

11. RESULTADOS DE ENSAYOS DE FERTILIZACION AZUFRADA EN SOJA

*Ings. Agrs. Fernando Martínez Graciela Cordone
INTA Casilda*

La UEEA INTA Casilda conduce un programa de experimentación tendiente a remover los déficits nutricionales que se suponía limitaban los rendimientos de soja. El programa consta de dos líneas de trabajo: 1. Fertilidad de Suelos y 2. Fertilización y Fertilizantes. En el marco de esta última se realizaron las siguientes actividades: a) Ensayos exploratorios de fertilización en soja. y b) Ensayos determinativos de fertilización con S que incluyen identificación de ambientes deficientes, fertilización directa y residual, comparación de fuentes, dosis, momento y localización. El programa se orientó a soja, sin embargo también se realizaron ensayos en trigo, maíz y sorgo.

A partir de 1995/96 se avanzó en el ajuste de la Fertilización azufrada en soja. Los fertilizantes utilizados fueron: Sulfonitrato de amonio Basf (SNA, 26 % N + 14 % S), Sulfato de amonio PASA (SA, 21 % N + 24 % S) y Kieserita Kali und Salz (Sulfato de Magnesio, 22 % S + 27 % MgO). Los experimentos se condujeron en lotes comerciales contando con la participación de numerosos técnicos y productores. En una primera etapa exploratoria los ensayos se ubicaron en los distintos ambientes productivos que se encuentran en el sur de Santa Fe. Con el avance del programa fue posible identificar ambientes deficientes con mayor precisión y, consecuentemente, ajustar la experimentación.

Los resultados obtenidos se informan como efecto de la *fertilización directa* (cuando el fertilizante ha sido aplicado directamente a la soja de primera o segunda) y de la *fertilización residual* (cuando el fertilizante ha sido aplicado al trigo antecesor de la soja de segunda). A partir de estos resultados fue posible identificar *ambientes deficientes*, cuyas características se describen en el presente trabajo.

Efecto de la fertilización directa

En la campaña 1993/94 se condujeron Ensayos Exploratorios de fertilización en soja de primera (soja 1), con los mismos tratamientos en 3 sitios. Los promedios de rendimiento obtenidos en los tres ensayos se informan en la Tabla 1.

La aplicación del fertilizante se realizó al voleo, a la siembra. Todos los suelos eran serie Hansen, en fase por erosión moderada. Uno de los ensayos se sembró en siembra directa (SD) y el antecesor fue sorgo, el ensayo 2 se sembró en SD sobre soja 1, y el tercero se sembró con labranza vertical sobre soja 1. Dado que no se contaba con una fuente simple de azufre, hubo que agregar una fuente nitrogenada para aislar el efecto de S. El análisis de los resultados de la Tabla 1 indicó que existiría una tendencia de respuesta al agregado de azufre y orientó la experimentación posterior. A pesar que el nivel de rendimiento fue distinto en los tres

sitios ensayados, la respuesta a los tratamientos conservó el mismo orden. También se observó que el desvío standard entre sitios era menor para los tratamientos con el agregado de S.

Tabla 1: Soja 1. Respuesta promedio de ensayos exploratorios en 1993/94.

Tratamiento	Dosis p.c. (kg/ha)	NUTRIENTE (KG/HA)			Rto medio (kg/ha)
		N	P ₂ O ₅	S-SO ₄	
Testigo	-	-	-	-	2123 (±327)
DAP	100	18	46	-	2106 (±318)
Sulfato de amonio	100	21	-	24	2359 (±272)
Urea	100	46	-	-	2276 (±314)
Sulfato de amonio	200	42	-	48	2555 (±221)

Valores entre paréntesis corresponden al desvío standard entre los 3 sitios.

Durante las campañas 1993/94 a 97/98 también se condujeron ensayos de fertilización azufrada en trigo, maíz y sorgo. En general, los resultados obtenidos marcaron respuesta al agregado de S, sobre todo en cultivos de verano.

