

### III. EL AZUFRE EN EL SISTEMA PRODUCTIVO AGRÍCOLA DEL CENTRO-SUR DE SANTA FE

Fernando Martínez y Graciela Cordone  
INTA Casilda

#### Importancia del Azufre en el área

La soja ocupa aproximadamente el 80% del área dedicada a agricultura en la región Centro Sur de Santa Fe que comprende los departamentos Caseros, Constitución, San Lorenzo y Rosario (Fig. 1). Esta región, de 1.049.000 has, participa con el 12 % de la producción nacional de soja y con el 10 % de la superficie sembrada en el país. Los suelos han sido cultivados con agricultura continua desde 3 a 5 décadas atrás, con la generalización de la soja como cultivo de segunda a partir de 1974, y como cultivo de primera desde 1980.



Figura 1: Área de trabajo.

El sistema productivo se ha caracterizado por un excesivo laboreo y por la no utilización de fertilizantes. Otras zonas con mayor proporción de su superficie sembrada con gramíneas han sido fertilizadas con Nitrógeno (N) y Fósforo (P) en los últimos 5 a 8 años; por el contrario, la soja usualmente no se fertilizaba, solo se le aplicaban bajas dosis de P en áreas limitadas. Parte del N que requiere esta leguminosa para su desarrollo es provisto por la fijación simbiótica; algunos autores mencionan que la cantidad fijada equivale

aproximadamente a la exportación de este nutriente en el grano.

La provisión de N y Azufre (S) del suelo es dependiente de la mineralización de la materia orgánica, por lo tanto el requerimiento de N se cubre a través de la fijación simbiótica y desde la materia orgánica. Sin embargo, la provisión de S en las zonas no industriales ha dependido exclusivamente del suelo y de la aplicación de fertilizantes que lo contuvieran como acompañante. La situación descrita fue creando un desbalance en el suministro de ambos nutrientes. Por otro lado, la soja tiene mayor concentración de S en el grano que las gramíneas, o sea que la exportación de S es mayor en una zona con predominancia de soja en la secuencia de cultivos que en un área con mayor proporción de gramíneas. Asimismo, el S en las leguminosas tiene una doble importancia, ya que constituye un nutriente en sí mismo y estimula la nodulación, favoreciendo de esta forma la nutrición del N de la planta.

La distribución de la superficie por cultivo y los rendimientos informados por la Dirección de Economía Agraria para el área Centro-Sur de la Provincia de Santa Fe y para las dos últimas campañas agrícolas, se observan en la Tabla 1. Se ilustra la exportación de S para la secuencia promedio de cultivos, la soja fue responsable del 73.1 y 77.7% del S total que salió del campo con los granos para las campañas agrícolas 1997/98 y 98/99, respectivamente. La soja requiere aproximadamente 6.5-7 kg de S por tonelada de grano producido.

La exportación media de S para el departamento Caseros, para el periodo 1880-1980 fue de 5.2 kg/ha/año (según F. Martínez, 1982). Para tener una referencia de la magnitud de la exportación de S se la puede comparar con la exportación media de P, que para la misma región y para la campaña 1997/98, fue de 13 kg/ha.

**Tabla 1: Distribución relativa de la superficie de cultivos, rendimientos y exportación de Azufre para las campañas agrícolas 1997/98 y 98/99.**

CULTIVO	S EN GRANO (%)*	RENDIMIENTO (T/HA)**		SUPERFICIE (%)**		S EXPORTADO POR CULTIVO (KG/HA)		EXPORTACIÓN/HA (KG S EN GRANO)	
		97/98	98/99	97/98	98/99	97/98	98/99	97/98	98/99
Maíz	0.17	7.34	6.78	12.8	11.2	12.5	11.5	1.60	1.23
Trigo	0.17	2.22	2.40	17.0	14.6	3.8	4.1	0.65	0.60
Soja I	0.32	3.07	2.85	60.8	68.5	9.8	9.1	6.00	6.23
Soja II	0.32	2.59	2.68	19.8	19.2	8.3	8.6	1.60	1.65
Cebada	0.18	2.76	2.62	2.3	1.2	5.0	4.7	0.12	0.06
Sorgo	0.15	6.91	5.93	4.2	4.2	10.4	8.8	0.44	0.37
<b>TOTAL</b>								<b>10.40</b>	<b>10.14</b>

Según [Deloch] en Mengel and Kirbv (1987), excepto sorgo; \*\* Según estimación de la Dirección de Economía Agraria-Estimaciones Agrícolas (SAGPyA) para los departamentos Caseros, Constitución, San Lorenzo y Rosario.

