

RESPUESTA DEL TRIGO A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y NITROAZUFRADA EN SUELOS ARENOSOS

MIRIAN BARRACO¹; MARTÍN DÍAZ-ZORITA^{2,3}; CRISTIAN BRAMBILLA³; CRISTIAN ÁLVAREZ¹
& CARLOS SCIANCA¹

¹ EEA INTA General Villegas, CC 153, 6230, Drabble, Pcia de Bs. As. ² FAUBA-CONICET, Merck CropBioscience Argentina.

³ DZD AGRO. Correo electrónico: mbarraco@correo.inta.gov.ar

Recibido: 09-03-09

Aceptado: 13-06-09

RESUMEN

Abundantes estudios desarrollados en suelos con texturas gruesas muestran incrementos significativos en la producción de trigo al incrementarse la oferta de nitrógeno (N) del suelo y en algunos casos respuestas positivas al agregado de azufre (S). No obstante, la relación entre respuestas a ambos nutrientes y las condiciones de respuesta a la fertilización azufrada no son consistentes. El objetivo de este trabajo fue cuantificar la respuesta de cultivos de trigo a la fertilización con N y con NS y su relación con algunas propiedades edáficas en suelos arenosos. El estudio se desarrolló en 34 sitios de producción de trigo bajo prácticas de labranza cero en la región de la pampa arenosa (Argentina). Se evaluaron 3 tratamientos de nutrición: i) control (sin fertilizar), ii) 140 kg de N ha⁻¹ [N suelo (0-40 cm) + N fertilizante], iii) 140 kg de N ha⁻¹ [N suelo (0-40 cm) + N fertilizante] + 12 kg de S ha⁻¹. En todos los sitios se observó respuesta significativa al agregado de N con un incremento promedio de 949 kg ha⁻¹ con respecto al tratamiento control. Para S, si bien la respuesta media fue de 232 kg ha⁻¹, sólo en el 38% de los casos (13 sitios) se observaron aumentos de rendimiento por la adición de dicho nutriente, relacionándose positivamente con la respuesta a la fertilización con N. Esta respuesta fue independiente de los contenidos de materia orgánica (MO) ($p = 0,61$), de S-SO₄²⁻ ($p = 0,29$), de N-NO₃⁻ ($p = 0,47$) disponibles al momento de la siembra o de arena de los suelos ($p = 0,90$). No obstante, la respuesta disminuyó en la medida que se incrementaron los rendimientos máximos. Se concluye que en sitios deficitarios en N, la respuesta al agregado de S es de mayor magnitud y frecuencia en condiciones de productividad limitada.

Palabras clave. Nutrición mineral, Hapludoles, Haplustoles, textura arenosa, siembra directa.

WHEAT RESPONSE TO NITROGEN AND NITROGEN WITH SULFUR FERTILIZATION IN SANDY SOILS

ABSTRACT

Numerous studies conducted on coarse-textured soils show, significant and positive wheat yield responses when soil nitrogen (N) availability is increased, and occasional positive yield responses to sulfur (S) additions. However, the available information is not consistent for the diagnosis and analysis of the marginal contribution of S on wheat grain responses in combination with N fertilization. Thus, the objective of this study was to quantify the yield response of dryland wheat crops to N and NS fertilization and to determine the relationship between yield response and several soil properties in sandy soils. The study consisted in 34 field experiments within the semiarid and subhumid sandy pampas region (Argentina) managed under no-tillage practices. Three treatments were evaluated: i) control (without fertilization), ii) 140 kg of N ha⁻¹ [N-NO₃ soil (0-40 cm) + N fertilizer], iii) 140 kg of N ha⁻¹ [N-NO₃ soil (0-40 cm) + N fertilizer] + 12 kg of S ha⁻¹. A positive response to N fertilization was observed in every experimental site. Mean grain yield response to the application of N was 949 kg ha⁻¹. Although the mean grain yield response to S fertilization was 232 kg ha⁻¹, only 38% of the sites (13 sites) showed a significant response to this treatment. Crop response to S fertilization was not related to soil organic matter ($p = 0.61$), sand content ($p = 0.90$), soil extractable S-SO₄²⁻ ($p = 0.29$), nor soil N-NO₃⁻ ($p = 0.47$) levels. Furthermore, it decreased with increasing maximum grain yields and it was positively related to crop responses to N fertilization. We conclude that in coarse textured soils with significant N limitations, wheat responses to S fertilization are greater and more common in low productivity sites.