En 1997/98 se instalaron franjas con testigos apareados de soja de segunda (soja 11) sobre trigo, sembradas en SD y con el fertilizante localizado a la siembra, ubicado ya sea lateral a la línea o en los entresurcos. Las franjas tuvieron entre 700 y 1300 m de largo y entre 10 y 21 m de ancho. Los suelos pertenecían a serie Casilda, en fase ligera a moderadamente erosionada. En dos de los ensayos se utilizaron sojas RR. En todos los casos la semilla fue inoculada con inoculante líquido. Los promedios que se informan en la Tabla 2(a), (b) y (c) corresponden a los rendimientos obtenidos con cosechadora automotriz.

Tabla 2(a): Soja 11 1997/98. Respuesta promedio.

Tratamiento	Dosis p.c. (kg/ha)	NUTRIENTE (KG/HA)					Rto medio (kg/ha)
		N	P ₂ O ₅	K-K ₂ O	Mg-MgO	S-SO ₄	
Testigo	-	-	-	-	-	-	2531(*) 2459(**)
DAP + Kieserita	75 + 75	13.5	34.5	-	12.9	16.5	2743(*)
NPK + Kieserita	75 + 75	12.8	13	9	12.9	18	2926(**)

(*) y (**): corresponde al valor promedio de 2 y 3 sitios experimentales, respectivamente.

Tabla 2(b): Soja 11 1997/98. Respuesta promedio de 2 sitios.

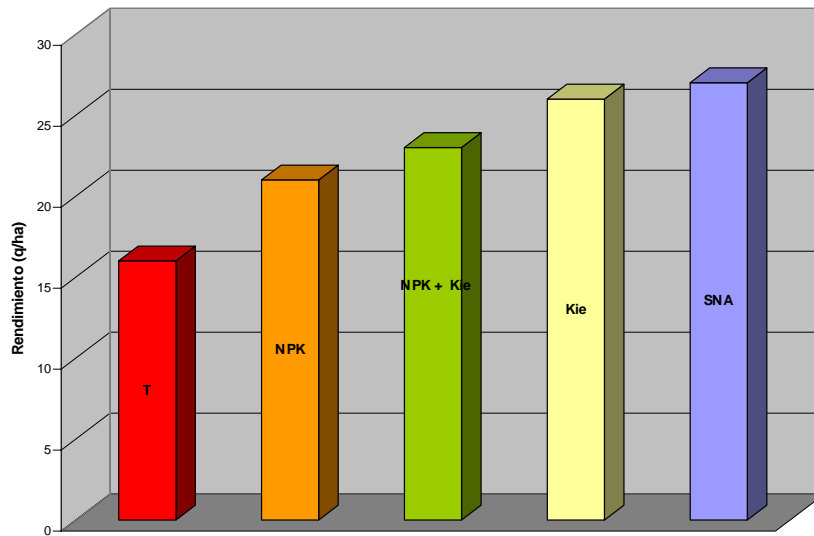
Tratamiento	Dosis p.c. (kg/ha)	NUTRIENTE (KG/HA)					Rto medio (kg/ha)
		N	P ₂ O ₅	K-K ₂ O	Mg-MgO	S-SO ₄	
Testigo	-	-	-	-	-	-	2480
DAP + SNA	75 + 75	33	34.5	-	-	10.5	2939

Tabla 2(c): Soja 11 1997/98. Respuesta promedio de 2 sitios.

Tratamiento	Dosis p.c. (kg/ha)	NUTRIENTE (KG/HA)					Rto medio (kg/ha)
		N	P ₂ O ₅	K-K ₂ O	Mg-MgO	S-SO ₄	
Testigo	-	-	-	-	-	-	1980
SNA	150	39	-	-	-	21	2638

