

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFATO EN SUELOS DEL SUDESTE BONAERENSE

N. Reussi Calvo¹, H. Echeverría² y H. Sainz Rozas^{1,2}

¹CONICET, ²Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce

hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Presentado en el XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs. San Luis, Mayo, 2008.

Introducción

En Argentina, se ha producido en los últimos años un proceso de intensificación de la agricultura que sumado a la falta de reposición de azufre (S) vía fertilizantes y/o abonos orgánicos han generado una disminución de la disponibilidad de S en los suelos. Para la región pampeana, varios trabajos han determinado respuestas al agregado de S en el cultivo de soja (Gutierrez Boem et al., 2007), maíz (Prystupa et al., 2006) y en trigo (Salvagiotti y Miralles 2007; Reussi Calvo et al., 2006b).

Para el diagnóstico de las deficiencias de S, al igual que para nitrógeno (N), se han propuesto la utilización de modelos de simulación y de métodos basados en el análisis de muestras de suelo (Blake Kalff et al., 2002), los cuales requieren que se evalúe la disponibilidad de S en el suelo. Algunos trabajos han obtenido una buena asociación entre la disponibilidad de S en suelo y la respuesta al agregado o la absorción de dicho nutriente por el cultivo (Zhao y McGrath, 1994; Reussi Calvo et al., 2006a). En general, los métodos basados en el análisis de muestras de suelo sólo contemplan la determinación del contenido de sulfato en superficie; sin embargo, considerando que para suelos de texturas finas existen evidencias de que los horizontes subsuperficiales pueden aportar sulfato (San Martín y Echeverría, 1995; Bloem et al., 2001), surge la necesidad de cuantificar los niveles de dicho nutriente en los estratos subsuperficiales del perfil del suelo.

Actualmente, en Argentina, la profundidad de muestreo para la determinación de la concentración de sulfato proviene de la recomendada para N disponible, la cual generalmente es de 0-20, 20-40 y 40-60 cm (Gonzalez Montaner et al., 1997). No obstante, para diferentes condiciones edafoclimáticas, Alvarez et al. (2001) determinaron una fuerte asociación entre la concentración de nitrato en el estrato de 0-20 cm y la concentración de nitrato en el estrato de 0-60 cm. Considerando que en suelos de aptitud agrícola moderadamente ácidos la movilidad de sulfato y de nitrato son similares (Scherer, 2001), se podría muestrear el estrato superficial (0-20 cm) con la finalidad de predecir la concentración de sulfato en profundidad. Lo mencionado, facilitaría los muestreos de suelo y permitiría hacer un uso más extensivo de los métodos de diagnóstico por parte de los productores. El objetivo de este trabajo fue evaluar la posibilidad de estimar la concentración de sulfato hasta los 60 cm de profundidad usando como variable predictiva la concentración de sulfato en la capa de 0-20 ó 0-40 cm.

Materiales y Métodos

Se realizaron 22 experimentos en el sudeste de la provincia de Buenos Aires desde 2001 hasta el 2007, para determinar la respuesta de los cultivos de verano (maíz y soja) y de invierno (trigo) a la fertilización con N, fósforo (P) y S. Los experimentos se condujeron bajo siembra directa y labranza convencional. Los suelos característicos de esta región son Argiudoles Típicos y Paleudoles Petrocálculos (Salazar Lea Plaza y Moscatelli, 1989). En cada experimento los tratamientos evaluados fueron un control y diferentes dosis de N, P y S, los cuales se aplicaron

en forma aleatorizada y con tres o cuatro repeticiones, dependiendo de cada sitio. A la siembra de los cultivos se determinó el contenido de S-sulfato en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm), pH y materia orgánica en superficie (0-20 cm). El S-sulfato se extrajo con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (Islam y Bhuiyan, 1998) y se determinó por turbidimetría con BaCl y Tween 80 como estabilizador (Johnson, 1987). La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (1934) y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua). En la Tabla 1 se muestra el valor promedio de S-sulfato y el rango de pH y de materia orgánica determinados en función del sistema de labranza y del cultivo en consideración.