Key words. Mineral nutrition, Hapludolls, Haplustolls, sandy soils, no-till.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de nitrógeno (N) en la región de la Pampa Arenosa (RPA) es uno de los factores que con mayor frecuencia, y en condiciones de adecuada disponibilidad hídrica, restringe el logro de altos rendimientos

de trigo (*Triticum aestivum* L.). Esto es consecuencia entre otros factores, de las bajas temperaturas del suelo en etapas tempranas de crecimiento de los cultivos, de su manejo (antecedentes, duración del barbecho, sistema de siembra) y del bajo contenido de materia orgánica (MO) de sus

suelos, condicionado por la presencia de texturas arenosas a franca arenosas. Las correcciones con N se sustentan en la determinación del contenido de $N-NO_3^-$ en el suelo en el momento de la siembra como método de diagnóstico y los umbrales de respuesta son similares a otras zonas de la Región Pampeana y varían entre 120 a 170 kg N ha⁻¹ (N suelo + N fertilizante) para rendimientos promedios de 3.500 y superiores a los 5.000 kg ha⁻¹ de trigo, respectivamente (González Montaner *et al.*, 1991, 2003; Calviño *et al.*, 2002).

A su vez diversos estudios en la RPA muestran posibles limitaciones en la provisión de azufre (S) para el logro de cultivos de alta producción. Letelier & Zamolinski (1974) y Romero *et al.* (1974) a partir del análisis de los contenidos de nutrientes en suelos y en plantas confirmaron la ocurrencia de condiciones subóptimas de nutrición con S para la producción forrajera y de cultivos de cosecha. Recientemente, a partir de la evaluación de 184 lotes de producción en los partidos de Rivadavia y General Villegas (Buenos Aires) se observó que el 17% presentaría potenciales limitaciones para la normal producción de cultivos de cosecha con contenidos de $S-SO_4^{2-}$ menores a 10 mg kg⁻¹ (Johnson & Fixen, 1990). Además, en el 78% de los casos las deficiencias de S podrían afectar la producción de pasturas base alfalfa conteniendo menos de 16 mg kg⁻¹ de $S-SO_4^{2-}$ en suelo (Culot, 1986; Díaz-Zorita & Barraco, inédito). Estudios desarrollados en la región de la Pampa Ondulada (Argentina) muestran que las deficiencias de S se observan frecuentemente en suelos arenosos y con bajos contenidos de MO, y en suelos con prolongado uso agrícola, con disminuciones importantes de MO y con abastecimiento adecuado de otros nutrientes (N, P) (Martínez *et al.*, 2001; Salvaggiotti *et al.*, 2004). Considerando que la mayor parte del S total del suelo se encuentra en forma orgánica (Stevenson & Cole, 1999), su suministro es altamente dependiente de los procesos de mineralización e inmovilización en el suelo. Según estudios en condiciones controladas de laboratorio, con suelos bajo manejo agrícola, el N es el nutriente que en primera instancia aparece como deficiente en relación al S (Echeverría *et al.*, 1996). En cuanto a las dosis de respuesta y en función de los requerimientos de los cultivos éstas varían entre 10 y 20 kg ha⁻¹ de S (Cordone & Martínez, 2001; Tysko & Rodríguez, 2006) sin disponerse en la Argentina de elementos de diagnóstico para la decisión de dosis de fertilización.

Algunas experiencias en la RPA mostraron respuestas positivas al agregado de S en pasturas con base alfalfa (*Medicago sativa* L.) (Bono *et al.*, 1997; Díaz-Zorita & Fernández Canigia, 1998) y en cereales forrajeros de invierno (Mendez *et al.*, 1998). En lo que respecta a cultivos de trigo estudios recientes muestran aumentos en la producción de grano al agregar S en combinación con N (Díaz-

Zorita *et al.*, 2006). No obstante estos resultados, las herramientas de diagnóstico y recomendación de la fertilización azufrada para sitios con suelos de texturas arenosas no son consistentes y además se desconoce la frecuencia y magnitud de las respuestas al agregado de dicho nutriente.

De acuerdo a estos antecedentes y a las condiciones predisponentes de producción de trigo en la RPA (suelos franco arenosos a arenosos, con niveles medios de MO e historia agrícola más reciente con respecto a otras zonas agrícolas de la Región Pampeana, SAGYP-INTA 1989; Díaz-Zorita *et al.*, 2002a) se estima que la magnitud de las respuestas de cultivos fertilizados con N al agregado de S sean menores y menos frecuentes que las observadas al fertilizar con N. Dada la estrecha asociación entre la capacidad de los suelos de reservar N y S, en condiciones de potencial deficiencia de estos nutrientes, se supone que las respuestas a S serían directamente proporcionales a las respuestas a la fertilización con N. Además, considerando que al incrementarse los rendimientos de los cultivos también se incrementa su demanda de nutrientes, las respuestas a S serían directamente proporcionales a los rendimientos alcanzables. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue cuantificar la respuesta en producción de grano y sus componentes a las aplicaciones de N y de NS, además de su relación con propiedades edáficas en sitios con suelos con predominio de arenas en su composición textural.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante las campañas 2005, 2006 y 2007 en 34 sitios de producción de trigo ubicados en el oeste de la provincia de Buenos Aires, aledaños a las localidades de América, Arenaza, General Pinto, General Villegas, Lincoln y Roberts, y en el este de La Pampa aledaños a las localidades de Colonia Barón y Catrilo. Los suelos predominantes fueron clasificados como Hapludoles Típicos (12 sitios), Hapludoles Énticos (14 sitios) y Haplustoles Énticos (8 sitios).

