

Fertilización azufrada del cultivo de soja en el centro-sur de Santa Fe

Alejandro Gentiletti¹ y Flavio H. Gutiérrez Boem²

¹ Agricultores Federados Argentinos, Totoras, Santa Fe

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía UBA
agentiletti@radar.com.ar

Introducción

La zona de actividad del AFA Totoras (Totoras y localidades aledañas del centro sur de Santa Fe, Fig. 1) ha sufrido una gran transformación durante los últimos veinte años. Hasta fines de los setenta, el principal sostén económico de la zona era la actividad ganadera, en especial tambora. A partir de los ochenta esta actividad ha sido desplazada por la producción de cultivos de granos, en especial de soja.

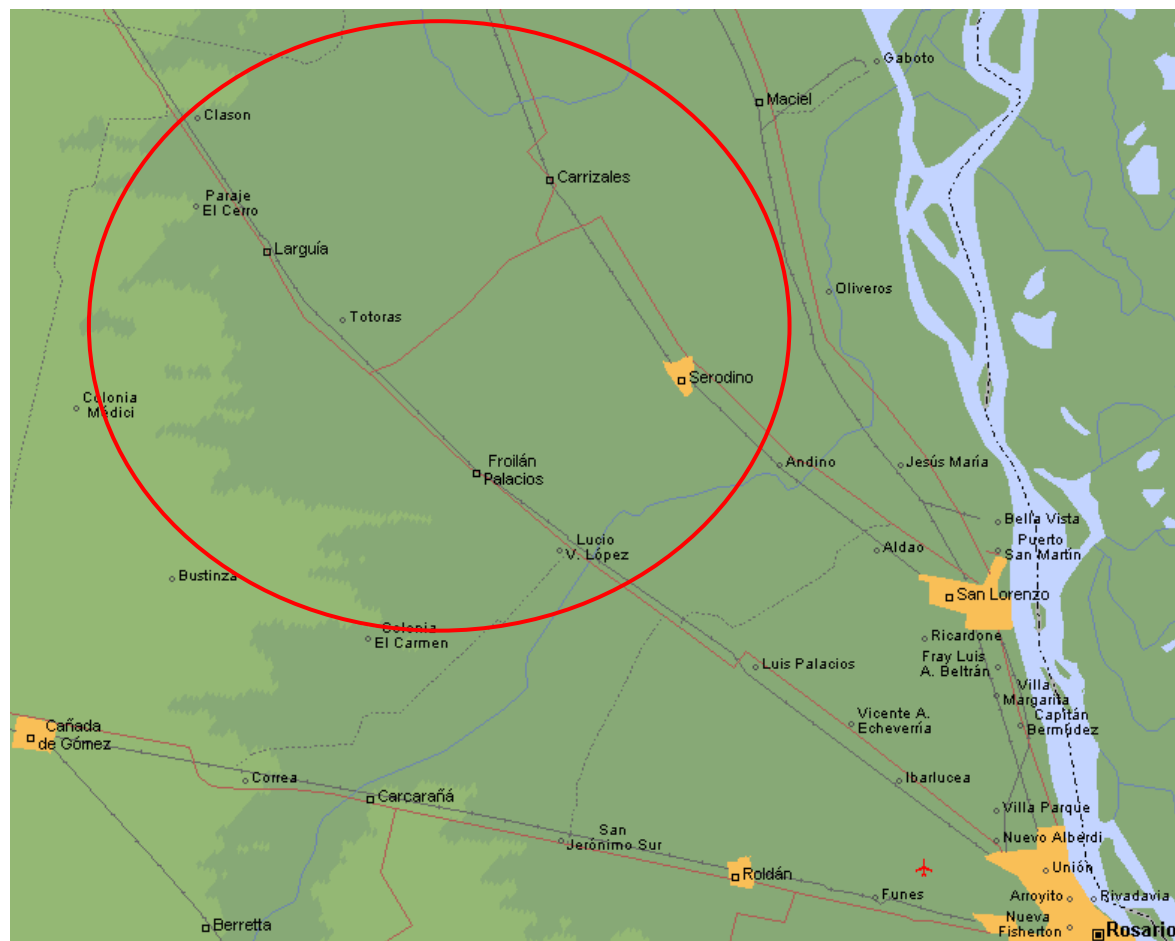


Figura 1: El círculo indica la zona donde se realizaron los ensayos.

