

Uso de azufre en suelos contaminados con *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh y su incidencia en la roña de la papa (*Solanum tuberosum* L.), estado Mérida, Venezuela

*Use of sulfur in contaminated soils with **Spongospora subterranea** (Wallr.) Lagerh and its incidence on powdery scab of potato (**Solanum tuberosum** L.), in Mérida State, Venezuela*

YELINDA ARAUJO¹,
CLIFFORD PEÑA²,
ROSAIMA GARCÍA¹
y MARIO DÁVILA²

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Mérida,
correos electrónicos: yaraujo@inia.gov.ve; rgarcia@inia.gov.ve
² Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,
Instituto de Investigaciones Agropecuarias, correos electrónicos:
clifford@ula.ve; mariodavila@ula.ve

Recibido: 18-10-10 / Aceptado: 12-07-11

Resumen

El uso excesivo e indiscriminado de cal agrícola, ha producido un aumento del pH en los suelos del Páramo merideño, incrementando la incidencia y distribución de la enfermedad de la roña (*Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh) en papa, que favorece su incidencia a pH de 6,8-7. En este trabajo, se evaluó el uso del azufre elemental sobre el pH del suelo y la infección por roña en papa (*Solanum tuberosum* L.) en suelos con este patógeno. Se instaló un ensayo de campo en Misintá, municipio Rangel del estado Mérida. Se aplicaron los tratamientos: T0: 0 kg de S/ha, T1: 490 kg de S/ha, T2: 980 kg de S/ha, T3: 1460 kg de S/ha y T4: 1970 kg de S/ha. Se sembró papa de la variedad Granola y se realizó el manejo tradicional del cultivo. Adicionalmente, bajo umbráculo localizado en el IIAP-ULA en Santa Rosa, Estado Mérida, se llenaron bolsas de polietileno con 2 kg de suelo de Misintá y se aplicaron los tratamientos: T0: 0 kg de S/ha, T1: 250 kg de S/ha, T2: 500 kg de S/ha, T3: 750 kg de S/ha, T4: 1000 kg de S/ha y T5: 5000 kg de S/ha. En ambos ensayos, se determinó periódicamente el pH del suelo desde el inicio hasta los 135 y 180 días, respectivamente. El pH del suelo en campo, fue disminuido hasta en 0,4 unidades, por la aplicación de azufre en las dosis de 1460 y 1970 kg S/ha. Bajo umbráculo, una aplicación de 1000 kg/ha de azufre elemental, garantizó una disminución del pH del suelo estudiado, en 0,6 unidades. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos de papa y la infección por roña, sin embargo, la aplicación de azufre en campo, disminuyó la incidencia de roña en la papa, especialmente con las dosis de 980, 1460 y 1970 kg de S/ha, lo cual indica que el uso de esta enmienda, favoreció la producción de tubérculos sanos en los suelos estudiados.

Palabras clave: azufre, roña, papa, pH, Mérida.

Abstract

The excessive and indiscriminate use of agricultural lime has produced an increase of soil's pH at the Mérida Paramo, increasing incidence and distribution of powdery scab of potato (*Spongospora subterranea*), the fact is that this incidence, triggers 6,8-7 pH. In this work, we evaluated the elementary Sulphur use on soil pH and infection on powdery scab of potato (*Solanum tuberosum* L.) in soils with this pathogen. A farm experiment was installed in Misintá, Rangel Municipality, Mérida state. The treatments were applied: T0: 0 kg S/ha, T1: 490 kg S/ha, T2: 980 kg S/ha, T3: 1460 kg S/ha and T4: 1970 kg S/ha. Granola variety's potato was seeded and the traditional management of cultivation was made. Additionally, in shade house localized in the IIAP- ULA in Santa Rosa, Mérida State, polyethylene bags were filled with 2 kg of Misintá soil and treatments were applicable: T0: 0 kg S/ha, T1: 250 kg S/ha, T2: 500 kg S/ha, T3: 750 kg S/ha, T4: 1000 kg S/ha and T5's kg: 5000 kg S/ha. In both experiments, the pH of the soil was determined periodically from the beginning even the 135 and 180 days, respectively. The soil pH at field, was decreased even in 0.4 units by the sulphur application of 1460 and 1970 kg/ha. In the shade house, 1000 kg S/ha application of elementary sulphur, guarantees a decrease of the studied soil pH, in 0.6 units. There were no statistically significant differences in potato yields and powdery scab infection, however, the application of sulfur in the yield, specially the doses of 980, 1460 and 1970 kg S/ha, decreased the occurrence of powdery scab on potato, which indicates that the use of this amendment favored the production of healthy tubers at the studied soils.

