



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

NIVEL CRITICO DE FOSFORO Y AZUFRE EN SUELOS DEL SUR DE CORDOBA PARA EL CULTIVO DE SOJA

Espósito G. P.¹, C. A. Castillo¹, R. Balboa² y G. Balboa³

- (1) Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Agencia Postal N° 5800 Río Cuarto. gesposito@ayv.unrc.edu.ar
(2) Personal Técnico, UNRC. (3) Becario alumno, Producción Vegetal, UNRC.

RESUMEN:

Este trabajo se realizó para determinar el umbral mínimo de azufre y fósforo del suelo al momento de la siembra del cultivo de soja a partir del cual existe respuesta económica a la fertilización azufrada y fosfatada. Se realizaron nueve ensayos de soja entre 2004-2007, en distintas Localidades del área de influencia de la UNRC. El diseño experimental utilizado, fue en bloques completos aleatorizados, con arreglo en parcelas divididas. Se utilizaron 4 bloques por ensayo. El factor principal, fueron las tres dosis de azufre como tiosulfato de amonio, (0, 13 y 26 kg S ha⁻¹) mientras que el factor secundario cuatro de fósforo como fosfato tricálcico (0, 23, 34.5 y 46 kg P₂O₅ ha⁻¹). 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. Se concluye que para la obtención de rendimientos comprendidos entre el rango de 2800 a 4500 kg ha⁻¹ es conveniente económicamente aplicar en promedio 80 kg ha⁻¹ de superfosfato triple más 50 litros ha⁻¹ de tiosulfato de amonio cuando los niveles de nutrientes del suelo se encuentren por debajo de las 13 ppm de fósforo (Bray I) y de 9 ppm de S de SO₄⁻ (turbidimetría). En aquellos suelos donde una de estas dos condiciones no se cumpla se recomienda utilizar la misma dosis de superfosfato triple (aporte de P) o tiosulfato de amonio (aporte de S) según corresponda.

Palabras Clave: fertilización – rentabilidad – soja

INTRODUCCION

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, el fósforo y el azufre (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 N, P y S. El azufre 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 (aprox. 40% del grano), están constituidas por aminoácidos esenciales como metionina, cisteína y cistina que tienen azufre 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 a utilizar 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 (Maddonni et al., 2004). En este sentido, Ferraris y Couretot (2004) informaron que la fertilización fosfatada incrementa los rendimientos de



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

soja cuando la disponibilidad de P en la capa superficial de suelo (0-20 cm) es menor a 12 ppm y Díaz Zorita (2002) no encontraron respuesta a la fertilización fosfatada de la soja en suelos con más de 20 ppm de P en los primeros 20 cm de suelo.

Las respuestas al azufre 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 emplea el método del análisis marginal. 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).

Por consiguiente, el objetivo del presente es determinar en suelos del sur oeste de la provincia de Córdoba los niveles críticos de P y S sensibles a 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 de soja en las localidades de San Basilio (Est. San Juan) y Holmberg, (Est. San Beltrán). En 2005/06 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 cuatro ensayos de soja 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 utilizado en todos los sitios experimentales y en todos los años, fue en bloques completos aleatorizados, con arreglo en parcelas divididas, con cuatro repeticiones espaciales por tratamiento. El factor principal, fueron las dosis de azufre, mientras que el factor secundario las de fósforo.

En los nueve sitios experimentales, se aplicaron 3 dosis de azufre (0, 13 y 26 kg S ha⁻¹) en combinación con 4 dosis de fósforo (0, 23, 34.5 y 46 kg P₂O₅ ha⁻¹). Para ello se utilizó fosfato tricálcico como fuente de fósforo 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 y 14 y 7 litros ha⁻¹ en las dosis de 0 y 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 chorreado con equipo pulverizador de parcelas provisto de una fuente de presión con CO₂ inmediatamente y posterior a 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 expresan en kg ha⁻¹ de acuerdo a las bases de comercialización.

Todos los resultados fueron analizados mediante análisis de regresión lineal empleando para ello el programa InfoStat (2004).