El acelerado proceso de agriculturización ha llevado a un aumento en la exportación de nutrientes y a una disminución de la fertilidad de los suelos de la zona. Cuando se comparan los resultados de análisis de suelos del último año (2003/04) con los obtenidos en la década del ochenta o que figuran en la carta de suelo se observa una disminución del nivel de materia orgánica (MO) y fósforo (P) disponible. El rango de valores más frecuentes para MO y P (Bray 1) eran de 3.5-

3.8% y 18-25 ppm, mientras que en la actualidad es de 2.4-2.8% y 13-15 ppm, respectivamente.

Hace unos diez años que se han detectado deficiencias de azufre (S) en el sur de Santa Fe (Martínez y Cordone, 1998). Estas deficiencias fueron observadas también en otros ensayos realizados tanto al sur como al norte de la zona de actividad del AFA Totoras (García et al., 2001; Echeverría et al., 2002). A pesar de la experimentación realizada, aún no se cuenta con un método de diagnóstico que permita predecir una deficiencia de S en el cultivo de soja.

En los últimos años ha habido una creciente demanda de los productores de la zona respecto del uso de fertilizantes azufrados en el cultivo de soja. A partir del 2000, varios productores han realizado franjas exploratorias con fertilizantes azufrados en lotes de soja, con aparentes resultados positivos. La limitación de estas franjas exploratorias es que no hay manera de saber si la diferencia de rendimiento observada entre dos franjas se debe a la fertilización o no. Como habitualmente se hacen sin repetir, no se pueden separar las fuentes de error. Esta variabilidad natural existe (se puede observar en cualquier mapa de rendimiento) y la única manera de calcular su magnitud y separarla de los efectos del tratamiento es repitiendo varias veces las franjas (tanto las fertilizadas como las testigo).

Los objetivos de este trabajo fueron: i- verificar la existencia de deficiencias de S en el cultivo de soja en el área de influencia del AFA Totoras, ii- cuantificar el rango de respuesta esperable en la zona a la fertilización azufrada, e iii- identificar variables de suelo o manejo que estén asociadas a la respuesta del cultivo al agregado de S.

Materiales y métodos

Se realizaron 20 ensayos de fertilización azufrada de soja durante la campaña 2003/04 en las localidades de Totoras, Salto Grande, Lucio V. Lopez, Carrizales y Clason (Tabla 1).

Tabla 1: Localización de los ensayos, cultivo antecesor, años de agricultura continua, y número de repeticiones realizadas en cada sitio.

Sitio	Nº rep.	Localidad	Productor	Cultivo antecesor	Años de agricultura	Cultivo evaluado
1	2	L.V. Lopez	Carletti	Soja de 1º	30	Soja de 1º
2	2	L.V. Lopez	Carletti	Soja de 1º	28	Soja de 1º
3	2	S. Grande	Gentiletti	Soja de 1º	20	Soja de 1º
4	2	S. Grande	Goñi	Soja de 1º	30	Soja de 1º
5	2	S. Grande	Cameco	Trigo/S2º	30	Soja de 1º
6	2	S. Grande	Rasetto	Trigo	18	Soja de 2º
7	3	Carrizales	Scacco	Soja de 1º	40	Soja de 1º
8	3	Carrizales	Scacco	Trigo	40	Soja de 2º
9	2	Carrizales	Perazzo	Soja de 1º	10	Soja de 1º
10	2	Carrizales	Perazzo	Soja de 1º	50	Soja de 1º
11	3	Totoras	Perazzo	Trigo/S2º	30	Soja de 1º
12	2	Totoras	Pascual	Soja de 1º	8	Soja de 1º
13	2	Totoras	Pascual	Maiz	8	Soja de 1º
14	3	Totoras	Vaccarini	Soja de 1º	25	Soja de 1º
15	3	Totoras	Palazzolo	Trigo/S2º	25	Soja de 1º
16	2	Totoras	Adorante	Trigo/S2º	25	Soja de 1º
17	2	Totoras	Monge	Soja de 1º	40	Soja de 1º
18	3	Totoras	Pafundi	Soja de 1º	30	Soja de 1º
19	-	Clason	Palazzolo	Soja de 1º	20	Soja de 1º
20	3	Clason	Borghi	Soja de 1º	28	Soja de 1º