Figura 1

Fertilización en Soja II en siembra directa
 Lote demostrativo 1 - Casilda

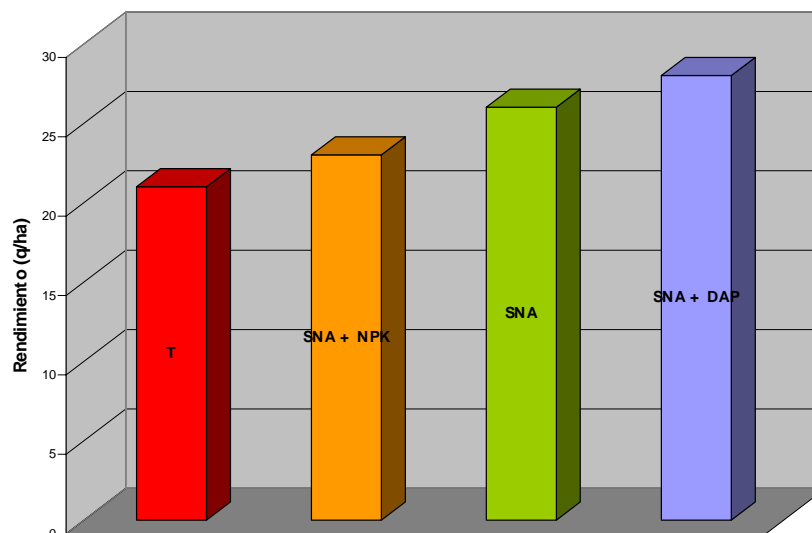


Suelo: Serie Casilda, mod. Erosionado. Cultivar: ASGROW 7409
 Siembra: 29/Dic. 0.35m entre líneas - 18 plantas/m.

Fuente: Martinez y Cordone. 1998. INTA

Figura 2

Fertilización en Soja II en siembra directa
 Lote demostrativo 2 - Casilda



Suelo: Serie Casilda, mod. Erosionado. Fecha de Siembra: 30/12/97 ASGROW 7409

Espaciamiento 0.35m entre líneas – 18 plantas/m.

Fuente: Martínez y Cordone, 1998. INTA

Los resultados que se informan en la figura 1 y 2 corresponden a Lotes Demostrativos que se

realizaron en soja II en SD sobre trigo, en líneas a 0.35 m, con incorporación del fertilizante entre las líneas y cosecha mecánica. El diseño utilizado fue de franjas de 700m de largo por 18m de ancho, con testigo apareado.

En el Lote Demostrativo 1 se hizo análisis de suelo, y en algunos tratamientos se realizó análisis de tejido vegetal y peso de nódulos. Los datos de suelo se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Análisis de suelo Lote Demostrativo 1

PROFUNDIDAD CM	MO %	PH	CIC MEQ/100G	P	K	MG	CA PPM	S-SO ₄	B	ZN
0-20	2.5	6.0	13.7	33	380	287	1596	24	0.1	3
20-40	1.9	6.2	17.9	17	536	442	2098	28	0.2	2
40-60	1.7	6.5	21.6	17	613	506	2219	26	0.2	6

Es particularmente importante observar los altos niveles de S informados en el análisis de suelo. Tal como se cita en el trabajo I. El Azufre en la Agricultura, publicado en esta revista, este dato tiene valor relativo para la predicción de la respuesta a la fertilización.

Para determinar el peso de nódulos se tomaron 5 muestras/tratamiento de planta y suelo hasta 0.20 m de profundidad, se cortó la parte aérea y se lavaron las raíces. Se extrajeron todos los nódulos de la raíz principal y de los 2 cm de las raíces secundarias lindantes con la raíz principal. Los nódulos se secaron y pesaron. El peso seco en el testigo fue de 0.189 g/planta versus 0.392 g/planta y 0.431 g/planta con el agregado de 150 kg/ha de sulfonitrato de amonio (21 kg/ha de S) y de 150 kg/ha de kieserita (33 kg/ha de S), respectivamente.