Key words: Sulphur, powdery scab, potato, pH, Mérida.

1. Introducción

Los suelos de la zona alta de Mérida han sido explotados intensivamente por las actividades agrícolas, lo cual ha conducido a cambios en la fertilidad del suelo y degradación de los recursos naturales. Los procesos mas importantes involucrados son la pérdida de materia orgánica y nutrientes, también son frecuentes, los procesos de acidificación y alcalinización.

En este sentido, los suelos de la zona de Misintá eran originalmente ácidos, sin embargo, el uso excesivo e indiscriminado de cal, ha producido un incremento del pH de estos suelos, variando actualmente de pH neutros a moderadamente alcalinos (pH de 6-7,5).

Para la remediación de suelos alcalinos, se ha encontrado una respuesta favorable a la aplicación de azufre (Añez, 1996; Añez *et al.*, 1996; Martínez y Cordone, 1998 y 2000; Sierra *et al.*, 2007). En su forma elemental pura, el azufre es un sólido cristalino, amarillo, inerte e hidrosoluble. El azufre al ser aplicado al suelo esta sujeto a oxidación microbológica, a través de la cual se transforma a sulfato en condiciones aeróbicas, lo que conduce a una disminución del pH del suelo (Brady, 1990; Deng y Dick, 1990; Miyamoto, 1998). Algunas experiencias en el uso del azufre elemental en suelos alcalinos de San Juan de Lagunillas, indican disminuciones del pH del suelo de 7,33 a 6,63 en cuatro meses, con la incorporación al suelo de dosis de 1.000 kg/ha de azufre (Añez, 1996).

En algunos casos, es necesaria la modificación de las condiciones del suelo, para evitar el apareamiento de enfermedades bacterianas y fúngicas en los cultivos. Como es el caso de la roña o sarna polvorienta de la papa, enfermedad causada por el hongo *Spongospora subterránea* (Wallr.) Lagerh, que afecta la calidad de los tubérculos. En los últimos años, en las tierras altas productoras de papa, se ha incrementado la incidencia y distribución de esta enfermedad en varias localidades del estado Mérida, ocasionando pérdidas hasta del 100% del producto cosechado. La roña puede aparecer en baja incidencia en suelos con pH desde 4,7, aumentando a pH de 6,8-7 (García *et al.*, 2003).

En general, la mayoría de las investigaciones sobre el uso del azufre como enmienda, se ha realizado en suelos alcalinos y no en suelos ácidos. Por ello, no existen experiencias previas que per-

mitan establecer con cierta certeza, las dosis, momento y forma de aplicación del azufre elemental como enmienda agrícola, para la disminución del pH de suelos ligeramente ácidos a neutros, lo cual contribuiría al control de enfermedades fúngicas, como la roña. Debido a ello, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el uso como enmienda del azufre elemental sobre el pH del suelo y la incidencia de roña (*S. subterránea*) en papa (*Solanum tuberosum*) en suelos contaminados con este patógeno en el municipio Rangel del estado Mérida, Venezuela.

2. Materiales y métodos

2.1 Análisis de laboratorio

Se determinaron las características físicas y químicas del suelo donde se realizó el estudio. Se determinó la textura (Método de Bouyoucos), el pH (Método Potenciométrico), la conductividad eléctrica (Método Conductimétrico), los contenidos de materia orgánica (Método de Combustión Húmeda por Walkley y Black modificado), fósforo y potasio disponibles (Método de Olsen), calcio y magnesio disponibles (Método de Morgan modificado), de acuerdo al Manual de métodos y procedimientos de referencia para el análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad (Gilabert de Brito *et al.*, 1990).