Los tratamientos fueron dos: testigo no fertilizado, y fertilizado con azufre. Estos tratamientos se dispusieron en 2 o 3 bloques completos, dependiendo del sitio (Tabla 1). La fertilización se realizó antes (9 sitios), durante (3 sitios) o después de la siembra (8 sitios). La dosis de S agregada fue de 14 a 24 kg S ha⁻¹, y la fuente utilizada fue sulfato de calcio (Sulf Ca, CaSO₄.2H₂O), sulfato de amonio (SA, (NH₄)₂SO₄) o tiosulfato de amonio (TSA, (NH₄)₂S₂O₃) (Tabla 2).

Tabla 2: Cultivar utilizado y fecha de siembra, dosis, fuente y momento de fertilización.

Sitio	Cultivar	Fecha de siembra	Fecha de fertilización	Fuente¹	Dosis (kgS/ha)
1	Don Mario 50058	16/10/03	10/09/03	Sulf Ca	14
2	Nidera 5901	4/11/03	10/09/03	Sulf Ca	14
3	Nidera 6019	3/11/03	10/10/03	Sulf Ca	14
4	Nidera 6019	3/11/03	10/10/03	SA	19
5	Don Mario 4800	27/10/03	2/12/03	Sulf Ca	14
6	Nidera 5901	26/11/03	23/11/03	TSA	17
7	Pioneer 9492	21/11/03	28/11/03	TSA	17
8	Don Mario 50058	22/11/03	31/10/03	TSA	17
9	Nidera 4910	31/10/03	5/11/03	Sulf Ca	14
10	Don Mario 4800	5/11/03	28/11/03	Sulf Ca	14
11	Don Mario 4800	7/11/03	2/12/03	TSA	17
12	Pioneer 9492	11/11/03	2/12/03	TSA	17
13	Pioneer 9492	11/11/03	2/12/03	TSA	17
14	Don Mario 4800	14/11/03	28/11/03	TSA	17
15	Don Mario 50058	19/11/03	29/08/03	Sulf Ca	24
16	Don Mario 4800	31/10/03	7/10/03	Sulf Ca	14
17	Don Mario 50058	5/11/03	15/10/03	Sulf Ca	14
18	Don Mario 4800	10/11/03	28/11/03	TSA	17
19	Don Mario 4800	22/11/03	1/09/03	Sulf Ca	24
20	Pioneer 9492	3/11/03	28/11/03	TSA	17

La tabla 3 muestra algunas características del suelo de cada sitio experimental a la siembra del cultivo. Se extrajo sulfatos de muestras de suelo de dos profundidades, 0-20 y 20-40 cm, utilizando dos extractantes distintos, fosfato de potasio (KH_2PO_4) y acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$). La determinación de sulfatos en los extractos se hizo por turbidimetría (Bardsley y Lancaster, 1965; Lisle et al., 1994). En las muestras de 0-20 cm también se determinó el contenido de MO (Walkley-Black), el P extractable (Bray1) y el pH en agua (1:2.5).