Se analizó el tejido vegetal de las hojas superiores del tallo principal, muestreadas en estado de desarrollo R5. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 4. La concentración de 0.11 a 0.14% de S en la materia seca es mencionada como baja, entre 0.21 y 0.23% es un nivel considerado medio y mayor de 0.30% es alto (FAO. 1992). Tomando estos valores, podríamos decir que el testigo fue deficiente en S, mientras que los tratamientos fertilizados alcanzaron concentraciones medias. Se observa (Tabla 4) que la relación N:S del testigo fue mayor que lo considerado adecuado, a pesar de que el contenido de N también fue interior al requerido para

una adecuada nutrición (3,4 - 5,5 %). Estos resultados confirman el stress de S, pero en el testigo también se verificó bajo contenido de N y escaso desarrollo de nódulos, como se mencionó anteriormente. El contenido de N para los tratamientos con Sulfato de Amonio (SNA) y Kieserita alcanzó valores normales, siendo interesante observar que con el agregado de Kieserita (sin N) el contenido de N superó al de SNA (30 kg N/ha), seguramente producto de una mejor nodulación.

Tabla 4 Concentración de N y S en hojas según los nutrientes aplicados.

NUTRIENTE	TRATAMIENTOS		
	TESTIGO	SNA	KIESERITA
% sobre materia seca			
N	3.2	4.9	5.1
S	0.16	0.28	0.30
N:S	20:1	17.5:1	17:1
Nutrientes aplicados			
N	0	39	0
S-SO ₄	0	21	33
Mg-Omg	0	0	25.8
Fertilizante aplicado			
Prod. Comercial	0	150	150

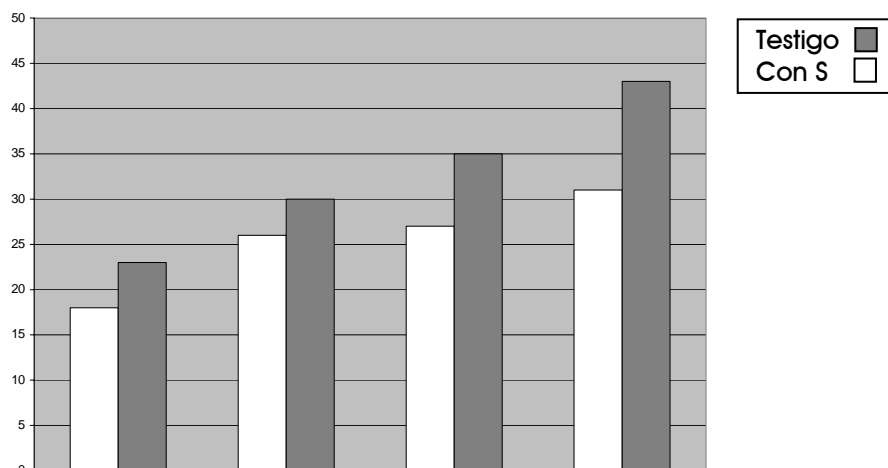
SNA: sulfonitrato de amonio.

Efecto residual de la fertilización del trigo sobre el rendimiento de soja de segunda

Se efectuaron evaluaciones en 4 lotes de soja 11 sobre trigo fertilizado con y sin agregado de azufre (Figura 3). Todas las sojas fueron sembradas en SD. El diseño utilizado fue de franjas con testigo apareado de un tamaño entre 1000 y 5000 m². Los valores de rendimiento se obtuvieron tomando 8 muestras/tratamiento de 1 m² cada una y para cada sitio, se trillaron a mano, secaron y pesaron.

Figura 3

Efecto residual del azufre aplicado al trigo Sobre el rendimiento de la Soja II



Serie Hansen 96/97 -28 kg/ha S Sj SD – Tr. Labr. Cv. Grupo VI Erosión mod	Serie M. Juárez 96/97 -39 kg/ha S Sj SD – Tr. SD Cv. Grupo V- Enf. Relieve	Serie Hansen 96/97 -28 kg/ha S SD continua Cv. Grupo VI Erosión mod	Serie Payrano 96/97 -28 kg/ha S Sj SD Cv. Grupo VI Relieve plano
--	--	--	--

Los tratamientos de fertilización del trigo se realizaron del siguiente modo. Fuente: Martínez y Cordone. 1998. INTA