En la mayoría de los suelos arables el azufre se encuentra en la materia orgánica, en la solución del suelo como sulfatos solubles, o absorbido en el complejo absorbente del suelo. La forma orgánica representa más del 90% del azufre total en la mayoría de los suelos no calcáreos. Las plantas absorben S principalmente como ión  $SO_4^{=}$ , es un componente esencial de las proteínas, es requerido en el proceso de formación de clorofila y en el de aceites. Los síntomas de deficiencia en las plantas consisten principalmente en un amarillamiento similar al producido por la deficiencia de N, pero a diferencia de este, el amarillamiento se presenta en las hojas jóvenes que también presentan menor desarrollo.

En la región que nos ocupa, la fertilización de los cultivos se realiza de una manera coyuntural. Las dosis usualmente aplicadas alcanzan entre 0 y 50 % de la cantidad exportada para N y entre 0 y 35 % para P según cultivos y zonas y, hasta la campaña 1997/98, no se aplicaba nada de S. Esto significa que no existe una estrategia de fertilización que tienda a la reposición de los nutrientes exportados y,

menos aún, a alcanzar el umbral de disponibilidad de los nutrientes deficientes. *Analizando específicamente al cultivo de soja en el sistema productivo de la zona bajo estudio surge que: 1) es el que ocupa más superficie, II) el que más S extrae y III) el que menos se fertiliza.*

### **Respuesta de la soja a la fertilización con fuentes azufradas**

Desde hace varios años se han realizado experiencias en campos de producción sobre fertilización en soja (ver "AGROMERCADO", Cuadernillo Soja 1998 y Cuadernillo Trigo 1999; "Para Mejorar la Producción", INTA Oliveros, Soja 97/98). Sí bien en la etapa exploratoria se trabajó con P, a partir de 1993 se intensificaron los trabajos con S. La respuesta de la soja de segunda a la fertilización residual remanente de la aplicación en el cultivo invernal fue presentada en el Cuadernillo Trigo. A continuación se describen los resultados de fertilización aplicada directamente en Soja I y Soja II.

En todos los casos se aplicó azufre como sulfato ( $S-SO_4^{=}$ ). Las fuentes de fertilizantes azufrados utilizadas y sus concentraciones de nutrientes fueron las siguientes: 1) Sulfonitrato de amonio (14 % S + 26 % N), 2) Sulfato de amonio (24 % S + 21 % N), 3) Sulfato de potasio y magnesio (22 % S + 22 %  $K_2O$  + 11 % Mg), 4) Sulfato de magnesio (22 % S + 17 % Mg) y 5) Sulfato de calcio (17 % S + 30 % CaO). Las dosis aplicadas fueron 23 kg/ha  $P_2O_5$  y 12 kg/ha  $S-SO_4^{=}$ . La aplicación se realizó a la siembra, con incorporación lateral del fertilizante.

Cuando en un experimento se aplicaron varias fuentes a la misma dosis de S, se tomó el promedio obtenido en el sitio para esa dosis. Si la fuente azufrada tenía N acompañante, se aplicaron tratamientos de N como Nitrato de amonio calcáreo para aislar el efecto de cada nutriente. La semilla fue inoculada en todos los experimentos.

