

NIVEL CRÍTICO DE FOSFORO Y AZUFRE EN SUELOS DEL SUR DE CÓRDOBA PARA EL CULTIVO DE SOJA

Gabriel P. Espósito, Carlos A. Castillo, Guillermo R. Balboa y Ricardo G. Balboa
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
gesposito@ayv.unrc.edu.ar

Presentado al XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (AACs). San Luis, 13-16 de Mayo de 2008

Introducción

El incremento en las actividades agrícolas en las últimas décadas produjo una gran extracción de nutrientes del suelo, los cuales no fueron repuestos en similar proporción, siendo los más afectados aquellos que provienen de la materia orgánica, como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) (García, 2000).

En los últimos años, el sistema de siembra directa ha tenido gran difusión debido a diferentes ventajas operativas y ambientales (Agostini, 2006). Como consecuencia del uso de esta práctica, es factible esperar una menor mineralización del S de los componentes orgánicos del suelo (Relun, 2005).

La fisiología de los cultivos requiere una adecuada provisión nutricional, principalmente de N, P y S. El S está involucrado en procesos importantes como aquellos ligados a la nutrición nitrogenada (como parte de la nitrogenasa, enzima responsable de la fijación biológica), o de otras enzimas encargadas de la transformación del nitrógeno inorgánico en aminoácidos. La estructura de las proteínas de reserva (aproximadamente 40% del grano), están constituidas por aminoácidos esenciales como metionina, cisteína y cistina que tienen S en su estructura (Castillo et al., 2006; Marschner, 1995).

Al ser un nutriente poco móvil en la planta, sus deficiencias suelen observarse inicialmente en las hojas jóvenes que se presentan amarillentas o cloróticas. En estados posteriores, las deficiencias de S pueden ser confundidas con las de N (Galarza et al., 2002).

Para realizar adecuados diagnósticos de las necesidades de fertilización, es necesario conocer cuáles son los niveles mínimos o críticos de disponibilidad en el suelo a partir del cual un nutriente pasa a ser deficitario de la producción vegetal (Maddoni et al., 2004). En este sentido, Ferraris y Couretot (2004) informaron que la fertilización fosfatada incrementa los rendimientos de soja cuando la disponibilidad de P en la capa superficial de suelo (0-20 cm) es menor a 12 mg kg⁻¹ y Díaz Zorita (2002) no encontraron respuesta a la fertilización fosfatada de la soja en suelos con más de 20 mg kg⁻¹ de P en los primeros 20 cm de suelo.

Las respuestas al S han sido observadas principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada (Martínez y Cordone, 1998). Estas condiciones definen los ambientes de mayor probabilidad de respuesta a la fertilización azufrada.

A los efectos de visualizar la conveniencia económica de la fertilización, se puede emplear el método del análisis mar-

ginal. Dicho análisis compara el ingreso económico generado por el aumento de la producción al incrementar los niveles de insumo (producción marginal) con el incremento del costo que resulta de adquirir y aplicar estos insumos (costo marginal). Si esta comparación resulta positiva, es decir que el beneficio marginal es positivo, la tecnología evaluada es recomendable (Botta et al., 2002).

El objetivo del presente trabajo fue determinar los niveles críticos de P y S en suelos del sur oeste de la provincia de Córdoba, en función de la variabilidad en la relación de precios insumo/producto, frecuente en la economía de nuestro país.

Materiales y Métodos

Se implantaron en total nueve ensayos de soja. En la campaña agrícola 2004/05 se realizaron dos ensayos en las localidades de San Basilio (Est. San Juan) y Holmberg (Est. San Beltrán). En 2005/06 se establecieron tres ensayos en las localidades de Bengolea, (Est. El Pericón), La Aguada (Campo Pozo del Carril, FAV, UNRC) y Río Cuarto (Campo Exp. FAV, UNRC). Finalmente, en 2006/07, se realizaron cuatro ensayos en las zonas rurales de Melo (Est. Rhenania 2), Gral. Levalle (Est. La Escondida), Río Cuarto (Campo Experimental FAV, UNRC) y La Aguada (Campo Pozo del Carril, UNRC).

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados, con arreglo en parcelas divididas, con cuatro repeticiones espaciales por tratamiento. El factor principal fue el S, constituido por 3 dosis (0, 13 y 26 kg S ha⁻¹), mientras que el factor secundario fue el P, constituido por 4 dosis (0, 23, 34.5 y 46 kg P₂O₅ ha⁻¹). Se utilizó fosfato tricálcico como fuente de P y tiosulfato de amonio como fuente azufrada. Las diferencias de N aplicado con las distintas dosis de azufre se corrigieron con cantidades equivalentes de N como UAN (28, 14 y 7 litros ha⁻¹ en las dosis de 0, 13 y 26 kg S ha⁻¹, respectivamente).