La relación entre los contenidos de S-sulfato, en los distintos estratos del suelo, se analizó por regresión y correlación utilizando los procedimientos incluidos en el programa Statistical Analysis

1) Muestreos de suelo 0-20 ó 0-40 cm según precisión deseada.
Ej: Muestreo 0-20 cm a la siembra del trigo



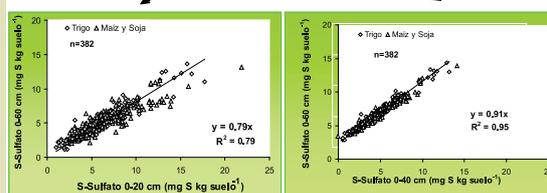
2) Análisis de las muestras
Ej: Valor = 9 mg kg⁻¹



3) Elección y uso del modelo de predicción de S-Sulfato de 0-60 cm
Ej: Modelo 0-20 cm ($y = 0.79x$): 9 mg kg⁻¹ x 0.79 = 7.13 mg kg⁻¹
Factor de conversión a kg ha⁻¹ (0-60 cm) = 7.2 (Densidad 1.2 Mg ha⁻¹)
Ej: 7.13 mg kg⁻¹ x 7.2 = 52 kg S-Sulfato ha⁻¹

Menor predicción

Mayor predicción



4) Diagnóstico
Ej: Disponibilidad a la siembra de trigo = 52 kg S-Sulfato ha⁻¹
Umbral = 30 kg S-Sulfato ha⁻¹
Diagnóstico = Suficiencia de S.

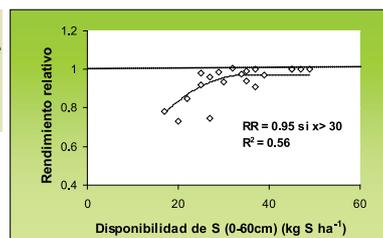


Figura 3. Esquema de integración y utilidad del modelo de estimación de la concentración de S-sulfato en los primeros 60 cm del suelo para el cultivo de trigo.

System (SAS Institute, 1988). La comparación del efecto del cultivo (verano- invierno), se realizó contrastando las ordenadas al origen y las pendientes de las correlaciones de S-sulfato de 0-20 ó 0-40 cm versus 0-60 cm por el test t (P= 0.05). Se realizaron intervalos de confianza (alfa= 0.05) para la estimación de la concentración de S-sulfato de 0-60 cm.

Resultados

En todos los cultivos analizados se determinó una estrecha asociación (P<0.001) entre la concentración de S-sulfato de 0-20 y 0-60 cm de profundidad, lo cual indicaría que la concentración de S-sulfato de 0-20 cm es una variable adecuada para predecir la concentración de dicho nutriente en los primeros 60 cm del suelo. Sin embargo, el valor predictivo del modelo obtenido para los cultivos de verano (maíz y soja) fue inferior que el determinado para trigo (R²= 0.68 y 0.88, respectivamente). En una experiencia realizada para la variable N-nitrato, Alvarez et al. (2001), obtuvieron una estrecha relación entre la concentración de nitrato en el estrato de 0-20 y 0-60 cm (R²= 0.89). Por otra parte, cuando en esta experiencia se utilizó como variable predictiva la concentración de S-sulfato de 0-40 cm, el ajuste del modelo obtenido mejoró de manera considerable tanto para los cultivos de invierno como para los de verano (R²= 0.97 y 0.94, respectivamente). Estos resultados indican que para situaciones en las cuales se desea lograr una mayor precisión en la estimación de la concentración de S-sulfato hasta los 60 cm, se debería utilizar como variable predictiva el contenido de S-sulfato hasta los 40 cm de profundidad.

