Tabla 5). Las precipitaciones durante febrero - marzo, durante los estadios reproductivos de la soja (R<sub>2</sub> - R<sub>0</sub>), estuvieron por debajo de la probabilidad media en algunos ensayos afectando el potencial de rendimiento del cultivo (Figura 1).

La respuesta en rendimiento a la fertilización con P y S fue similar para las dos

estrategias de fertilización (interacción estrategia \* P \* S no significativa), pero distinta en los distintos sitio-año estudiados en los dos cultivos de la secuencia, es decir que la interacción tratamiento \* sitio-año fue significativa (P<0.002). En general, al analizar el efecto del P y el S en cada sitio-año para el rendimiento de los dos cultivos, la interacción P \* S fue no significativa (P>0.23) en cada uno de los experimentos (Tabla 6 y 7), es decir que el comportamiento del cultivo frente al incremento en la disponibilidad de P fue

Tabla 6.- Rendimiento en grano y análisis de la varianza del cultivo de trigo fertilizado con P y S en la secuencia trigo/ soja en siete sitios de la región pampeana norte. Cada dato es el promedio de las dos estrategias de fertilización: Fertilización según la secuencia (FSS) y Fertilización según cultivo (FSC).

Table 6.- Grain yield and analysis of variance of wheat crops fertilized with P and S in a wheat/ soybean sequence in seven locations in the northern pampean region. Each value is the average of two fertilization strategies: Fertilization on sequence (FSS) and Fertilization on crop (FSC)

Nutrientes	Localidad						Va. Eloísa
	Armstrong	Pergamino	Marcos Juárez	Leones	Maciel	Maciel II	
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----						
Testigo	1654	2240	1842	2753	2010	1800	1770
P	1934	2371	1710	2700	2064	2102	2485
S	1962	2418	1710	2667	2080	1846	2043
PS	2093	2449	1731	2770	2092	2299	2407
ANOVA							
P	*	ns	ns	ns	ns	**	**
S	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

\* y \*\*, diferencias significativas al 5 y 1% de probabilidad; ns, no significativo

independiente del aumento en la disponibilidad de S y viceversa, sugiriendo efectos aditivos entre los dos nutrientes. Solamente en Va Eloísa y para el cultivo de trigo, la interacción entre nutrientes fue significativa (Tabla 6). En línea con lo analizado en este trabajo, Mvaravipour *et al.* (1999) tampoco observaron interacción significativa entre estos nutrientes en el rendimiento de trigo y de soja.

#### Respuesta a la fertilización con fósforo

En Pergamino y Maciel II, el rendimiento de la soja de segunda se incrementó significativamente ( $P < 0.05$ ) por efecto de la fertilización con P, en el orden del 14 y 17% (Tabla 7), en suelos donde el contenido de Pe fue 4 y 13 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. En Pergamino, la aplicación de P no afectó el rendimiento de trigo, probablemente por los bajos rendimientos alcanzados, pero en Maciel II aun con el mismo nivel de rendimiento, la fertilización con P incremento el rendimiento en un 21% (Tabla 6). Por otra parte, en los ensayos de Va Eloísa y

Armstrong, se observaron incrementos significativos en el rendimiento del trigo del orden de 206 y 540 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, tendencia que no se observó en la soja de segunda (Tabla 6). La respuesta en el rendimiento de la soja de segunda tuvo una relación consistente con el contenido de Pe en los primeros veinte cm medidos a la siembra del trigo ( $r^2 = 0.43$ ,  $P < 0.05$ ) (Figura 2A). Esta tendencia remarca la importancia de este indicador para definir lotes con mayor probabilidad de respuesta a la fertilización con P, tal como había sido también determinado en soja de primera (Echeverría *et al.* 2002) o maíz (Ferrari *et al.* 2000).

#### Respuesta a la fertilización con azufre

En cinco ensayos (Armstrong, Maciel, Pergamino, Maciel II y Va. Eloísa), los incrementos en el rendimiento en la soja de segunda por efecto de la fertilización con S fueron significativos ( $P < 0.05$ ), oscilando entre 217 kg ha<sup>-1</sup> y 620 kg ha<sup>-1</sup>, representando entre un 8 y un 24% (Tabla 7). Sin embargo, en trigo, solo

Tabla 7.- Rendimiento en grano y análisis de la varianza del cultivo de soja fertilizado con P y S en la secuencia trigo/ soja en siete sitios de la región pampeana norte. Cada dato es el promedio de las dos estrategias de fertilización: Fertilización según la secuencia (FSS) y Fertilización según cultivo (FSC).