Los fertilizantes fosforados se aplicaron al momento de la siembra, incorporándolos al suelo por debajo y al costado de la línea de siembra. El S se aplicó chorroado con equipo pulverizador (provisto de una fuente de presión con CO₂) inmediatamente después de la siembra. El tamaño de las parcelas fue de 20 metros de largo por 6 surcos de ancho. La cosecha se realizó recolectando la totalidad de la parcela en forma mecánica. Los rendimientos se expresaron en kg ha⁻¹ de acuerdo a las bases de comercialización. Los resultados fueron analizados mediante análisis de regresión lineal empleando el programa InfoStat (2004).

Resultados

En la Tabla 1 se observan las condiciones edáficas de los sitios en los cuales se realizaron los ensayos, en donde la MO varió entre 1.4% en La Aguada hasta 2.6% en La Escondida. Se encontraron valores de P disponible (Bray 1; 0-15 cm) entre 8.1 mg kg⁻¹ y 30.5 mg kg⁻¹, mientras que los niveles de S como sulfatos oscilaron entre 7.5 y 23 mg kg⁻¹. Esta variación de resultados edáficos justifica la selección de los sitios experimentales al contemplar suelos con aceptable y baja fertilidad. En la misma tabla también se puede observar la disponibilidad inicial de agua en el primer metro de profundidad del suelo, cuyos valores alcanzaron entre 73 y 130 mm.

Las abundantes precipitaciones que ocurrieron durante las campañas de soja condujeron a rendimientos entre 2570 y 4450 kg ha⁻¹ (Tabla 2). La soja respondió positivamente a la fertilización fosforada y azufrada en El Pericón, La Aguada (06/07) y Rhenania, mientras que se observaron respuestas sólo a la fertilización fosforada en La Aguada (05/06). En Rhenania la interacción P x S fue significativa. No se observaron respuestas a la fertilización fosforada o azufrada en San Juan, San Beltrán, Río Cuarto y La Escondida.

Como se puede apreciar en la Figura 1, se relacionó la respuesta al agregado de P con el contenido de este nutriente en el suelo al momento de la siembra. Utilizando el ajuste lineal obtenido en los sitios con respuesta a la fertilización (rombos), se determinó el valor umbral a partir del cual la respuesta en kg grano por hectárea comenzó a ser positiva. El valor obtenido de la ecuación $y = -42.71x + 787.05$ fue de 18 mg kg⁻¹ de P. Las excelentes condiciones climáticas podrían explicar por qué el valor umbral fue superior al planteado por Ferraris y Couretot (2004) (alrededor de 12 mg kg⁻¹).

Como el nivel crítico de P se determinó teniendo en cuenta los costos del fertilizante y los del grano de soja, los resultados son dependientes de la relación de precios. Por ejemplo, considerando la dosis promedio de cada ensayo, cercana a los 80 kg ha⁻¹ de SFT y una relación insumo/producto de 4.5 (0.9 U\$S kg SFT ha⁻¹ y el valor neto de la soja a 0.2 U\$S kg⁻¹) es necesario una respuesta de 360 kg ha⁻¹ de soja para afrontar el gasto de fertilización. Esta relación resultaría en un nivel crítico como umbral económico de 10 mg kg⁻¹.

Como existe una elevada variabilidad en la relación insumo/producto, en la Tabla 3 se puede analizar la

sensibilidad del nivel crítico ante cambios en la relación. A medida que el precio del fertilizante aumenta, independientemente del precio de soja, el nivel crítico disminuye como consecuencia de una mayor necesidad de producto para afrontar los gastos de la fertilización. Por el contrario, cuando el precio de soja se incrementa, el nivel crítico disminuye como consecuencia de la menor necesidad de producto para solventar los gastos.

La respuesta de la soja al agregado de S como tiosulfato de amonio se relacionó con el nivel de S-SO₄⁼ del suelo al momento de la siembra (Figura 2).

De forma análoga a lo discutido en la Figura 1, el nivel crítico a partir del cual la respuesta al S es positiva es de 9.7 mg kg⁻¹ de S-SO₄⁼. Considerando que los 13 kg ha⁻¹ de S fueron aplicados como 50 L ha⁻¹ de tiosulfato de amonio a un costo de 22.5 U\$S, la respuesta de soja necesaria para cubrir el mismo sería de 112.5 kg ha⁻¹. Por lo tanto, el valor umbral económico de S-SO₄⁼ del suelo al momento de la siembra sería de 9 mg kg⁻¹. Estos umbrales son coincidentes con los 10 mg kg⁻¹ planteados por García (2000).