* Hansen 96/97, tanto para SD continua como para Labranza combinada todos los fertilizantes fueron incorporados a la siembra: 1) tratamiento sin azufre (Testigo): 60 Kg. DAP/ha + 190 kg Urea/ha; y 2) Tratamiento con S: 60 kg. DAP/ha + 200 kg. SNA/ha (28 Kg/S/ha),

* Marcos Juárez 97/98, se aplicó en presiembra al voleo: 1) testigo: 150 kg Nitrato de Amonio/ha y 2) Con S: 150 kg Sulfato de Amonio/ha (39 kg S/ha), ambos tratamientos recibieron 70 kg/ha de Arrancador C incorporado a la siembra.

* Peyrano 97/98, se fertilizó con 65 kg DAP/ha a la siembra, y al macollaje se aplicó con avión: 1) Testigo: 150 kg Urea/ha y 2) Con S: 200 kg SNA/ha (28 kg S/ha).

En el sitio Marcos Juárez 97/98 se observó que la soja del tratamiento con S presentaba mayor vuelco y mayor grado de infección por Sclerotinia respecto al testigo, aunque igualmente lo superó en rendimiento . Es necesario mencionar que este sitio tuvo la mayor dosis de S (39 kg/ha) que excedió ampliamente el requerimiento del trigo y de la soja en conjunto. Esto debe ser considerado cuando se va a aplicar este nutriente en lotes con antecedentes de la enfermedad para ajustar la densidad de siembra, el grupo varietal y/o la arquitectura de planta de la variedad elegida.

En los 4 sitios experimentales se comparó la variabilidad dentro y entre los tratamientos. La variabilidad entre ambos tratamientos fue significativamente mayor que dentro de cada uno ($P \leq 0.05$, excepto para el sitio Marcos Juárez en el cual el nivel de significancia fue $P \leq 0.10$). También se observó una tendencia hacia una mayor magnitud de respuesta a mayor potencial de rendimiento del testigo.

A fin de comprender cual es la estrategia del aumento de rendimiento en soja por agregado de S, se analizaron los componentes de rendimiento. En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos para el sitio Hansen 96/97 Labranza combinada (Lc). Para cada componente se realizó una comparación de tratamientos a través de un análisis de la variancia a un criterio de clasificación.

Tabla 5: Componentes de rendimiento de Soja II.

Efecto residual de la fertilización con S en trigo,. Sitio Hansen 96/97 Lc. Secuencia: Trigo/Soja - Maíz.

TRATAMIENTO	PLANTAS/M2 (NS)	VAINAS/M2 (**)	VAINAS/PLANTAS (*)	PESO 1000 SEMILLAS (NS)	SEMILLAS/M2 (**)
Con S	27.27 (±6.5)	1003.49(±134.8)	38.11(±8.4)	133.21(±7.8)	1711.46(±238.1)
Sin S	27.49(±6.3)	810.86(±83.6)	30.57(±6.1)	134.33(±2.6)	1386.23(±152.7)
Incremento %	-	+23.8	+24.7	-	+23.45

Maíz y Soja 11 en SD, Trigo en Labranza mínima. Valores entre paréntesis corresponden a los desvíos standards de la media. (NS), (*) y (**): No significativo, significativo a $P \leq 0.10$ y 0.01 , respectivamente.

La residualidad de la fertilización con $S-SO_4^-$ podría contradecir la conocida movilidad de este anión en el suelo. Por un lado, el SO_4^- es menos móvil que el NO_3^- , ya que tiene mayor capacidad de ser retenido por el complejo coloidal del suelo y no ser lavado en profundidad. Además, en los suelos serie Hansen los horizontes B_1 y B_{21} se encuentran muy cerca de la superficie y son más ricos en arcilla que el horizonte A, esto ofrecería la posibilidad de retener más SO_4^- a una profundidad de enraizamiento. Cuando estas series se presentan al estado puro, sin erosión, el horizonte B_1 comienza a los 17 cm de profundidad y tiene 28.9% de arcilla, y el B_{21} se extiende hasta aproximadamente los 49 cm y tiene 31.3% de arcilla (Carta de Suelos de la República Argentina, 1979, Hoja 3360-19). Una situación semejante se presenta en la serie Marcos Juárez, en la cual el B_1 comienza aproximadamente a los 19 cm de profundidad y contiene 27.1 % de arcilla.