En cada sitio, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones con parcelas de aproximadamente 40 m². Se evaluaron 3 tratamientos: i) control (sin fertilizar), ii) 140 kg de N ha⁻¹ [N suelo (0-40 cm) + N fertilizante], iii) 140 kg de N ha⁻¹ [N suelo (0-40 cm) + N fertilizante] + 12 kg de S ha⁻¹. Como fuentes de N se utilizaron urea (46-0-0) o UAN (30-0-0) y de NS la mezcla de urea o de UAN con sulfato de amonio (21-0-0-24 S) o tiosulfato de amonio (12-0-0-26 S). Las aplicaciones se realizaron al momento de la siembra de los cultivos y el manejo de los lotes se realizó bajo prácticas de labranza cero y según las prácticas convencionales del productor, procurando el logro de cultivos de alta producción sin limitaciones de P y control preventivo de malezas, plagas y enfermedades. Las fechas de siembra se correspondieron a las más adecuadas según los

genotipos cultivados y comprendieron entre el 25 de mayo y el 20 de junio en 18 ensayos y entre el 21 de junio y el 11 de julio en 16 ensayos. En todos los casos el cultivo antecesor fue soja (*Glycine max* (L.) Merrill).

Se tomaron muestras de suelo compuestas en los primeros 20 cm del perfil para la determinación de los contenidos de MO (Walkey & Black, 1934), P extractable (Pe, Bray & Kurtz, 1945 modificado según AACS, 1991), pH en agua relación 1:2,5 (potenciometría), S-SO₄²⁻ (extracción con acetato de amonio a pH 5,0 y determinación por turbidimetría con BaCl₂, Fontanive *et al.*, 2004) y distribución de partículas minerales (método de la pipeta, Jennings *et al.*, 1922). Además se determinaron los contenidos de N-NO₃⁻ en las capas de 0 a 20 y de 20 a 40 cm por colorimetría con ácido fenol disulfónico. Los contenidos de N se expresaron en kg ha⁻¹ considerando una densidad aparente de 1,3 Mg m⁻³ (Díaz-Zorita *et al.*, 2004). Se calculó el índice IMO definido por la relación entre los contenidos de MO en g kg⁻¹ y de arcilla y limo («a+l») en g kg⁻¹. Este índice se usa frecuentemente para minimizar los efectos de variaciones en la granulometría de los suelos y comparar su contenido de MO, el cual puede ser modificado por factores climáticos tales como temperaturas y precipitaciones o de manejo tales como labranzas, rotaciones, aporte de rastrojos (Pieri, 1995; Quiroga *et al.*, 2006).

En estadios de madurez fisiológica de los cultivos se determinó la producción de grano por la cosecha manual de 1 m² por parcela y sus componentes, peso individual de los granos y número de granos por unidad de superficie. Los resultados de rendimiento en grano (R) se corrigieron a 140 g kg⁻¹ de contenido de humedad. Para cada sitio se calculó la eficiencia de uso de N del fertilizante (EUN) como el cociente entre la respuesta a la fertilización (R_{ii} - R_i) y la dosis de N aplicada.

Para cada sitio los análisis se realizaron mediante ANOVA y prueba de diferencia mínima significativa (LSD, p<0,05). Para el análisis en conjunto de los sitios se empleó el test T para muestras apareadas considerando cada sitio como una repetición. La respuesta a N y a S en interacción con N se realizó contrastando los R_i y R_{ii} y entre R_{ii} y R_{iii}, respectivamente (Analytical Software 2000). Además se consideraron análisis de correlaciones entre la respuesta relativa a la fertilización NS con respecto a la aplica-

ción de N [(R_{iii} - R_{ii}) x R_{ii}⁻¹ x 100] y las propiedades edáficas evaluadas y de comparación de rectas de ajuste entre rendimientos de los tratamientos N y NS con respecto al control y a los máximos rendimientos alcanzados en cada sitio (Analytical Software 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sitios evaluados presentaron contenidos medios y de desvío estándar de MO de 21,2 ± 4,6 g kg⁻¹, de pH en agua de 6,3 ± 0,4, de Pe de 13,5 ± 6,6 mg kg⁻¹, de S-SO₄²⁻ de 6,3 ± 2,5 mg kg⁻¹, de arena de 613 ± 63 g kg⁻¹, de IMO de 5,5 ± 1,2 y de N-NO₃⁻ de 34,5 ± 14 kg ha⁻¹, siendo estos valores característicos en la región bajo estudio (SAGYP-INTA, 1989).

Los rendimientos de los cultivos variaron entre 1.934 y 8.162 kg ha⁻¹, con entre 4.410 y 21.631 granos m⁻² y con un peso de entre 25 y 44 mg grano⁻¹, mostrando diferencias significativas entre tratamientos de fertilización con N o con NS. Del análisis conjunto de los sitios experimentales se observó que la práctica de fertilización, con N o con NS, permitió lograr mayores rendimientos medios de trigo explicados fundamentalmente por incrementos en el número de granos (Tabla 1). En todos los sitios experimentales (Tabla 2) se observaron respuestas significativas al agregado de N (p<0,01), con un incremento promedio con respecto al tratamiento control sin fertilizar de 949 kg ha⁻¹ (20%, Tabla 1) y con una EUN del fertilizante promedio de 8,9 kg de grano kg N⁻¹. Estas EUN del fertilizante fueron similares a las observadas en esta misma región por Díaz-Zorita (2000) en cultivos de trigo fertilizados con N en el momento de su emergencia.