En la Tabla 4, se puede observar el análisis de sensibilidad del nivel crítico del S-SO₄⁼ ante cambios en la relación insumo-producto, el cual puede ser interpretado análogamente a lo planteado en la discusión de la oferta de P.

Conclusiones

En virtud de los resultados obtenidos, se concluye que los niveles críticos a partir de los cuales es factible esperar respuesta en rendimiento a la fertilización con fósforo y azufre en el cultivo de soja son: 18 mg kg⁻¹ de P y 9 mg kg⁻¹ de S-SO₄⁼. No obstante, la relación de precios insumo/producto hace variar el nivel crítico de cada nutriente a partir del cual la fertilización se torna rentable.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores agropecuarios que facilitaron sus establecimientos para la realización de los ensayos y la colaboración brindada durante su desarrollo.

Bibliografía

Agostini A. 2006. Compactación por pisoteo animal en planteos de producción mixta bajo siembra directa. Facultad de Agronomía Facultad de Cs. Agrarias y Forestales (UNLP).

Tabla 1. Caracterización edáfica de los sitios experimentales

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Campaña	04/05	04/05	05/06	05/06	05/06	06/07	06/07	06/07	06/07
MO (%)	2.02	2.02	1.6	1.73	1.9	1.7	2.56	1.37	1.55
Dap 0-20 cm (g m ⁻³)	1.29	1.29	1.32	1.25	1.22	1.29	1.25	1.25	1.25
Dap 20-40 cm (g m ⁻³)	1.32	1.32	1.27	1.28	1.26	1.31	1.28	1.31	1.28
Fosforo 0-15 cm (mg kg ⁻¹)	18	30.5	12	14.7	22	26.1	25.6	8.1	16.3
pH	6.7	6.9	6.5	6.9	7.1	6.8	7.2	6.5	6.9
S-SO ₄ 0-20 cm (mg kg ⁻¹)	21	15	9	18	23	7.5	9.9	7.1	9
Agua a 1m (mm)	125	120	130	87	75	84	77	73	83

Sitios = 1 San Juan. 2 San Beltrán. 3 El Pericón. 4 La Aguada 05/06. 5 UNRC 05/06. 6 Rhenania. 7 La Escondida. 8 La Aguada 06/07. 9 UNRC 06/07. Dap: Densidad aparente.

Botta F., R. E. Albrech, H. S. Vivas, H. M. Fontanetto y J. L. Othian. 2002. Resultados económicos de distintas alternativas de fertilización en el sistema trigo – soja. Anuario 2002. Agronomía. EEA INTA Rafaela.:1-6.

Castillo C., Esposito G., Balboa R. 2006. Fertilización del Maíz en el Sur de Córdoba. Interacción entre Nitrógeno y Azufre. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Primera Reunión de Suelos de la Región Andina Salta Argentina. Comisión 3.:300.

Díaz Zorita M. 2002. La fertilización de soja y trigo/soja en la región pampeana: Red del proyecto Fertilizar INTA. Actas de la Jornada de actualización para profesionales “Fertilidad 2002”, INPOFOS. Cono Sur, Rosario, Argentina.:37-42.

Ferraris G. y L. Couretot. 2004. Fertilización fosforada en soja. Diagnóstico y tecnología de aplicación. Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, IX (26): 46-49.

Galarza C., V. Gudelj y P. Vallote. 2002. Fertilización del cultivo de soja. Información para Extensión N° 69. EEA INTA Marcos Juárez.

García F. 2000. Avances en Investigación y Experimentación en

Fertilización de Cultivos Extensivos en Argentina. INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur. Tercera Conferencia Fertilizantes Cono Sur organizada por British Sulphur Pub. Punta del Este (Uruguay).

Infostat. 2004. Infostat versión 2004. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Maddoni G., Ruiz R., Vilariño P. e I. García de Salamote. 2004. Fertilización en los cultivos para grano. En: Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina:501-557.

Marschner H.E. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academie Press. London/ San Diego/ New York/ Boston/ Sydney/ Tokio, p: 889

Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina.