2.2 Ensayo de campo

Se instaló un ensayo en condiciones de campo en Misintá, municipio Rangel del estado Mérida. Durante la duración del estudio (mayo-octubre de 2003), la temperatura y precipitación promedio mensual permanecieron entre 9,8-10,2 °C; 47-102 mm, respectivamente y la humedad relativa mensual varió entre 67-71 %.

El área total del ensayo fue de 150 m², se prepararon 15 parcelas de 3,3 m x 3 m y se aplicaron cuatro tratamientos con aplicación de azufre elemental en polvo (80 % S) y el control. El azufre fue incorporado en los primeros 10 cm del suelo. Se usó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y los siguientes tratamientos: T0: 0 kg de S/ha, T1: 490 kg de S/ha, T2: 980 kg de S/ha, T3: 1.470 kg de S/ha, T4: 1.960 kg de S/ha.

Al mes de la aplicación del azufre, se sembró papa de la variedad Granola, se fertilizó con 300 kg/ha

de la fórmula completa 12-12-17/2-8 SP. Adicionalmente se aplicó una dosis de 50 g de *Trichoderma* sp. en 80 ml de humus de lombriz. Se realizó el aporque a los 53 días de iniciado el ensayo, aplicando 7,5 kg/ha de la fórmula completa 12-12-17/2-8 SP. Se tomaron muestras de suelo quincenalmente, en cada una de las parcelas hasta la cosecha de la papa (realizada después de 135 días de iniciado el ensayo) y se les determinó el pH del suelo en una relación 1:2,5 suelo:agua. Adicionalmente, se pesó y clasificó la cantidad de papa cosechada en todas las parcelas, así como la infectada por roña. Los datos fueron analizados estadísticamente utilizando el programa STATISTICA 6.0, a través de análisis de varianza y la prueba de media de Tukey.

2.3 Ensayo en umbráculo

Se utilizaron bolsas de polietileno que fueron llenadas con 2 kg de suelo superficial (0-20 cm) de la misma área de Misintá, donde se realizó el ensayo de campo. Se establecieron cinco tratamientos de aplicación de azufre elemental en polvo (80 % S), mas el control. Se realizaron cinco repeticiones, con los siguientes tratamientos de aplicación de azufre: T0: 0 kg de S/ha, T1: 250 kg de S/ha, T2: 500 kg de S/ha, T3: 750 kg de S/ha, T4: 1.000 kg de S/ha y T5: 5.000 kg de S/ha. Se determinó el pH del suelo (2:1) al momento del establecimiento del ensayo (0 días), a los 15, 30, 60, 90, 120 y 180 días después de la aplicación de los tratamientos de azufre. El ensayo se realizó bajo umbráculo localizado en la Estación Santa Rosa del IIAP-ULA, Mérida, a una altura de 1920 m.s.n.m., con una precipitación promedio anual de 1982 mm, una temperatura media anual de 17,1 °C, con una máxima de 26 °C y una mínima de 8,2 °C y una humedad relativa promedio en el periodo del ensayo (junio a noviembre) de 88,4 %, variando de 75,2 a 93,3 %.

3. Resultados y discusión

Los análisis de laboratorio indicaron que el suelo bajo estudio presentaba un valor de pH de 6,9, el cual es neutro, con contenidos altos de fósforo, potasio, calcio y magnesio disponibles, así como de materia orgánica y con conductividad eléctrica normal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo de estudio.

Clase textural	pH agua	M.O.	P	K	Ca	Mg	C.E.
	1:2,5	%	mg/kg			dS/m	
Franca	6,9	8,6	537	1432	1979	611	0,3

3.1 Ensayo de campo

En la figura 1 se muestran los valores promedios de pH para cada tratamiento de aplicación de azufre. Se observa que el pH del suelo donde no se aplicó el azufre (0 kg S/ha) se mantuvo en 6,98, mientras que en todos los tratamientos de aplicación del azufre, ocurrió una disminución de los valores de pH del suelo. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas (ANOVA, $F=10,3$, $p<0,001$). Así, los valores de pH del suelo control (T0) fueron estadísticamente diferentes de los demás tratamientos (Tukey, $p<0,05$), a excepción del T1 (Tukey, $p>0,05$). El T1 (490 kgS/ha) presentó diferencias estadísticamente significativas con el T3 (1.470 kg/ha) y T4 (1.960 kg/ha) (Tukey, $p<0,05$).