En el 38% de los sitios el agregado de S mejoró significativamente los rendimientos de trigo alcanzando respuestas de entre 386 y 1.286 kg ha⁻¹ (Tabla 2). Si se con-

Tabla 1. Producción de grano y componentes del rendimiento de trigo según tratamientos de fertilización en 34 sitios con suelos arenosos. Control = sin fertilización, N = 140 kg N ha⁻¹ (N suelo + N fertilizante), NS = 140 kg N ha⁻¹ (N suelo + N fertilizante) + 12 kg S ha⁻¹. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05).

Table 1. Wheat grain production and yield components depending on fertilization treatments in 34 sites with sandy soils. Control = without fertilization, N = 140 kg N ha⁻¹ (N soil + N fertilizer), NS = 140 kg N ha⁻¹ (N soil + N fertilizer) + 12 kg S ha⁻¹. Different letters within vertical direction shows significant differences between treatments (p<0,05).

Tratamiento	Rendimiento	Número de granos	Peso de granos
	kg ha ⁻¹	granos m ⁻²	mg grano ⁻¹
Control	4.734 c	12.590 c	37,6 a
N	5.683 b	14.799 b	38,4 a
NS	5.915 a	15.524 a	38,1 a

Tabla 2. Rendimiento de trigo en 34 sitios experimentales de la región de la Pampa Arenosa según tratamientos de fertilización. NS. Control = sin fertilización, N = 140 kg N ha⁻¹ (N suelo + N fertilizante), NS = 140 kg N ha⁻¹ (N suelo + N fertilizante) + 12 kg S ha⁻¹. Resp.N = comparación entre el rendimiento con N y el tratamiento control y Resp.S = comparación entre el rendimiento con NS y el tratamiento con N.

Table 2. Grain wheat yield in 34 experimental sites from the Sandy pampas regions, depending on NS fertilization. Control = without fertilization, N = 140 kg N ha⁻¹ (N soil + N fertilizer), NS = 140 kg N ha⁻¹ (N soil + N fertilizer) + 12 kg S ha⁻¹. Resp.N = comparison between the N and the control treatments, and Resp.S = comparison between the NS and the N treatments.

Sitio	Año	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Valor de p del contraste	
		Control	N	NS	Resp N	Resp S
1	2005	5.075	7.459	7.460	<0,01	0,99
2		4.437	5.340	5.162	<0,01	0,83
3		4.654	5.843	6.134	<0,01	0,41
4		4.809	5.895	6.754	<0,01	<0,01
5		6.218	6.561	6.315	<0,05	0,73
6		5.480	6.560	6.385	<0,01	0,75
7		3.654	4.354	4.134	<0,01	0,83
8		2.667	2.814	2.741	0,04	0,91
9		5.105	5.269	6.282	0,05	<0,01
10	2006	4.652	5.706	5.491	<0,01	0,61
11		4.768	6.114	5.823	<0,01	0,52
12		2.881	4.390	4.535	<0,01	0,55
13		4.021	4.330	5.616	0,03	<0,01
14		3.343	4.088	4.761	<0,01	<0,01
15		1.934	3.260	3.868	<0,01	<0,01
16		4.637	5.812	6.435	<0,01	<0,01
17		3.102	4.233	4.620	<0,01	0,04
18		5.084	6.994	7.230	<0,01	0,29
19		5.190	5.748	6.214	<0,01	0,03
20		4.600	4.814	5.036	0,05	0,61
21		4.763	6.120	6.203	<0,01	0,89
22		5.582	6.943	7.405	<0,01	0,02
23		5.130	5.478	6.081	0,02	<0,01
24		6.129	7.532	7.276	<0,01	0,38
25		4.322	4.909	5.668	<0,01	<0,01
26		5.946	6.229	6.703	0,04	<0,01
27		6.283	7.401	7.120	<0,01	0,33
28		6.060	7.066	7.000	<0,01	0,94
29		6.378	8.003	8.162	<0,01	0,81
30	2.480	3.861	4.604	<0,01	<0,01	
31	2007	5.405	6.066	6.166	<0,01	0,91
32		5.887	6.446	6.706	0,02	0,28
33		5.314	6.026	5.805	<0,01	0,35
34		4.974	5.567	5.217	<0,01	0,29

sideran todos los sitios estudiados, la respuesta al agregado de S por sobre la aplicación de N fue significativa ($p < 0,01$) con un incremento adicional promedio de 232 kg ha⁻¹ equivalente al 4,1% por sobre el tratamiento fertilizado con N (Tabla 1). De manera similar Díaz-Zorita *et al.* (2002b) describieron en ambientes del norte de Buenos Aires y sur de Córdoba y Santa Fe, incrementos medios de los rendimientos de trigo del orden del 21,6% para aplicaciones con N respecto a los tratamientos sin

fertilizar y del 4,6% para aplicaciones con S en tratamientos fertilizados con N. Al considerar sólo los sitios con respuesta significativa a la fertilización NS, éstas variaron entre el 6 y el 29% por sobre los rendimientos del tratamiento con N y fueron de similar magnitud a las descritas por Reussi Calvo *et al.* (2008), en suelos del sudeste de Buenos Aires con baja disponibilidad de S y bajos contenidos de MO, característicos de suelos bajo prácticas agrícolas prolongadas.