Asimismo, las dosis aplicadas excedieron largamente los requerimientos del trigo. Puede haber ocurrido una inmovilización de parte del S aplicado al trigo y su posterior mineralización en el período estival, estando disponible para la soja.

Este aspecto supone una interesante alternativa en el manejo de la fertilización azufrada en soja 11, ya que permitiría fertilizar al trigo con fertilizantes complejos N+S, aplicando un remanente de S que será utilizado por la soja, abaratando y simplificando la técnica. El productor de nuestra área está familiarizado con la fertilización del trigo, pero no ocurre lo mismo con la soja, por lo tanto esta técnica podría resultar de fácil adopción.

El concepto de "ambiente deficiente"

El azufre presenta una serie de dificultades para obtener una determinación confiable en los análisis de suelo. Estas dificultades han sido mencionadas por muchos autores. Generalmente, falta ajuste entre los resultados de estos análisis y la respuesta de los cultivos. Las determinaciones en tejido vegetal normalmente llegan tarde como para compensar las deficiencias iniciales. Estas limitaciones indicaron la conveniencia de buscar una vía alternativa que permitiera avanzar en la recomendación de fertilización azufrada, definiendo un "ambiente deficiente".

Definimos como "ambientes deficientes" a aquellos en los cuales se ha obtenido respuesta a la fertilización con S. Cuando se los identifique convenientemente es posible recomendar allí la fertilización azufrada de soja u otros cultivos. A continuación intentamos su caracterización.

Ambientes de bajo rendimiento de los cultivos. Algunos autores la denominan **deficiencia crónica**, otros deficiencia perenne, y estaría causada por diversos factores (comunes a los que causan la deficiencia de N), entre los cuales podemos mencionar:

- Bajo contenido de materia orgánica del suelo causado por muchos años de agricultura continua bajo sistema tradicional, sin reposición de nutrientes y bajo aporte de restos orgánicos (rastros) y con quema de rastros de trigo y lino.
- Erosión en diverso grado, con pérdida de parte del horizonte superficial más rico en materia orgánica.
- Presencia de compactaciones subsuperficiales por pisos de disco o arado, generalmente asociada al tipo de suelo y manejo que se realice. En series de suelos con un horizonte A poco desarrollado, seguido de un horizonte transicional B₁ con mayor contenido de arcilla, es muy frecuente la compactación por tránsito no controlado de maquinarias. Para estas series de suelos y en zonas erosionadas de la pampa ondulada, el B₁ estará aún más cerca de la superficie y la situación empeorará. Todo esto conduce a una menor profundización de raíces y menor abastecimiento de nutrientes, incluso asumiendo que el horizonte B ha sido mencionado como posible reservorio de SO₄⁼ absorbidos, siempre y cuando las raíces puedan acceder a esa profundidad.
- Siembra directa. Se ha encontrado mayor respuesta en siembra directa que en laboreo para un mismo ambiente. Al respecto, Thomas G. y W. Frye, 1984, mencionan que se han reportado deficiencias de S bajo siembra directa donde no se habían observado deficiencias bajo labranza convencional, y concluyen que si se realiza siembra directa en los suelos que bajo labranza ya eran deficientes en S, las chances de respuesta a la fertilización serán mucho mayores.