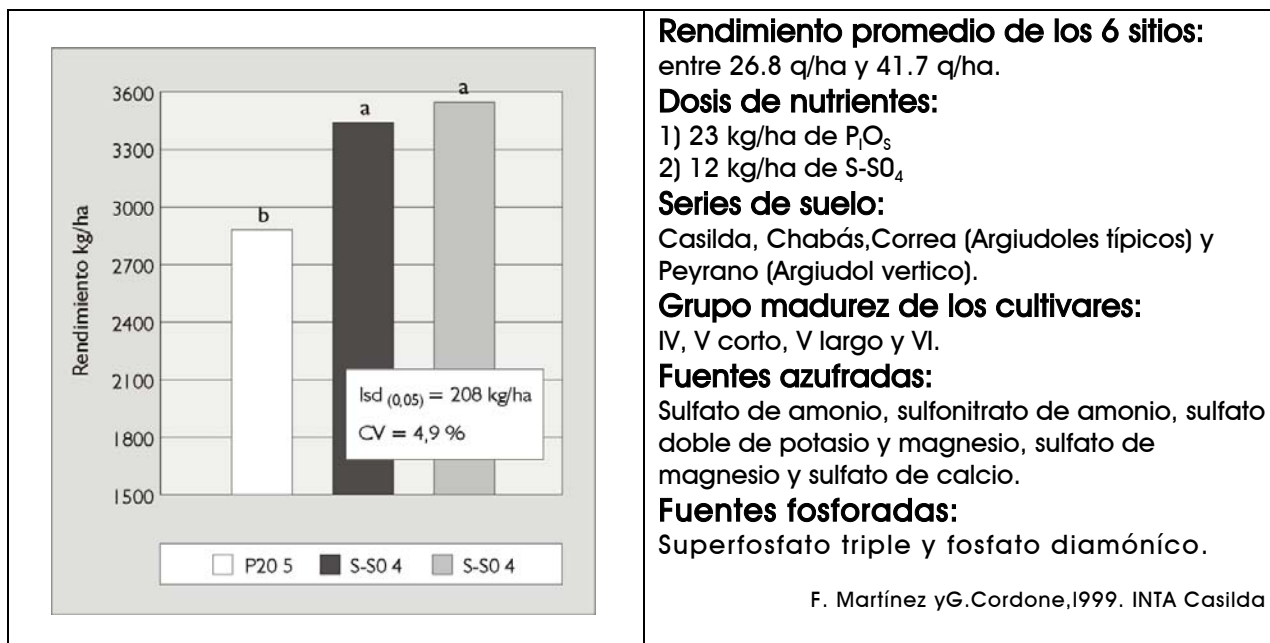
El tamaño de las franjas experimentales fue de dos anchos de sembradora o múltiplos, por el largo del lote, con testigos intercalados. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en 6 sitios experimentales para Soja I y en 5 para Soja II; para el análisis estadístico se tomó cada sitio como una repetición. El distanciamiento entre hileras de soja II fue de 0,525 m para los sitios 1, 2 y 3 y de 0,35 m para los 4 y 5; en soja I fije de 0.525 m. La cosecha se realizó con cosechadora comercial, el rendimiento se determinó con balanzas de 4 platos.

En la Figura 2 y Tabla 2 se observan los resultados obtenidos y algunas características de los sitios en los que se implantaron las franjas para soja de primera.

### **Efecto de la fertilización directa sobre el rendimiento de soja I**

Región Centro-Sur de Santa Fé, promedio de 6 sitios. Campaña 1998/99

Figura 2



El rendimiento medio de soja I para la campaña 1998/99 en el área de trabajo fue de 2850 kg/ha y el rendimiento promedio de los sitios informados para el tratamiento P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fue de 2932 kg/ha. La diferencia encontrada se aproxima a la respuesta media por aplicación de P. El rendimiento del tratamiento con S fue de 3437 kg/ha y el de la mezcla P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + S-SO<sub>4</sub> fue de 3558 kg/ha. Esta diferencia no es significativa; sin embargo, debe tenerse en cuenta que se utilizó una sola dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en las mezclas. Tal vez se hubieran manifestado incrementos de rendimiento si se hubieran utilizado mezclas con dosis mayores de P.