La respuesta relativa a la fertilización con S por sobre el agregado de N se analizó según su correlación con diferentes propiedades edáficas y se observó que ésta fue independiente de los contenidos de MO ($p = 0,61$), de $S-SO_4^{2-}$ ($p = 0,29$), de $N-NO_3^-$ disponibles al momento de la siembra ($p = 0,47$) y de arena ($p = 0,90$) y del valor de IMO ($p = 0,77$). Tampoco se detectaron diferencias relevantes entre los niveles medios de estas propiedades edáficas al discriminar entre sitios con y sin respuestas significativas a la incorporación adicional de S (Tabla 3). Es de destacar que en ambos tipos de sitios los niveles de $S-SO_4^{2-}$ fueron inferiores a 10 mg kg^{-1} , nivel crítico sugerido por estudios internacionales para la detección de sitios potencialmente deficitarios en azufre para la normal producción de cultivos de cosecha. Sin embargo, la falta de asociación entre las variables superficiales (capa de 0 a 20 cm de espesor) de los suelos y la respuesta en producción de granos a la fertilización azufrada también ha sido observada en otros estudios en la Región Pampeana. Por ejemplo, Reussi Calvo *et al.* (2006) en estudios desarrollados en el sudeste bonaerense no encontraron relaciones significativas entre la respuesta de cultivos de trigo a la fertilización con S y los contenidos de $S-SO_4^{2-}$ en la capa de 0-20 cm. De manera similar, en cultivos de soja en Argiudoles del centro-sur de Santa Fe, Gentiletti & Gutierrez Boem (2004) no comprobaron una relación entre la respuesta a la aplicación de S y los contenidos de MO y de $S-SO_4^{2-}$ de la capa superficial de los suelos. Las causas de la falta de relaciones entre indicadores edáficos y de respuesta a la aplicación de S podrían deberse entre otros factores a la presencia de sulfato por debajo de esa profundidad de muestreo o en el agua de capas freáticas cercanas y a la falta de una estimación precisa del aporte de sulfato por mineralización desde la MO durante el ciclo de los cultivos. En cuanto a la profundidad de muestreo Reussi Calvo *et al.* (2006) describieron mayores ajustes entre la respuesta al agregado de S en trigo y los contenidos de $S-SO_4^{2-}$ en la capa de 0 a 60 cm de profundidad ($r^2 = 0,62$) que en la capa de 0 a 20 cm. En cuanto al aporte de S por el agua freática Zaniboni y Otero (com. pers.) a partir del análisis de unos 70 freátímetros en el oeste de la

provincia de Buenos Aires determinaron que unos 100 mm de agua de freática aportarían entre 25 y 200 kg ha^{-1} de S, y por lo tanto, limitaría la respuesta a la fertilización azufrada de los cultivos en condiciones de limitada oferta edáfica superficial.

Considerando sólo los 13 sitios con respuesta significativa al aporte adicional de S en cultivos fertilizados con N (Tabla 2) se observó que tanto los rendimientos de los cultivos fertilizados con N como los con NS se relacionaron positivamente con la producción del tratamiento control o de los máximos rendimientos alcanzados en cada sitio (Fig. 1). Las pendientes de los modelos de regresión ajustados no difirieron entre ambos tratamientos ($p < 0,90$) sugiriendo que los aportes del agregado de NS y de N fueron independientes de la productividad de los sitios estudiados. Además, al aumentar los rendimientos máximos alcanzados la respuesta relativa a la aplicación adicional de S tendió a disminuir y las respuestas entre ambos tratamientos de fertilización se relacionaron positivamente ($r = 0,51$, $n = 13$, $p = 0,07$) (Fig. 2). Mestelan & Pazos (1998) en estudios en el sudeste de la Región Pampeana no observaron respuestas positivas al agregado de S en lotes con rendimientos cercanos a los potenciales productivos aún con contenidos $S-SO_4^{2-}$ de los suelos considerados bajos (4 a 7 mg kg^{-1}) en horizontes superficiales y subsuperficiales. De manera similar Tysko & Rodriguez (2006) en estudios desarrollados en Argiudoles del sur de Santa Fe y del norte de Buenos Aires observaron menores respuestas a S en trigo en la medida que se incrementaron los rendimientos de los cultivos no fertilizados (cercanos o superiores a los 3.000 kg ha^{-1}). En ambos estudios los autores atribuyeron este comportamiento a posibles aportes de S por mineralización de las fracciones orgánicas de suelo. En este sentido Niknahad Ghar-makher *et al.* (2009), obtuvieron un modelo predictivo de la mineralización de S a través de los valores de pH y contenido de C y arcilla de los suelos. No obstante en ese trabajo no se contempló la influencia del aporte de residuos a la mineralización de S, tal el caso de cultivos bajo sistemas de labranza cero.