Table 7.- Grain yield and analysis of variance of soybean crops fertilized with P and S in a wheat/ soybean sequence in seven locations in the northern pampean region. Each value is the average of two fertilization strategies: Fertilization on sequence (FSS) and Fertilization on crop (FSC).

Nutrientes	Localidad						Va. Eloísa
	Armstrong	Pergamino	Marcos Juárez	Leones	Maciel	Maciel II	
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----						
Testigo	2482	2487	2823	2502	1615	2331	3317
P	2601	2994	2825	2611	1680	2692	3488
S	3147	2840	2902	2479	2094	2605	3851
PS	3178	3073	2872	2482	1999	3090	3816
ANOVA							
P	ns	**	ns	ns	ns	**	ns
S	**	*	ns	ns	**	**	**
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

\* y \*\*, diferencias significativas al 5 y 1% de probabilidad; ns, no significativo

en Armstrong el rendimiento se incrementó significativamente por la mayor disponibilidad de S en un 13% (Tabla 6). La ausencia de respuesta en el trigo en los demás experimentos pudo deberse a una menor demanda de S por los bajos rendimientos alcanzados.

A diferencia de lo ocurrido con el análisis de Pe, la respuesta en el rendimiento de la soja de segunda no se asoció al contenido de S-sulfatos del suelo medido a la siembra del trigo (Figura 2B).

#### Estrategia de aplicación y eficiencia de utilización de fósforo y azufre en soja

En aquellos sitios donde la respuesta a la fertilización con P en la soja de segunda fue significativa, el nivel de incremento en el tratamiento FSS no se diferenció significativamente ( $P > 0.21$ ) de la respuesta obtenida en FSC (Tabla 5). Por otra parte, en los ensayos donde la respuesta a la fertilización con S fue significativa tampoco se observaron ventajas por algu-

na de las estrategias de aplicación de los nutrientes (Tabla 5). En consecuencia, en FSS o FSC, la disponibilidad tanto de P como S en el suelo alcanzó una concentración que permitió que el cultivo de soja no tuviera limitantes para expresar el rendimiento. Estos resultados son distintos a los de Barrow (1980), quien había observado que el efecto del P residual sobre la respuesta del cultivo es menor que el proveniente de aplicaciones directas al cultivo. Por otra parte, Aulakh *et al.* (2003) observaron que la soja respondía a niveles de P residual aplicado al trigo más bajos, en relación a la respuesta del trigo al P residual aplicado en la soja. Además, existen evidencias en la bibliografía acerca de las diferentes habilidades de los cultivos para adquirir el P del suelo (Fixen, Grove 1990), incluso existiendo diferencias entre genotipos dentro de una misma especie (Batten 1992; Melchiori *et al.* 2004). La eficiencia agronómica en el uso del P no fue alterada por la estrategia de manejo del fertili-

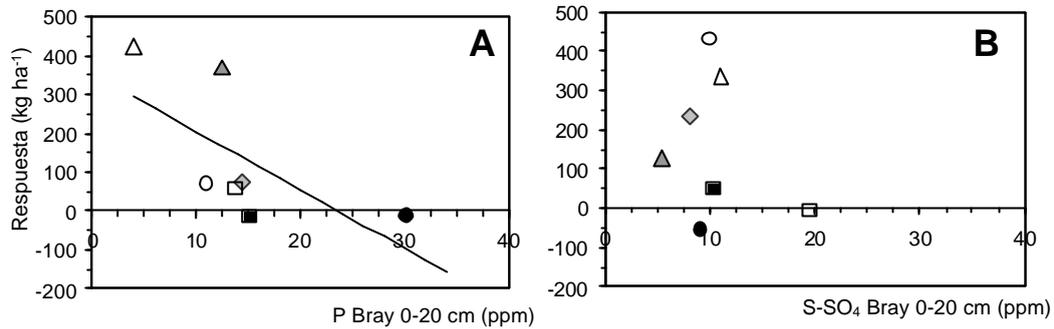


Figura 2.- Relación entre la respuesta en rendimiento a P y S del cultivo de soja de segunda y el contenido de P Bray ( $r^2=0.43$ ,  $P > 0.05$ ) (A) y  $S-SO_4$  (B) en los primeros veinte cm del suelo en siete sitios de la región pampeana norte. (◇ Armstrong, □ Leones, ■ Maciel, △ Maciel II, ● Marcos Juárez, ▲ Pergamino, ○ Va Eloisa).