Tabla 3: Algunas características de los suelos de los sitios experimentales

Sitio	Tipo de suelo	MO (%)	P (ppm)	p H	Extracción de S-SO ₄ (ppm)			
					KH ₂ PO ₄		AcNH ₄	
					0-20	20-40	0-20	20-40
1	Argialbol típico	2.2	12.5	5.9	1.5	9.1	14.1	12
2	Argiudol acuico	2	12.4	5.94	7.1	14.8	11	9.9
3	Argiudol acuico	2.2	5.1	6	8.6	0.6	15.5	21.3
4	Argiudol típico	2.3	9.6	5.98	7.4	2.4	14.6	7.6
5	Argiudol típico	2.6	16.1	6.01	0.9	8.1	16.7	22.1
6	Argiudol acuico	2.8	9.1	6	11	16.7	9.9	11.1
7	Argialbol típico	2.5	12	5.96	9.8	15.3	12.1	11.3
8	Argialbol típico	2.6	14.1	6.35	6.3	3.8	7.6	6.2
9	Argialbol típico	2.5	13.5	5.9	5.1	9	9.2	7.5
10	Argiudol típico	2.6	12.3	6.2	6.8	2.9	5.2	6
11	Argiudol típico	2.4	18.9	6.15	6.4	2.7	7.4	7.8
12	Argiudol típico	2.9	17.4	5.55	5.8	4.7	23	5.2
13	Argiudol típico	2.3	11.8	5.84	8.3	18.5	14.2	12.6
14	Argiudol típico	2.6	35.5	5.78	3.3	3.5	9.5	5.4
15	Argiudol típico	2.5	38.8	5.99	1	1	2.9	2.7
16	Argiudol típico	2.4	11.6	6.12	4.2	11.8	14.2	27
17	Argiudol típico	2.2	15.4	6.06	4.9	3.8	9.5	4.3
18	Argiudol típico	2.6	14.8	6	6.2	5.9	12.1	5.9
19	Argiudol típico	2.4	34.7	5.96	5.3	5.6	9.5	3.3
20	Argiudol típico	2.2	17.7	6.16	5.7	2.4	10	6.6

Se midieron las precipitaciones durante el barbecho y ciclo del cultivo en cada localidad. El rendimiento en grano se determinó cosechando mecánicamente cada parcela por separado. La superficie cosechada en cada parcela fue de 1000 a 7500 m² según el sitio. Los resultados se expresan en base seca. Se calculó la respuesta a la fertilización como la diferencia de rendimiento entre el tratamiento fertilizado y el testigo.

Resultados y discusión

Se observó un aumento en los rendimientos por la fertilización azufrada en 13 de los 19 sitios (Figura 2). En esos sitios los cultivos no fertilizados rindieron del 7 al 30 % menos que los fertilizados. Las respuestas más frecuentes estuvieron en el rango de 230 a 520 kg ha⁻¹ (10 sitios), aunque también hubo respuestas mayores a 1200 kg ha⁻¹ (2 sitios). Salvo estos dos sitios, las magnitudes de las respuestas a la fertilización azufrada fueron similares a las que han sido observadas en otras zonas de la región pampeana (Echeverría et al., 2002; Cordone et al., 2001).

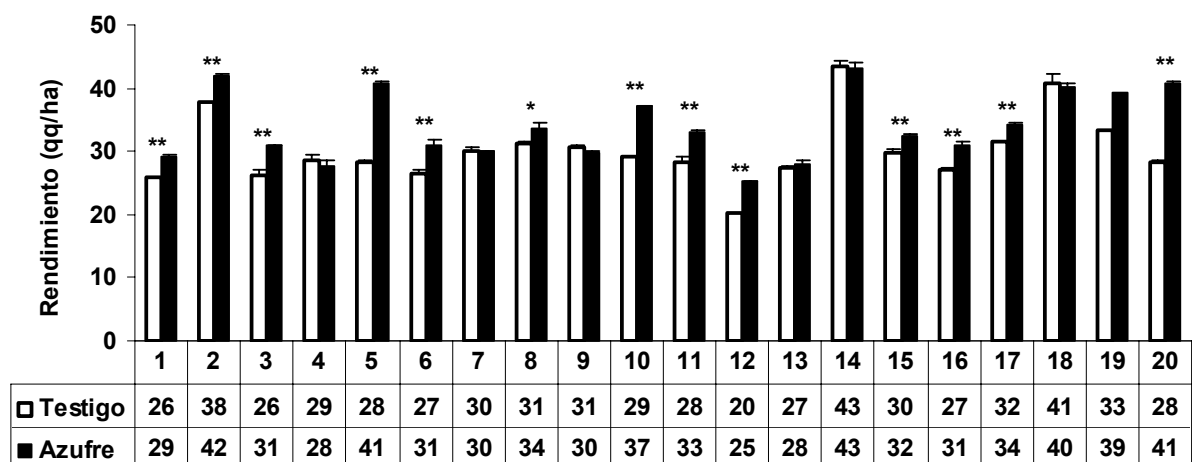


Figura 2: Rendimiento de soja con y sin agregado de azufre en cada sitio experimental. Los asteriscos indican diferencias significativas entre tratamientos en ese sitio (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$). Las barras verticales indican el error estándar de la media. El sitio 19 no tuvo repeticiones.