Tabla 3. Resumen de propiedades edáficas medias en sitios de suelos arenosos según su respuesta al agregado de S.

Table 3. Mean soil properties (0-20 cm depth) in sites with sandy soils depending on their response to S fertilization.

Respuesta a S	pH	MO	Arena	Pe	$S-SO_4^{2-}$	$N-NO_3^-$
		g kg^{-1}			mg kg^{-1}	kg ha^{-1}
Si	6,3	20,9	618	12,0	6,4	40,3
No	6,4	21,0	618	14,6	6,1	31,6

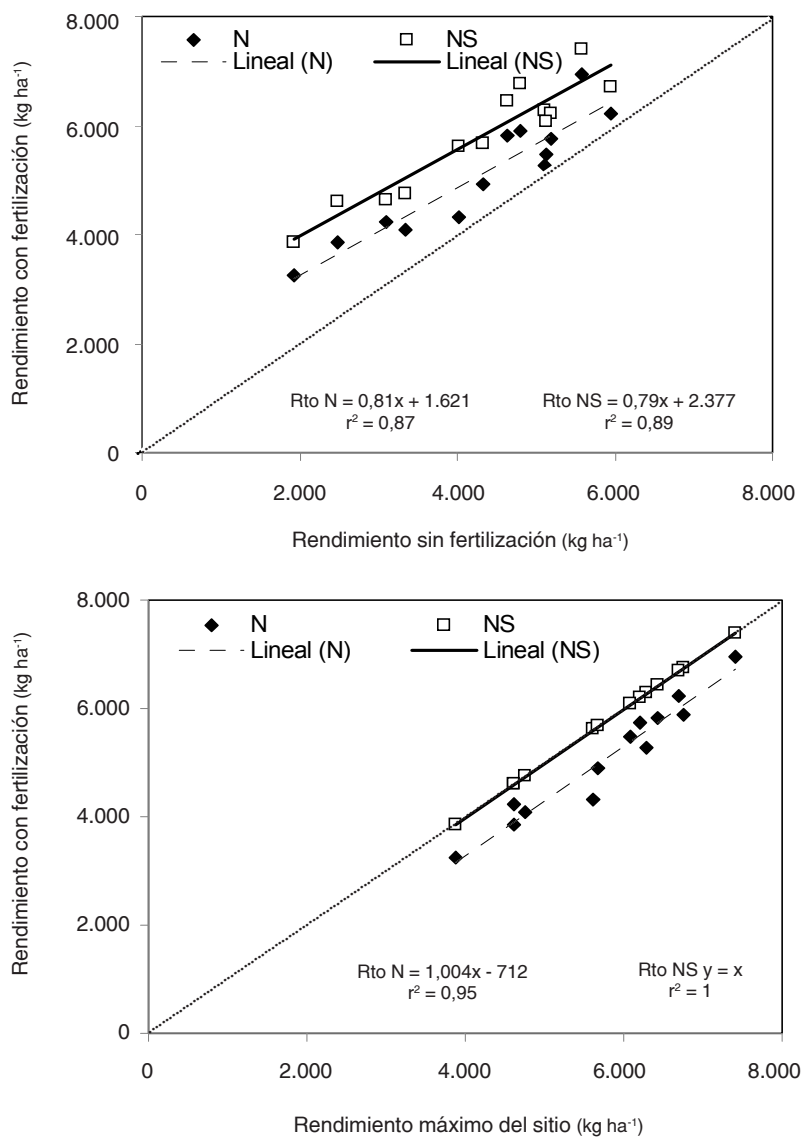


Figura 1. Rendimientos de trigo según tratamientos de fertilización con N o con NS según la producción de cultivos sin fertilización o los rendimientos máximos alcanzados en 13 sitios con respuestas significativas a la aplicación de S. La línea de puntos muestra la relación 1:1. Rto = rendimiento de trigo.

Figure 1. Relationship between wheat grain yield from N or NS fertilized and no fertilized crops or attainable yields in 13 sites with significant grain responses to S application. The dotted line shows the 1:1 relationship. Rto = wheat grain yield.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio, desarrollado en un amplio rango de texturas arenosas a franco arenosas y de fertilidad de los suelos, muestran en la RPA una alta respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de

trigo, con respuestas en producción de aproximadamente el 20% por sobre el control sin fertilización.