Figure 2.- Relationship between soybean response to P and S fertilization and P (Bray) (A) and  $S-SO_4$  (B) content in the 20 cm upper layer in seven experiments in the northern pampean region. (◇ Armstrong, □ Leones, ■ Maciel, △ Maciel II, ● Marcos Juárez, ▲ Pergamino, ○ Va Eloisa).

zante oscilando entre 10 y 17 kg de grano de soja por kg de P aplicado, encontrándose dentro del rango informado por Aulakh *et al.* (1999). La fertilización con S tampoco modificó esta eficiencia, aún en sitios donde la respuesta a la fertilización con S fue significativa (Maciel II).

La eficiencia en el uso del S presentó una mayor variabilidad en los ensayos, desde 15 hasta 31 kg de grano de soja por kg de S aplicado, encontrándose valores similares o por encima de los reportados por Ganeshamurthy (1998). Tampoco se observaron diferencias en la EUS por la estrategia de aplicación del mis-

mo en la secuencia. En los ensayos de Maciel y Va Eloísa, la EUS fue significativamente menor cuando el cultivo fue fertilizado con P (Figura 3). A pesar que en estos sitios la respuesta a P no fue significativa, la magnitud de la respuesta a S fue menor cuando el cultivo fue fertilizado con P (Rendimiento PS – Rendimiento P). La mayor disponibilidad de P pudo producir un mayor crecimiento de raíces y utilización del S del suelo de otras profundidades, disminuyendo la magnitud de la respuesta y en consecuencia la EUS.

En conclusión, la respuesta a P en suelos con bajos contenido del mismo en el

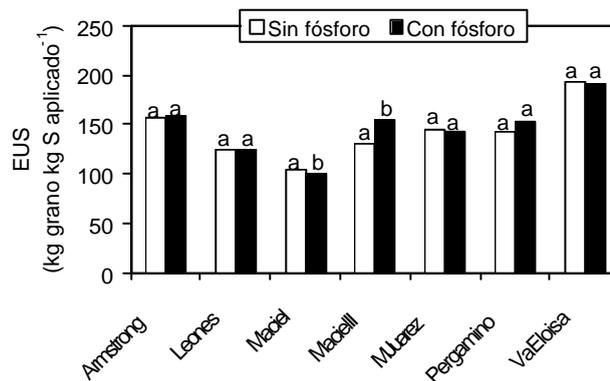


Figura 3.- Eficiencia en el uso del S (EUS) del cultivo de segunda de acuerdo a la fertilización con P en una secuencia trigo/soja. Columnas con la misma letra dentro de cada localidad no difieren estadísticamente según el test LSD al 5%.

Figure 3.- Sulphur use efficiency (EUS) of soybean crops following wheat in relation to P fertilization in a wheat/soybean sequence. In each site, columns with the same letter do not differ statistically using LSD test at 5%.

suelo no fue igual para los dos cultivos de la secuencia ya que en los ensayos de este trabajo se observó respuesta en trigo o en soja. Entonces, al analizar la respuesta a la fertilización en una secuencia hay que tener en cuenta otros aspectos además del contenido del nutriente en el suelo, ya sea el nivel de consumo de los mismos en los dos cultivos de la secuencia, el nivel de rendimiento que ambos puedan alcanzar, y la eficiencia en el uso de los nutrientes estudiados.