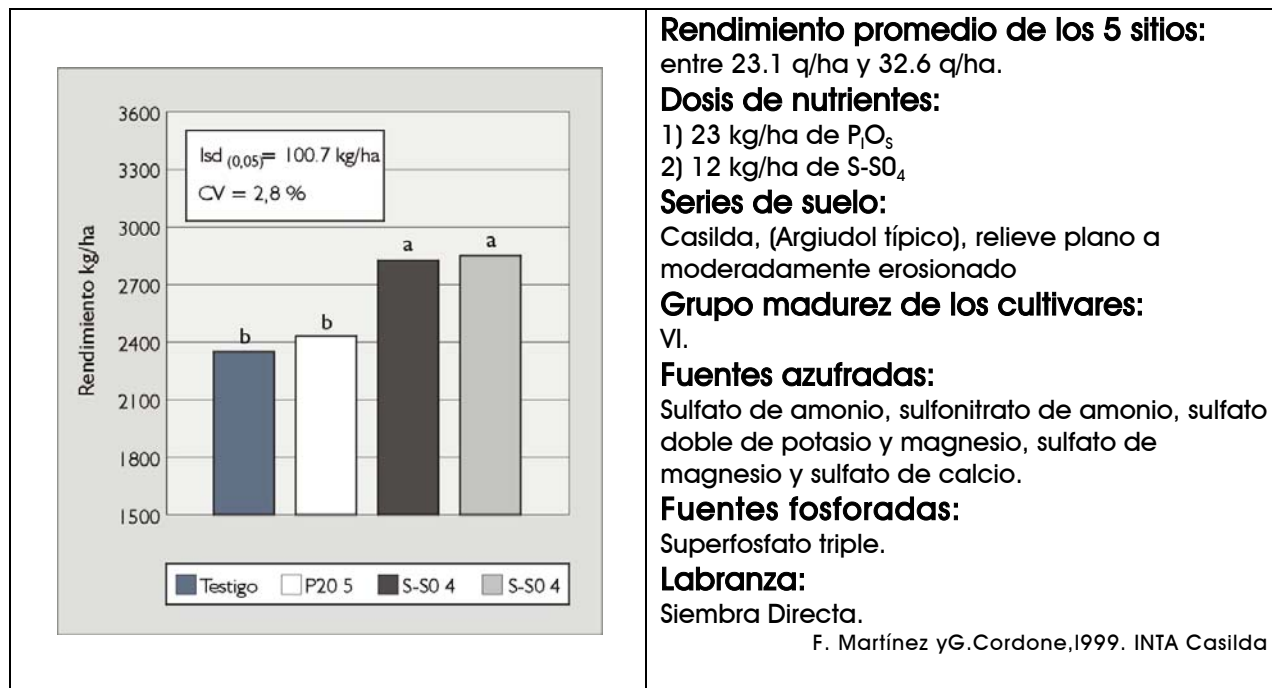
Tabla 2: Características de los sitios experimentales para Soja de primera.

SITIO	SERIE DE SUELO	CAPACIDAD USO/FASE EROSIÓN	ANÁLISIS SUELO		GRUPO DE MADUREZ DEL CV DE SOJA	LABRANZA SIEMBRA	CULTIVO ANTECESOR	RTO MEDIO GENERAL DEL SITIO (KG/11)
			M. O. (%)	P BRAY (PPM)				
1	Chabás 2	I - ligeram.	2.48	15	VI (RR)	Cinzel	Soja I	2817
2	Casilda 4 (Ca4)	II- severam.	2.45	15	V corto (RR)	SD	Soja I	2680
3	Correa 4 (Crr4)	II- ligeram.	2.44	11	VI (RR)	SD	Soja I	3234
4	Casilda 2 (Ca2)	I - ligeram.	2.8	16	V largo (RR)	SD	Soja I	3150
5	Peyrano (N)	I - plano	2.92	18	IV	SD	Maíz	4173
6	Cli bjs	I-plano	2.81	18	IV	Cinzel	Soja II	3800

En la Figura 3 y Tabla 3 se observan los resultados a la fertilización obtenidos y algunas características de los lotes experimentales en soja de segunda.