En concordancia con las hipótesis, la respuesta adicional al agregado de S es significativa pero menos frecuente (38% de los sitios analizados) y de menor magnitud (232 kg ha⁻¹, 4,1%). Además, estas respuestas son

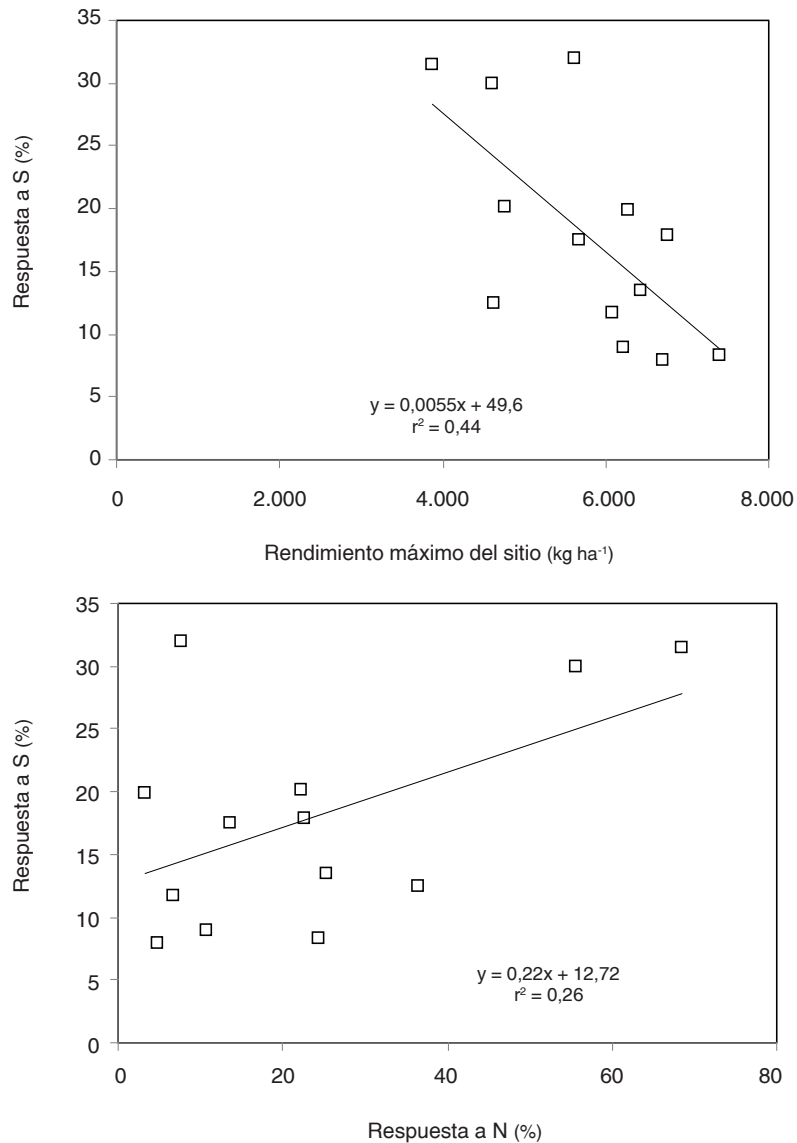


Figura 2. Respuesta del trigo a la fertilización adicional con S según los rendimientos máximos alcanzados o la respuesta a la fertilización con N en 13 sitios experimentales con aumentos significativos a la fertilización con S.

Figure 2. Wheat grain response to the addition of S related with the attainable yields or the crop response to N fertilization in 13 experimental sites with significant responses to S fertilization.

proporcionales a las mejoras por fertilización con N y decrecientes al incrementarse los rendimientos de los sitios estudiados. La información de caracterización de los sitios de producción (suelos, manejo del cultivo, etc.) fue insuficiente para la identificación de elementos de diagnóstico de necesidades de S. Se requiere de estudios que analicen la disponibilidad de S en capas profundas de los suelos y los aportes por mineralización.

BIBLIOGRAFÍA

AACS. 1991. II Jornada Nacional del Fósforo del Suelo. Comité de Química de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. PROMAR (Programa de Métodos Analíticos de Referencia), 27 pp.

Analytical Software, 2000, Statistix7, User's manual, Analytical Software, Tallahassee, FL, USA, 359 pp.