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observa las condiciones edáficas de los sitios en los cuales se realizaron los ensayos, en donde la M O va desde niveles bajos como La Aguada de 1.37 % hasta los 2.56 % de La Escondida. En relación al fósforo disponible en los primeros 15 cm de suelo los valores hallados van desde 8,1 ppm a 30,5 ppm, mientras que los niveles de azufre de sulfatos oscilan entre 7,5 a 23



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

ppm. 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 oscilan entre 73 a 130 mm.

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
Mat Org (%)	2,02	2,02	1,6	1,73	1,9	1,7	2,56	1,37	1,55
PEA 0-20 (g m ⁻³)	1,29	1,29	1,32	1,25	1,22	1,29	1,25	1,25	1,25
PEA 20-40 (g m ⁻³)	1,32	1,32	1,27	1,28	1,26	1,31	1,28	1,31	1,28
Fosforo 0-15 (ppm)	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 (ppm)	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

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.

Como se puede apreciar en la Figura 1, se relacionó la respuesta al agregado de fósforo según el contenido de este nutriente en el suelo al momento de la siembra.

Con el ajuste lineal obtenido en los sitios con respuesta (rombos) a la fertilización se determinó el valor umbral a partir del cual la respuesta en kg grano por hectárea comienza a ser positiva. Este valor obtenido de la ecuación $y = -42,71x + 787,05$ fue de 18,43 ppm de P. Es necesario recalcar que este valor fue obtenido de ensayos en los cuales la soja produjo entre 2800 y 4400 kg ha⁻¹, gracias a las excelentes condiciones de crecimiento (precipitaciones) que el cultivo tuvo en la totalidad de los experimentos. Esta situación explica porqué el valor umbral es superior al planteado por Ferraris y Couretot (2004) (alrededor de 12 ppm).

Como el nivel crítico de fósforo se determinó teniendo en cuenta los costos del fertilizante y los del grano de soja, los resultados son diferentes y dependientes de esta 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 FDA ha⁻¹ y el valor neto de la soja a 0,2 U\$S kg⁻¹) es necesario una respuesta de 240 kg ha⁻¹ de soja para afrontar el gasto de fertilización. Ello implicaría que el nivel crítico como umbral económico sería de 10 ppm.

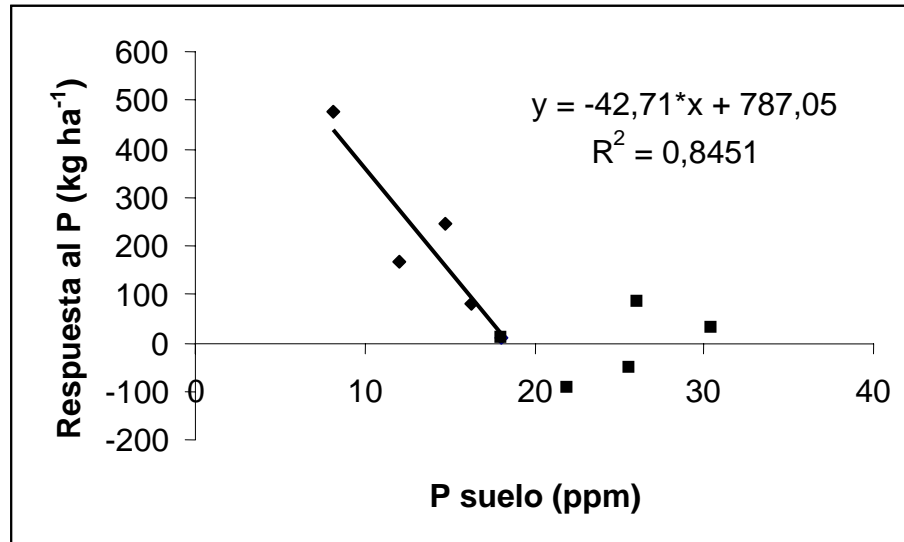


Figura 1: Respuesta en rendimiento de soja al agregado de P según nivel de P (Bray I) del suelo a la siembra. Datos de 9 ensayos (2004-2007). * indica ajuste lineal significativo al 5% de probabilidad.