Ambientes de rendimiento medio-alto de los cultivos. Algunos autores la denominan **deficiencia inducida** (Kanwar and Mudahar, 1986). El tiempo transcurrido antes de que se manifieste la deficiencia de S varía dependiendo de las reservas del suelo, de la tasa de mineralización, del S aportado por fuentes externas, del cultivo, del sistema de laboreo y de la intensidad de cultivo (uno o dos cultivos al año). Estaría causada por:

- El ajuste de las prácticas de manejo del cultivo permite que se exprese la deficiencia de S como factor limitante (Ley del Mínimo). Estas prácticas de manejo

incluyen el uso de cultivares de alto potencial de rendimiento con mayores requerimientos de nutrientes. Estos cultivares responden a altas dosis de fertilización con N e incrementan la demanda de S, y el suelo puede no ser capaz de suministrar esa cantidad.

- Sistema de agricultura continua, con disminución del contenido de materia orgánica. Algunos autores sostienen que cuando después de un cierto tiempo de agricultura continua la relación C:N se estabiliza, las reservas de S pueden continuar disminuyendo en relación al C y al N (McLaren and Swift, 1977). Por lo tanto, la deficiencia de S podría no ser evidente hasta mucho después que la deficiencia de N.

- Cultivos con la mayoría de sus raíces en la capa superficial del suelo debido a compactación por tránsito o por la presencia de pisos de arado o disco. Al producirse lixiviación de SO_4^- hacia el subsuelo con mayor contenido de arcillas puede quedar retenido, pero podría no ser absorbido por poco desarrollo radical en profundidad. Los cultivos perennes, con desarrollo de raíces en profundidad, pueden no mostrar deficiencias donde los cultivos anuales sí la manifiestan.

- Aporte de residuos vegetales. El efecto del rastrojo respecto de la deficiencia de S depende de su manejo y de la cantidad de S que contenga. En algunas circunstancias, el rastrojo puede disminuir la cantidad de S disponible para el cultivo siguiente por inmovilización. Steward et al. (1966), encontraron inmovilización neta de S cuando el rastrojo de trigo tenía menos de 0.15 % de S y la relación C:S era mayor que 200:1 (Barrow, 1961, ambos trabajos mencionados en Kanwar and Mudahar, 1986).

- Siembra directa.

- Fertilización desbalanceada. En ambientes de productividad media-alta la deficiencia de N condujo a la fertilización nitrogenada. Posteriormente se fertilizó con P. La reposición de N y P durante años condujo a un desbalance en la relación N:P:S, motivo por el cual se manifestaría actualmente la respuesta a la fertilización con S.

Bibliografía citada

- Barrow, N.J. 1961. Studies of the Mineralization of Sulphur from Soil Organic Matter. Australian Journal of Agricultural Research, 12:306-319.
- FAO. 1992. The importance of Sulphur for Crop Production.
- Kanwar J.S. and M.S. Mudahar. 1986. Fertilizer Sulphur and Food Production. Kluwer Academic Publishers Group. Dordrecht, The Netherlands.
- McLaren R.G. and R.S. Swift. 1977. Changes in Soil Organic Sulphur Fractions during the Long-term cultivation of soils. J. Soil Sci. 28:445-453.
- Thomas G. and W. Frye. 1984. Fertilization and Liming. *In* No Tillage Agriculture,

Principles and Practices. R.E. Phillips and S.H. Phillips (ed). p.87-126.

- Steward B.A, L.K. Portar and F.G. Vicks, Jr. 1966. Effect of Sulphur Contents of Straws on Rates of Decomposition and Plant Growth. Soil Science Society of America Proceedings, 30:355-358.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló mediante una Carta-Acuerdo firmada entre BASF SA y la EEA INTA Oliveros (aprobada por el Consejo Regional INTA CERSAN), para financiar parcialmente los experimentos a campo y actividades de laboratorio.

Los autores desean expresar muy especialmente su agradecimiento a los Ing. Agrs. Marcelo Hoyos (BASF Argentina) y Elmar Schóemng (BASF Alemania) por su permanente colaboración; al Ing. Agr. Hugo Ghio por su apoyo técnico y participación; y a los productores Sres. Carlos Tillati, Norberto Biglia, Nicolás, Javier y Alejandro Gargicevich, Oscar Pieroni, Miguel Antinori, Zanchetta Hnos, Julio Riquelme y Agr. Javier Colaprete por su desinteresada cooperación.