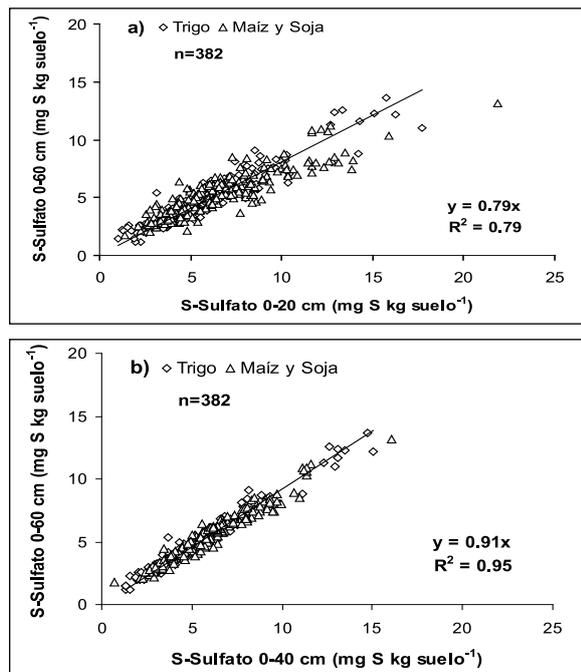


Figura 1. Relación entre la concentración de S-sulfato de 0-20 (a) y 0-40 cm (b) con la concentración S-sulfato de 0-60 cm de profundidad, para diferentes cultivos y situaciones de manejo (Reussi Calvo et al., 2008).

Por otra parte, cuando se realizó el análisis conjunto de los 22 experimentos, no se determinaron diferencias significativas entre las pendientes de las poblaciones de trigo y cultivos de verano (Fig. 1). Esto indicaría que no hubo efecto de la época del año (invierno-verano) sobre la estimación de la concentración de S-sulfato de 0-60 cm. A su vez, cuando se utilizó como variable predictiva la concentración de 0-20 cm, el modelo obtenido explicó un 79% de la variabilidad de la concentración S-sulfato de 0-60 cm (Fig. 1a), mientras que cuando se consideró como variable predictiva el estrato de 0-40 cm, el ajuste del modelo lineal aumentó de manera considerable (R²= 0.95, Fig. 1b). Lo mencionado, confirma la mayor capacidad predictiva del modelo que utiliza como variable el contenido de S-sulfato de 0-40 cm. Por otra parte, estos resultados sugieren que el aporte de S por mineralización no fue de gran magnitud hasta el momento de la siembra de los cultivos de verano, lo cual se atribuye a las bajas temperaturas del suelo para los meses de octubre y noviembre en el sur bonaerense (14.5 y 17.5°C, respectivamente), las cuales son aún menores en suelos bajo siembra directa (Domínguez et al., 2001).

Además, es válido remarcar que las pendientes de las relaciones obtenidas fueron menores a uno (Fig. 1), lo que indica que la concentración de S-sulfato disminuyó con la profundidad de muestreo (Fig. 2). De igual forma, la variabilidad de la concentración de sulfato disminuyó con la profundidad, lo que confirma la conveniencia de determinar el contenido de sulfato en los estratos superficiales (Fig. 2). Las concentraciones determinadas en el estrato de 0-20 cm se ubicaron por debajo del umbral de 10 mg kg⁻¹ usualmente reportado en la literatura internacional clásica (Jones, 1986). Considerando que en varios ensayos no se determinó respuesta al agregado de S, el umbral de 10 mg kg⁻¹ es demasiado conservador. Por otra parte, la concentración promedio de sulfato en el estrato de 20-40 y 40-60 cm representó el 78 y el 68% del estrato de 0-20 cm, respectivamente. Los resultados obtenidos sugieren una baja adsorción de S-sulfato hasta los 60 cm del perfil, la cual se podría explicar por un efecto conjunto del alto contenido de materia orgánica y del pH cercano a 6 de estos suelos (Tabla 1), propiedades que no favorecen la adsorción de dicho nutriente.

Los modelos obtenidos pueden ser utilizados como una herramienta para la estimación del contenido de S-sulfato en los primeros 60 cm de profundidad, cuya precisión dependerá de la profundidad de muestreo considerada (0-20 ó 0-40 cm). Por ejemplo para una concentración S-sulfato en los primeros 20 cm de 9 mg kg⁻¹, el

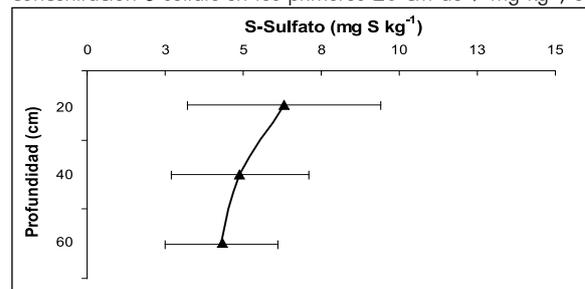


Figura 2. Concentración promedio de S-sulfato (n= 382) en suelo para los estratos de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Las líneas indican el desvío estándar.