- Bono, A; DE Buschiazzo; P Lezcano; J Montoya & F Babinec. 1997. Fertilización de una pastura con nitrógeno, fósforo y azufre en un Haplustol Entico de La Pampa (Argentina). *Ciencia del Suelo* 15: 95-98.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Calviño, P; HE Echeverría & M Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20: 36-42.
- Cordone, G & F Martínez. 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 INTA Oliveros. Santa Fe, pp 90-92.
- Culot, J. 1986. Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la región pampeana. *En: investigación, tecnología y producción de alfalfa. Colección científica del INTA, Buenos Aires*, pp 81-117.
- Díaz-Zorita, M & MV Fernández Canigia. 1998. Azufre y nitrógeno en la implantación de pasturas perennes en la región de la Pampa Arenosa. *Ciencia del suelo* 16: 103-106.
- Díaz-Zorita, M. 2000. Efecto de dos momentos de aplicación de urea sobre la producción de grano de trigo en Drabble (Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 18: 125-131.
- Díaz-Zorita, M; GA Duarte & JH Grove. 2002a. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid pampas. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- Díaz-Zorita, M; F García & R Melgar. 2002b. Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar-INTA. Campaña 2000/2001 y 2001/2002. 44 pp.
- Díaz-Zorita, M; M Barraco & C Álvarez. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22: 11-18.
- Díaz-Zorita, M; C Brambilla, MV Fernández-Canigia & GA Duarte. 2006. Fertilización con NS en el doble cultivo trigo/soja en el centro de la Región Pampeana. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. 19 al 22 de setiembre de 2006. Salta-Jujuy. Argentina. En CD.
- Echeverría, HE; NF San Martin & R Bergonzi. 1996. Mineralización de azufre y su relación con la de nitrógeno en suelos agrícolas. *Ciencia del Suelo* 14: 107-109.
- Fontanive, A; H Jiménez; A De Lahorna; D Effron & L Defrieri. 2004. Determinación de azufre inorgánico en suelos. Método turbidimétrico. *En: Sistema de Apoyo Metodológico para Laboratorios de Análisis de Suelo, Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas. SAGPyA. ISBN 987-9184-40-8.*
- Gentiletti, A & F Gutierrez Boem. 2004. Fertilización azufrada del cultivo de soja en el centro-sur de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas de INPOFOS.* N° 24. pp 12-16.
- González Montaner, J; G Maddoni; N Mailland & M Posborg. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la región IV (sudeste de la Pcia. de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 9: 41-51.
- González Montaner, J; M Di Nápoli; P Calviño; N Mailland; M Posborg; F Dodorico & J Andenoché. 2003. Nitrógeno en trigo. *Revista de los CREA.* 272: 56-59.
- Jennings, DS; MD Thomas & W Gardner. 1922. «A new method of mechanical analysis of soils». *Soil Sci.* 68: 15-24.
- Johnson, GV & PE Fixen. 1990. Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. *In: Westerman RL (ed.) Soil Testing and Plant analysis. Third edition. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA, pp 265-273.*
- Lethelier, E & A Zamolinski. 1974. Exploración de deficiencias nutritivas de alfalfa por medio de ensayos en macetas en suelos de la pampa subhúmeda. Actas II reunión nacional de fertilidad y fertilizantes. Buenos Aires, pp 304-314.
- Martínez, F; G Cordone & FO García. 2001. Azufre y otros nutrientes. *En: Trigo. Cuaderno de actualización técnica N° 63. CREA, Buenos Aires, pp 46-51.*
- Méndez, D; P Davies; CA Gonella & M Díaz-Zorita. 1998. Fertilización de verdeos de invierno. *Respuesta animal. Rev. Arg. Prod. Animal* 18: 96-97.
- Mestelan, S & S Pazos. 1998. Diagnóstico de la disponibilidad de S para Molisoles del centro de la Provincia de Buenos Aires según metodología DRIS y el análisis de la relación N/S en grano en el cultivo de trigo. IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata, Buenos Aires, 11 al 13 de noviembre de 1998, pp 3-39.
- Niknahad Gharmakher, H; JM Machet; N Beaudoin & S Recous. 2009. Estimation of sulfur mineralization and relationships with nitrogen and carbon in soils. *Biol Fertil Soils* 45: 297-304.
- Pieri, C. 1995. Long-term soil management experiments in Semiarid Francophone Africa. *In: Lal, R, Stewart, BA (eds.), Soil Management Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality. Adv. Soil Sci. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, FA, USA, pp 225-266.*
- Quiroga, A; D Funaro; E Noellemeyer & N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 20: 63-68.
- Reussi Calvo, NI; HE Echeverría & H Sainz Rosas. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24: 77-87.
- Reussi Calvo, NI; HE Echeverría & H Sainz Rosas. 2008. Comparación de métodos de determinación de nitrógeno y azufre en planta: implicancia en el diagnóstico de azufre en trigo. *Ciencia del Suelo* 26: 161-167.
- Romero, N; C Bariggi & G Schenkel. 1974. Resultados preliminares de exploración de deficiencias nutritivas para suelos pampeanos en macetas con alfalfa. EEA INTA Anguil. Proyecto alfalfa-FAO-INTA 71/584. 12 pp.
- SAGYP-INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1: 500000. Proyecto PNUD ARG 85/019, editado por Secretaría de agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. CIRN. Instituto de Evaluación de Tierras. 472 pp.
- Salvagiotti, F; D Miralles; J Castellarín & H Pedrol. 2004. La fertilización azufrada incrementa la absorción y la eficiencia en el uso del nitrógeno en trigo. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. Entre Ríos. 2004. En CD.
- Stevenson, FJ & MA Cole. 1999. Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. John Wiley and Sons Inc., New York, USA, 427 pp.
- Tysko, M & MB Rodríguez. 2006. Respuesta de trigo-soja en doble cultivo a la fertilización con azufre elemental pretratado. *Ciencia del Suelo* 24: 139-146.
- Walkley, A & TA Black. 1934. An examination of the Degtjaerff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.