Previo a intentar relacionar la respuesta a la fertilización con las variables de suelo o manejo medidas, se analizó si el hecho de haber utilizado distintas fuentes o momentos de aplicación tuvo alguna relación con la respuesta a la fertilización. En la figura 3 se puede observar que no hubo ninguna relación entre la respuesta a la fertilización y la fuente utilizada o el momento de aplicación del fertilizante. Se observó todo el rango de respuestas tanto con sulfato de calcio como con tiosulfato de amonio, no habiendo ningún efecto del momento de fertilización sobre la magnitud de la respuesta.

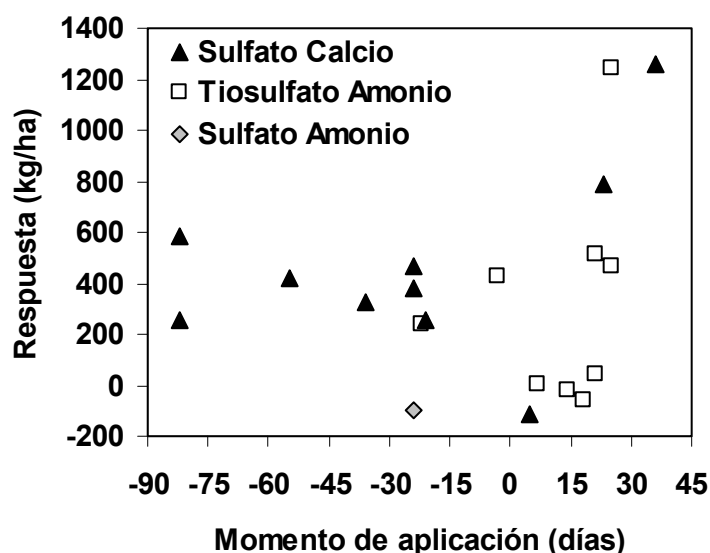


Figura 3: Respuesta del cultivo de soja a la fertilización azufrada en función del momento de aplicación y la fuente utilizada. El día 0 es el momento de la siembra.

La respuesta a la fertilización no estuvo relacionada con el nivel de sulfatos en el suelo a la siembra, independientemente de la profundidad o extractante considerado (figura 4).