Tabla 1. Concentración promedio de S-sulfato en diferentes profundidades, y rango de pH y de materia orgánica en superficie, para distintos sistemas de labranzas y cultivos. Valores entre paréntesis representan el número de muestras tomadas por cultivo y sistema de labranza en cada profundidad.

Sistema de labranza	Cultivo	Experimento	Materia orgánica (g 100 g suelo ⁻¹)	pH	S-sulfato (mg kg suelo ⁻¹)		
			0-20 cm		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Siembra directa	Soja	2 (54)	5.1-6.1	5.7-6.1	8.6 ± 2.6	6.5 ± 2.5	4.7 ± 2.7
	Maíz	4 (81)	4.8-5.7	5.6-5.9	6.8 ± 2.1	5.4 ± 2.1	5.6 ± 1.7
	Trigo	9 (124)	5.1-6.0	5.7-6.1	5.4 ± 2.9	4.1 ± 2.5	3.9 ± 2.3
Labranza convencional	Soja	1 (30)	5.1-5.5	5.7-6.3	9.5 ± 2.5	5.5 ± 3.0	4.4 ± 3.1
	Maíz	2 (45)	4.4-6.1	5.7-6.3	9.6 ± 3.9	5.6 ± 1.9	5.3 ± 1.6
	Trigo	4 (48)	4.7-6.0	5.7-6.2	5.9 ± 1.5	4.1 ± 1.8	4.0 ± 1.7

valor estimado de S-sulfato de 0-60 cm fue de 7.13 ± 0.26 mg kg^{-1} . Siguiendo el mismo razonamiento, para igual concentración de S-sulfato pero de 0-40 cm, el valor estimado de 0-60 cm es de 8.26 ± 0.14 mg kg^{-1} . Considerando que Alvarez et al. (2001) reportaron una sobrestimación de solo el 2% en la concentración de N-mineral en el estrato de 0-60 cm, por asumir igual densidad entre estratos de suelos, es factible para nuestras condiciones emplear una densidad promedio de 1.2 Mg m^{-3} para el perfil del suelo (Fabrizzi et al., 2005). Esto permite estimar la disponibilidad de S ($\text{kg S-sulfato ha}^{-1}$) en los primeros 60 cm del suelo, la cual para el ejemplo planteado sería de 51.3 y de 59.4 $\text{kg S-sulfato ha}^{-1}$ cuando se utiliza como variable predictiva el estrato de 0-20 y 0-40 cm, respectivamente. Esta información es relevante para efectuar el diagnóstico de la deficiencia de S para los cultivos. Por último, en la Figura 3 se presenta a modo de ejemplo y para el cultivo de trigo, un esquema resumido de los pasos a seguir desde el momento que se realiza el muestreo de suelo hasta la determinación del diagnóstico de la deficiencia de S (muestreo, determinación de S-sulfato, elección del modelo de predicción y diagnóstico).

Conclusion

Los resultados obtenidos en esta experiencia indican que es factible estimar la concentración de S-sulfato en los primeros 60 cm del suelo. Si bien el muestreo en superficie (0-20 cm) presenta ventajas desde el punto de vista práctico, es recomendable el muestreo del estrato de 0-40 cm para situaciones en las cuales se busca una mayor precisión. Por último, es válido mencionar que esta información debe ser validada previó a su utilización en regiones con suelos de texturas más gruesas y con menores contenidos de materia orgánica que los considerados en esta experiencia.

Agradecimiento:

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto INTA AERN5656 y de la UNMP AGR261/2008.

Bibliografía

Alvarez C.R., R. Alvarez y H.S. Steinbach. 2001. Predictions of available nitrogen content in soil profile depth using available nitrogen concentration in surface layer. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 32: 759-769.
 Blake Kalff M.M.A., F.J. Zhao y S.P. McGrath. 2002. Sulfur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. In: *Proceedings 503. International Fertilizer Society*. York, UK. pp. 1-23.
 Bloem E., S. Haneklaus, G. Sparovek y E. Schnug. 2001. Spatial and temporal variability of sulphate concentration in soils. *Communi-*

ication in Soil Science and Plant Analysis 32: 1391-1403.

Dominguez G.F., G.A. Studdert, H.E. Echeverría y F.H. Andrade. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19: 47-56.