Relun G. 2005. Sulfur Management for Corn Growth with Conservation Tillage. Soil Sci Soc Am J 69:709-717. ■

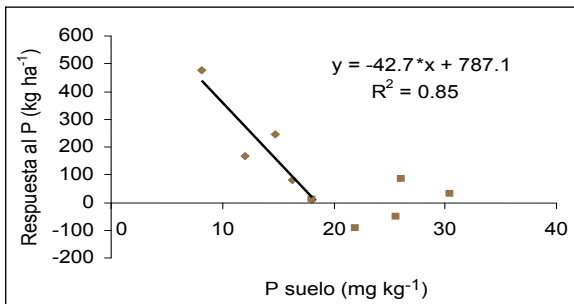


Figura 1: Respuesta en rendimiento de soja al agregado de P según nivel de P (Bray I) del suelo a la siembra. Datos de 9 ensayos (2004-2007).* indica ajuste lineal significativo al 5% de probabilidad.

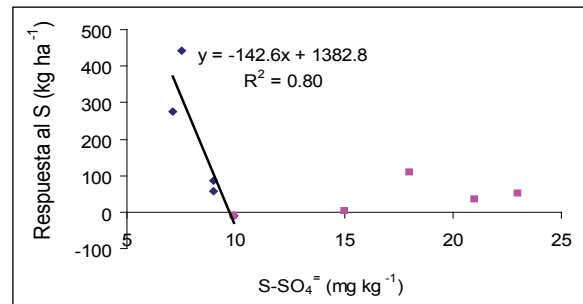


Figura 2: Respuesta en rendimiento de soja al agregado de S según nivel de S-SO₄²⁻ del suelo a la siembra. Datos de 9 ensayos (2004-2007).* indica ajuste lineal significativo al 5% de probabilidad.

Tabla 2. Rendimiento de soja (kg ha⁻¹) para distintos niveles de P y S. Ensayos realizados en las campañas 2004/05 y 2005/06.

Tratamiento	SJ 04/05	SB 04/05	EP 05/06	LA 05/06	RC 05/06	LA 06/07	RC 06/07	RH 06/07	LE 06/07
46 kg P ha ⁻¹	3554 a	4074 a	3231 a	2946 a	2598 a	3355 a	3464 a	4280 a	4321 a
34.5 kg P ha ⁻¹	3493 a	4054 a	3257 a	2875 a	2596 a	3271 a	3410 a	4045 b	4454 a
23 kg P ha ⁻¹	3455 a	4044 a	3116 b	2794 a	2604 a	3187 a	3356 a	3950 b	4379 a
0 kg SFT ha ⁻¹	3482 a	4025 a	3088 b	2625 b	2694 a	2808 b	3330 a	3958 b	4397 a
DMS (0.05)	140	73	97	159	222	338	194	205	431
26 kg S ha ⁻¹	3428 a	4051 a	3191 a	2685 a	2676 a	3402 a	3409 a	4315 a	4392 a
13 kg S ha ⁻¹	3463 a	4048 a	3144 ab	2836 a	2621 a	3255 a	3433 a	4403 a	4422 a
0 kg S ha ⁻¹	3429 a	4044 a	3086 b	2729 a	2571 a	2978 b	3347 a	3921 b	4432 a
DMS (0.05)	217	63	102	149	133	276	138	192	354
PxS	0.989	0.982	0.918	0.879	0.172	0.534	0.767	0.032	0.912
C.V. (%)	4.89	2.17	3.75	6.15	6.97	8.43	4.64	2.59	4.53

SJ, SB, LA, RC, EP, RH, LE: San Juan, San Beltrán, La Aguada, UNRC, El Pericón, Rhenania y La Escondida. PxS: Interacción fósforo por azufre. DMS (0.05): diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad según test LSD. CV: coeficiente de variación.

Tabla 3. Análisis de sensibilidad del nivel crítico de P según el precio neto de soja y el precio del superfosfato triple.

§ Fósforo**	§ Soja*				
	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
0.5	12	14	15	15	16
0.7	10	12	13	14	15
0.9	7	10	12	13	14
1.1	5	8	10	12	13
1.3	2	6	9	10	12

* En U\$S kg⁻¹, ** En U\$S kg⁻¹ de Súper Fosfato Triple

Tabla 4. Análisis de sensibilidad del nivel crítico de S de sulfatos, según el precio neto de soja y el precio del tiosulfato de amonio.

§ Azufre**	§ Soja*				
	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
0.3	9	9	9	9	9
0.45	9	9	9	9	9
0.6	8	9	9	9	9
0.75	8	8	9	9	9
1	7	8	8	9	9

* En U\$S kg⁻¹, ** En U\$S L⁻¹ de tiosulfato de amonio