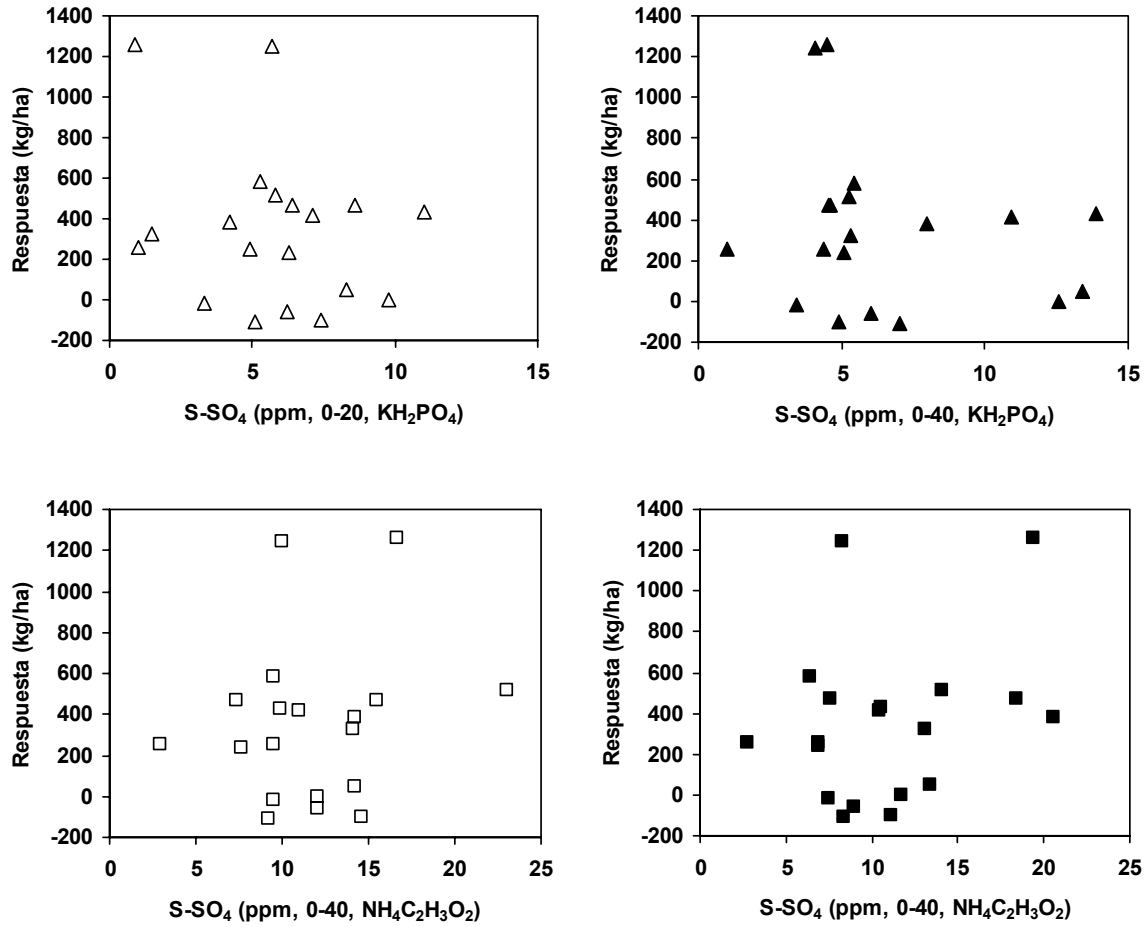


Figura 4: Respuesta a la fertilización azufrada en función del nivel de sulfatos en el suelo a la siembra del cultivo medidos hasta dos profundidades (20 y 40 cm) y con dos extractantes (fosfato de potasio y acetato de amonio).

Tampoco se observó una relación entre la respuesta a la fertilización y el nivel de MO del suelo o los años de agricultura del lote (figura 5).

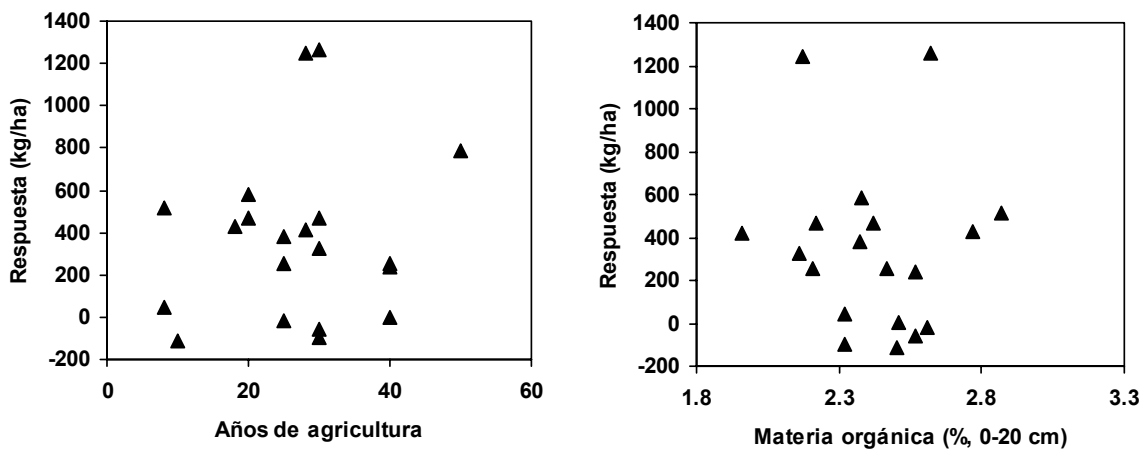


Figura 5: Respuesta a la fertilización azufrada en función de los años de agricultura o el nivel de materia orgánica de los suelos.