Fabrizzi K.P., F.O. García, J.L. Costa y L.I. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research* 81: 57-69.

González Montaner J.H., G.A. Maddoni y M.R. Dinapoli. 1997. Modeling Grain Yield and Grain Yield Response to Nitrogen in Spring Wheat Crops in the Argentinean Southern Pampa. *Field Crops Research* 51: 241-252.

Islam M. y N. Bhuiyan. 1998. Evaluation of various extractants for available sulfur in wetland rice (*Oryza sativa*) soils of Bangladesh. *Indian Journal Agricultural Science* 58: 603-606.

Jones M.B. 1986. Sulfur availability indexes. In *Sulfur in Agriculture*, Vol 27. Tabatabai, M.A. ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 549-566.

Johnson G.V. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. P. 89-96. In J. R. Brown (ed.). *Soil testing: Sampling correlation, calibration and interpretation*. SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI.

Prystupa P., F. Gutierrez Boem, F. Salvaggiotti, G. Ferraris y L. Couretot. 2006. Measuring corn response to fertilization in the Northern Pampas. *Better Crops* 90: 25-27.

Reussi Calvo N., H.E. Echeverría y H.R. Sainz Rozas. 2006a. Comparación de métodos de diagnóstico de deficiencias de azufre en trigo. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas y CD 2 pág. Salta- Jujuy, Argentina.

Reussi Calvo N., H.E. Echeverría y H.R. Sainz Rozas. 2006b. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24: 77-87.

Reussi Calvo N., H.E. Echeverría y H.R. Sainz Rozas. 2008. Determination of sulfate concentration in soil: depth of sampling. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* (En prensa).

San Martín N.F. y H.E. Echeverría. 1995. Sulfato en suelos del sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*. 13: 95-97.

Salazar Lea Plaza J.C. y G. Moscatelli. 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Editorial Edipubli S.A, Buenos Aires, Argentina. pág. 525.

Salvaggiotti F. y D.J. Miralles. 2007. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*.

Sas Institute Inc. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.

Scherer H.W. 2001. Sulfur in crop production. *European Journal of Agronomy* 14:81-111.

Walkley A. y I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.

Zhao F.J. y S.P. McGrath. 1994. Soil extractable sulphate and organic sulphur and their availability to plants. *Plant and Soil* 164: 243-250. <

FERTILIZACIÓN FOSFATADA DEL CULTIVO DE SOJA EN SUELOS DE LA REGIÓN CENTRAL DE SANTA FE:

RESPUESTA FÍSICA DEL CULTIVO, EFICIENCIA DE USO DEL P Y NIVELES CRÍTICOS EN EL SUELO

Fontanetto, H.¹, O. Keller¹, D. Giailevra², L. Belotti² y C. Negro²

¹INTA, EEA Rafaela, Ruta 34 km 227, (2300) Rafaela, Santa Fe. ²Actividad Privada, (2300) Rafaela, Santa Fe. hfontanetto@rafaela.inta.gov.ar

Presentado en el XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs. San Luis, Mayo 2008.

Introducción

La soja es un cultivo en franca expansión en la Argentina y en todas sus regiones productivas durante la última década, siendo cultivada en zonas y en suelos muy variados; factores que junto a los altos precios internacionales, a la gran expansión de la siembra directa y la simplicidad del manejo de los materiales tolerantes a glifosato, determinaron ese notable crecimiento.

Lo mencionado precedentemente permitió que la producción nacional de soja llegue a 47 millones de toneladas, pero estos altos valores productivos conllevan también a una alta extracción de nutrientes del suelo. Es conocido

que la soja es el cultivo que más altos índices de cosecha tiene entre los cultivos agrícolas y particularmente de fósforo (P) (Arias et al., 1989; Berardo, 2000; Diaz Zorita et al., 2000; Echeverría y García, 1998; Fontanetto y Keller, 2006a; Gutiérrez Boem et al., 1998), lo que produjo las alarmantes disminuciones de los niveles de P extractable del suelo que se registró en todo el país (Darwich, 1980; Arias et al., 1989; Tasi, 2000; Quinteros et al., 2000; Fontanetto y Keller, 2005).

Para la zona central de Santa Fe se mencionan tasas de disminución de P disponible del suelo (Bray I) de 1,2 a 1,6 ppm/año (Fontanetto