**Efecto de la fertilización directa sobre el rendimiento de soja II**  
Región Centro-Sur de Santa Fe. Promedio de 5 sitios. Campaña 1998/99

**Figura 3**



**Tabla 3: Características de los sitios experimentales para Soja de segunda.**

SITIO	SERIE DE SUELO	CAPACIDAD USO/FASE EROSIÓN	ANÁLISIS SUELO		GRUPO DE MADUREZ DEL CV DE SOJA	LABRANZA SIEMBRA	CULTIVO ANTECESOR	RTO MEDIO GENERAL DEL SITIO (KG/HA)
			M.O (%)	P BRA (PPNI)				
1	Casilda 2	I - ligeram.	2.45	15	VI (RR)	SD	Cebada	2472

2	Casi Casilda	I - plano	2.84	8	(I)	SD	Trigo	2710
3	Casilda 2 (C,-)	II -ligeram. erosionado	2.65	17	VI (RR)	SD	Alpiste	3264
4	Casilda 5	II - moder. Erosionado	2.4	20	(V)	SD	Cebada	2314
5	Casilda 5	II - moder. Erosionado	2,42	23	VI (RR)	SD	Cebada	2370

En 1998/99 el rendimiento medio de soja II en el área fue de 2680 kg/ha y el rendimiento promedio del testigo en los sitios experimentales fue de 2385 kg/ha. Una razón probable de esta diferencia es que los cvs utilizados fueron A 640I RR y A 6444 RR y ambos resultaron afectados por las heladas del 16 y 17 de abril (-2.0 y -0,5°C). La aplicación de P no incrementó significativamente el rendimiento respecto al testigo sin fertilizar (2449 vs. 2385 kg/ha). Los rendimientos de los tratamientos con  $S-SO_4^{=}$  (2828 kg/ha) y los de  $P_2O_5 + S-SO_4^{=}$  (2844 kg/ha) no presentaron diferencias significativas entre si, pero se diferenciaron de los otros dos. En un experimento con dosis variables de P se lograron respuestas crecientes a dosis crecientes. Al igual que en soja I, no se experimentaron mezclas con niveles variables de P. Todos los tratamientos fertilizados con S estaban con el follaje verde cuando ocurrieron las heladas, mientras que los tratamientos Testigo y con P estaban perdiendo sus hojas. En dos sitios se observó un marcado efecto visual de interacción P x S que, finalmente, no se tradujo en mayor rendimiento.

### Observaciones generales

- Se hicieron aplicaciones anticipadas a la siembra y hasta V4-V5, incorporadas y al voleo, con fuentes sólidas y líquidas, obteniendo respuestas semejantes a las aquí informadas cuando se agregaron entre 7 y 18 kg/ha  $S-SO_4^{=}$ .
- En algunos lotes comerciales fertilizados con S se presentaron problemas de vuelco y hubo pérdida de rendimiento por *Sclerotinia sp.*; es aconsejable elegir cultivares de ciclo más corto y con estructura de planta más erecta.
- Los lotes fertilizados presentaron alargamiento del ciclo, algunos fueron afectados por heladas tempranas que acortaron el llenado de granos; es recomendable utilizar cvs de ciclo más corto.
- Las franjas fertilizadas con S presentaron mayor resistencia al desgrane.
- Cuando se aplicaron a la siembra dosis mayores de 12 kg/ha de  $S-SO_4^{=}$  y se utilizaron cultivares de GM V largo y VI, se produjo excesivo crecimiento vegetativo.
- Se observó mayor ataque de orugas defoliadoras en los tratamientos con S, aunque en ningún caso fue necesaria una aplicación para controlarlas.
- El fertilizante siempre fue ubicado lateralmente, nunca en la línea de siembra.
- Actualmente, la dificultad para diagnosticar la deficiencia de S por su nivel en el suelo, sugiere elaborar la recomendación de fertilización en base al "concepto de ambiente deficiente" (desarrollado en publicaciones anteriores). Este contempla el estado de degradación del suelo (erosión, materia orgánica, etc.) y el manejo con el que ha sido utilizado (sistema de labranza, historia de

fertilización con N y P, nivel de rendimientos, etc.). El análisis de hoja es una herramienta complementaria válida para el diagnóstico.