Al final del ensayo, el pH del suelo disminuyó a 6,83 con la aplicación de 490 kg S/ha (T1); a 6,63 con la aplicación de 980 kg S/ha (T2); a 6,57 con la aplicación de 1470 (T3) y a 6,58 con la aplicación de 1.960 kg S/ha (T4). De esta forma, la aplicación de 1.470 kg S/ha (T3) y de 1960 kg S/ha (T4), resultaron en una disminución de aproximadamente 0,4 unidades de pH en estos suelos.

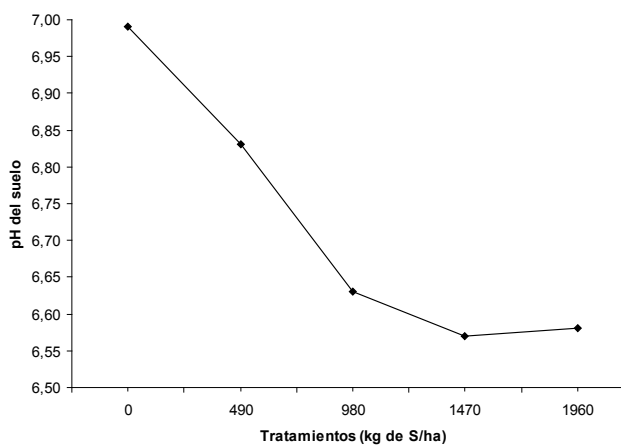


Figura 1. Valores promedios de pH por tratamiento de aplicación de azufre (kg S/ha) en el ensayo de campo en Misintá, municipio Rangel, estado Mérida.

La figura 2 muestra el efecto de los tratamientos de aplicación de azufre sobre el pH del suelo a lo largo del tiempo. Se observa que el control (T0) no presentó disminución del pH, mientras los demás tratamientos con aplicación de azufre, mantuvieron un comportamiento similar a lo largo del tiempo, disminuyendo el pH del suelo. Se presentaron diferencias significativas para los días de toma de muestras (ANOVA, $F=22,5$, $p<0,001$) y tratamientos de aplicación de azufre (ANOVA, $F=36,6$, $p<0,001$). Así, los valores de pH del suelo del control (T0) fueron estadísticamente diferentes de los demás tratamientos (Tukey, $p<0,05$). Similarmente, el tratamiento de mayor dosis de aplicación de azufre (T4), también presentó diferencias estadísticas con todos los tratamientos (Tukey, $p<0,05$).

De esta forma, el pH del suelo fue significativamente influido por la aplicación de azufre, principalmente, las dosis de 1.470 y 1.960 kg S/ha y este efecto fue observado fuertemente hasta los 90 días después de su aplicación. A partir de los 105 días del ensayo, el pH del suelo incrementó abruptamente.

Se infiere que en todos los tratamientos hubo una disminución del pH, probablemente por efecto de la aplicación del azufre, como consecuencia de la transformación a sulfato por la oxidación de los microorganismos. Se conoce que la tasa de oxidación del azufre elemental, es afectada por varios factores como la humedad y temperatura del suelo, la naturaleza de los microorganismos oxidantes, así como su disponibilidad de nutrientes y por el área superficial de las partículas de azufre expuestas a la acción de la biota del suelo (Añez, 1996). Otros autores consideran que la temperatura del suelo a los 10 cm de profundidad, es el factor deter-