Hacer una red de ensayos en una zona geográfica relativamente pequeña y durante un solo año limita las variaciones entre sitios de factores ambientales que afectan el rendimiento del cultivo y su respuesta a la fertilización. Esto hace que, teóricamente, sea más probable observar una relación entre respuesta y alguna variable de suelo. Sin embargo, no fue este el caso. Esta falta de asociación entre variables de suelo y respuesta a la fertilización azufrada en soja también ha sido observada en otras redes de ensayos en la región pampeana (Echeverría et al., 2002). Las causas de esta falta de relación podrían ser varias: presencia de sulfatos por debajo de la profundidad de muestreo o en el agua de napas cercanas, errores en la determinación del contenido de sulfatos en el suelo, estimación poco precisa de la mineralización de sulfatos durante el ciclo basado en el contenido de MO del suelo. Una dificultad adicional es que las diferencias en disponibilidad de S que hacen que un sitio sea deficiente o suficiente son de unos pocos kilos. Las cantidades involucradas en el diagnóstico de la fertilidad azufrada (tanto requerimientos como disponibilidad) son muy pequeñas cuando se las compara con otros nutrientes y cultivos donde el diagnóstico mediante el análisis de suelo ha dado resultados aceptables (por ej.: nitrógeno en trigo o maíz).

Conclusiones

Se verificó la existencia de deficiencias de S en el cultivo de soja en el área de actividad del AFA Totoras. Se cuantificó el rango de respuesta esperable a la fertilización azufrada en sitios deficientes, siendo este similar o superior al observado en otras zonas de la región pampeana. No se pudo identificar ninguna variable de suelo o manejo que estuviera asociada a la respuesta del cultivo al agregado de S, de forma tal de poder predecir la respuesta en otros sitios de la zona.

Este trabajo muestra, por un lado, una clara evidencia de la presencia de sitios deficientes en S en la zona y, por otro, la incapacidad de identificarlos midiendo el nivel de sulfatos o MO del suelo. Por ahora, los sitios deficientes sólo se pueden identificar midiendo la respuesta del cultivo al agregado de S. Si bien esta forma de identificar lotes deficientes (además de laboriosa) no es predictiva para el año en que se hace el ensayo, lo es para los cultivos sucesivos. Es muy probable que los lotes que sean deficientes en este nutriente durante un año lo sigan siendo en años sucesivos. Esto se debe a que la principal fuente de S para un cultivo sin fertilizar en la región pampeana es la mineralización de la MO antes o durante el ciclo del cultivo, y que la cantidad de MO que se mineraliza no varía en grandes magnitudes de un año para el otro, en especial en lotes que tienen un manejo agrícola continuo y prolongado. Por lo tanto, una vez identificado un lote deficiente en S se podría incorporar la fertilización azufrada en su manejo para los años sucesivos.

Referencias

- Bardsley, C.E. y J.D. Lancaster. 1965. Sulfur. En C.A. Black (ed.) *Methods of soil analysis, part 2, Chemical and microbiological properties*, ASA, Madison, pp. 1102-1116.
- Cordone, G.E., F. Martínez y R.F. Abrate. 2001. Fertilización azufrada de cultivos extensivos en el centro-sur de la provincia de Santa Fe (Argentina). XV

Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Varadero, Cuba, 11-16 de noviembre.

Echeverría, E, G. Ferraris, G. Gerster, F.H. Gutierrez Boem y F. Salvagiotti. 2002. Fertilización en soja y trigo - soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana resultados de la red de ensayos del proyecto fertilizar – INTA Campaña 2000/2001 y 2001/2002. EEA INTA Pergamino, 44 p.

García, F.O., H. Fontanetto y H. Vivas. 2001. La fertilización del doble cultivo trigo-soja. Informaciones Agronómicas, INPOFOS Cono Sur, Acassuso., 10: 14-17.

Lisle, L., R. Lefroy, G. Anderson y G. Blair. 1994. Methods for the measurement of sulphur in plants and soil Sulphur in Agriculture 18: 45-54.

Martínez, F. y G. Cordone. 1998. Resultados de ensayos de fertilización azufrada en soja. Soja, Para mejorar la producción 8, INTA EEA Oliveros, pp. 53-57.