La aplicación del P y el S no mostró diferencias en los rendimientos de soja por efectos de la fertilización fosfatada o azufrada según el momento de aplicación de los nutrientes en la secuencia (a la siembra del trigo vs. en cada cultivo), lo que permitiría recomendar la fertilización del cultivo de soja en el momento que operativa y/o financieramente sea conveniente, en condiciones de cultivo similares a las exploradas en este trabajo.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Proyecto FERTILIZAR del INTA.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht R, Vivas H, Fontanetto H. 2000. Residualidad del fósforo y azufre en soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999/2000. INTA EEA Rafaela- Centro Regional Santa Fe – Publicación Miscelánea N° 93, 6:1-5
- Alison LE. 1965. Organic Carbon. En: CA Black (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2*, pp 1372-1378, American Society of Agronomy Inc., Wisconsin, USA.
- Andriulo A, Galantini J, Abrego F, Martínez F. 1996. Exportación y balance edáfico de nutrientes después de ochenta años de agricultura continua. Actas 13° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Aguas de Lindoia, Sao Paulo, Brasil.
- Aulakh MS, Pasricha NS, Bahl GS. 1999. Phosphorus fertilizer response in an irrigated soybean-wheat production system on a subtropical, semiarid soil. *Field Crops Research* 80,2:99-109.
- Barrow NJ. 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. En: FE Khasawneh, EC Sample and EJ Kamprath (Eds). *The role of phosphorus in agriculture*. ASA-CSSA-SSA. Madison USA.
- Batten GD. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and Soil* 146: 163-168.
- Bohn HL, Barrow NJ, Rajan SS, Parfitt RL. 1986. Reactions of inorganic sulfur in soils. En: *Sulfur in agriculture* (M. Tabatabai Ed.). ASA – CSA – SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Bray RH, Kurtz LT. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Chesnin L, Yien CH. 1953. Turbidimetric determination of available sulfates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 15:149–151.
- Cordone G, Martínez F. 2001. Efecto de la aplicación de distintas dosis de nitrógeno y azufre sobre el rendimiento del doble cultivo trigo-soja. Para mejorar la producción 18 – SOJA – EEA Oliveros INTA. Santa Fe.
- Echeverría H, Ferraris G, Gerster G, Gutiérrez Boem F, Salvagiotti F. 2002. Fertilización de soja y la secuencia trigo-soja en la región pampeana. Campañas 2000/01 y 2001/02. INTA – FERTILIZAR. EEA INTA Pergamino Buenos Aires.
- Ferrari M, Ostojic J, Ventimiglia L, Carta H, Ferraris G, Rillo S, Galetto ML, Rimatori F. 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo del nitrógeno y el fósforo. Jornada de actualización técnica para profesionales Fertilidad 2000. INPOFOS Cono Sur. Acaasuso, Argentina.
- Fixen PE, Grove JH. 1990. Testing soil for phosphorus. En RL Westerman (Ed) *Soil testing and plant analysis*. Third Edition. SSSA Book Series 3. Madison, USA.
- Ganeshamurthy AN. 1998. An evaluation of sulphur efficiency parameters in soybean and wheat cropping systems in relation to fertiliser sulphur on a Typic Haplustert. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49: 33-40.
- Gómez K, Gómez A. 1984. *Statistical procedures for agricultural research*. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons Inc.
- Horst WJ, Abdou M, Wiesler F. 1993. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. *Plant and Soil* 155/156:293-6.
- Martinez F, Cordone G, Prieto G, Regis C, Abrate R. 2000. Fertilización del doble cultivo trigo/soja. Evaluación de respuesta en trigo. Para mejorar la producción 12– TRIGO– EEA Oliveros INTA. Santa Fe.
- Melchiori R, Caviglia O, Abbate P. 2004. Variaciones en la eficiencia de uso y utilización del fósforo entre cultivares de trigo. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS.
- Mengel K, Kirby EA. 1987. *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute. Bern, Switzerland.
- Mvaravipour M, Hasan R, Singh D. 1999. Effect of applied phosphorus, sulphur and zinc on yield and uptake parameters of wheat (*Triticum aestivum*) and soybean (*Glycine max*) grown on a loamy sand. *Indian Journal of Agricultural Sci-*

- ences 69:1-4.
- PPI-PPIC. 1999. Planilla de Cálculo para Estimar Requerimientos Nutricionales de Cultivos de Grano y Forrajeros. Disponible on line: <http://www.inpofos.org/ppiweb/ltams.nsf>
- SAS. Institute Inc. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Scherer HW. 2001. Sulphur in crop production. *European Journal of Agronomy* 14: 81-111.
- Thomas GW. 1996. Soil pH and soil acidity. En: DL Sparks, AL Page, PA Helmke, RH Loeppert, PN Soltanpour, MA Tabatabai, CT Johnston, ME Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical methods*. SSSA Book Series N° 5. SSSA, ASA, CSA. Madison, Wisconsin, USA