Como existe una elevada variabilidad en la relación insumo / producto, en la Tabla 2 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. En otro sentido cuando el precio de soja se incrementa el nivel crítico disminuye como consecuencia de la menor necesidad de producto para solventar los gastos.

Tabla 2: Análisis de sensibilidad del nivel crítico de fósforo según el precio neto de soja y el precio del superfosfato triple.

\$ Soja* / \$Fósforo**	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
0.5	12.18	13.75	14.68	15.31	15.75
0.7	9.69	11.87	13.18	14.06	14.68
0.9	7.19	10.00	11.68	12.81	13.61
1.1	4.69	8.13	10.19	11.56	12.54
1.3	2.19	6.25	8.69	10.31	11.47

* En U\$S kg⁻¹

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

De acuerdo a lo presentado en la Figura 2, la respuesta de la soja al agregado de S como tiosulfato de amonio tiene relación con el nivel de S de SO₄⁻ del suelo al momento de la siembra.

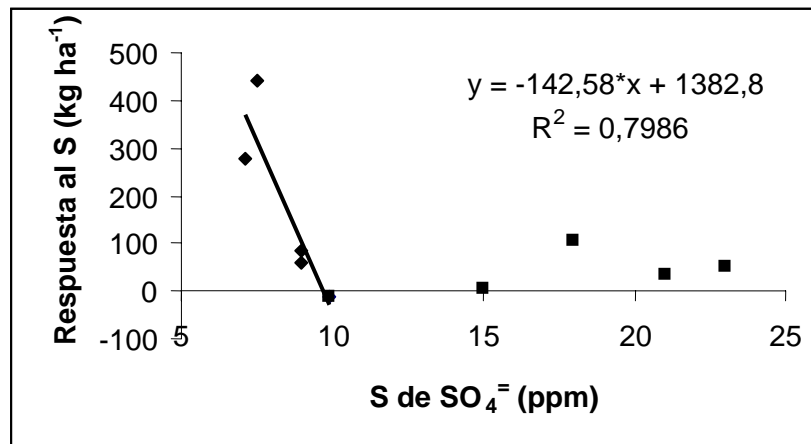


Figura 2: Respuesta en rendimiento de soja al agregado de S según nivel de S de SO₄²⁻ (ppm) del suelo a la siembra. Datos de 9 ensayos (2004-2007). * indica ajuste lineal significativo al 5% de probabilidad.

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 ppm de S de SO₄²⁻. 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 de SO₄²⁻ del suelo al momento de la siembra será de las 8,91 ppm. Estos son coincidentes con los planteados por García (2000) dado que este autor propone como umbral crítico a las 10 ppm.

En la Tabla 3, se puede observar el análisis de sensibilidad del nivel crítico de de S de SO₄²⁻ ante cambios en la relación insumo producto, el cual puede ser interpretado análogamente a lo planteado en la discusión de la oferta de fósforo.

Tabla 3: Análisis de sensibilidad del nivel crítico de azufre de sulfatos, según el precio neto de soja y el precio del tiosulfato de amonio.

\$ Soja* / \$ Azufre**	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
0.3	9.00	9.17	9.28	9.35	9.40
0.45	8.65	8.91	9.07	9.17	9.25
0.6	8.30	8.65	8.86	9.00	9.10
0.75	7.95	8.38	8.65	8.82	8.95
1	7.36	7.95	8.30	8.53	8.70

* En U\$S kg⁻¹

** En U\$S lt⁻¹ de tiosulfato de amonio



**Semiárido: un desafío para la Ciencia
del Suelo**

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

CONCLUSIONES

En virtud de los resultados obtenidos se concluye que, el nivel crítico a partir del cual la respuesta a la fertilización fosforada y azufrada depende de la relación de precios insumo / producto. No obstante, fue posible determinar umbrales, a partir de la respuesta física a la fertilización la cual estableció que los rendimientos se incrementan por debajo de las 18,43 ppm de P y de las 9,7 ppm de S de SO_4^{2-} .

BIBLIOGRAFIA

- 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).
- 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 Nº 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.
- Maddonni 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. Academic 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.