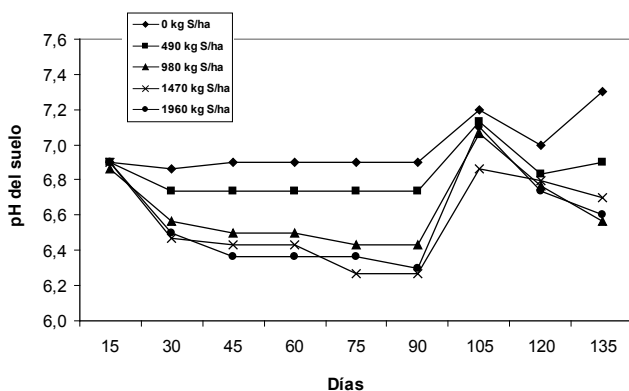


Figura 2. Efecto de los tratamientos de aplicación de azufre sobre el pH del suelo a lo largo de los 135 días de duración del ensayo.

minante en la tasa de oxidación media del azufre y en menor proporción, afectan la humedad, pH y tipo de suelo (Watkinson y Blair, 1993; Watkinson y Lee, 1994).

Posiblemente, el incremento en el pH del suelo a partir de los 105 días de iniciado el ensayo en el campo, podría deberse a un detrimento en la tasa de oxidación del azufre y a una disminución en la temperatura y humedad del suelo en este tiempo.

En el cuadro 2 se muestran los valores de rendimiento y porcentaje de infección por roña en la papa cosechada en el ensayo en campo.

Los rendimientos de papa e infección por roña, no presentaron diferencias estadísticamente significativas (MANOVA, $R=2,17$, $p>0,05$). Los mayores rendimientos de papa se produjeron en el tratamiento con la mayor dosis de aplicación de azufre (T4), con un valor promedio de 20 t/ha, seguido del tratamiento control (T0), con 18,3 t/ha y los restantes tratamientos de aplicación de azufre presentaron rendimientos inferiores al control. Con respecto a la infestación de la roña, se observa que en general, los valores de infestación fueron elevados para el T0 (19,9 %) y el T1 (14,2 %), siendo bajos para todos los demás tratamientos de aplicación de azufre: T2 (1,3 %), T3 (3,5 %) y T4 (3,7 %), lo cual coincide con las mayores disminuciones del pH del suelo.

En este sentido, a pesar de no haber encontrado diferencias estadísticamente significativas, la aplicación de azufre elemental en las parcelas de estudio, disminuyó la infección de la papa por la enfermedad de la roña. Por una parte, la aplicación del azufre elemental disminuyó hasta en 0,4

Cuadro 2. Rendimiento (t/ha) y % de incidencia de roña en papa en los tratamientos de aplicación de azufre en el ensayo de campo en Misintá, municipio Rangel, estado Mérida. T0= 0 kg S/ha, T1= 490 kg S/ha, T2= 980 kg S/ha, T3= 1.470 kg S/ha y T4= 1.960 kg S/ha.

Tratamiento (kg S/ha)	Rendimiento (t/ha)	Incidencia de roña (%)
T0	18,3 a	19,9 a
T1	17,3 a	14,2 a
T2	16,4 a	1,3 a
T3	17,9 a	3,5 a
T4	20,0 a	3,7 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre filas y columnas

unidades el pH del suelo y por otra parte, el azufre también actúa como un antifúngico, lo cual pudo contribuir a la disminución de la incidencia de la roña en la papa.

3.2 Ensayo en umbráculo

En la figura 3 se observa que los cambios en el pH del suelo no superan a la unidad hasta una aplicación de 1.000 kg S/ha. Sin embargo, con la dosis de 5.000 kg S/ha a los 120 días de la aplicación, el pH del suelo disminuye hasta por 3 unidades de pH.

Los resultados indicaron que transcurridos los 180 días de duración del ensayo, para disminuir 0,5 unidades de pH es necesario aplicar al suelo por lo menos 750 kg S/ha, para disminuir 0,6 unidades de pH es necesario aplicar 1.000 kg S/ha y con aplicaciones de 5.000 kg S/ha se obtuvo una disminución de 1,8 unidades de pH del suelo.

De acuerdo a estos resultados, para disminuir una unidad de pH de estos suelos en condiciones de umbráculo, sería necesario una aplicación de por lo menos 1.000 kg/ha de azufre elemental.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en el ensayo en campo con dosis similares de azufre, se observa que ocurrió una mayor disminución del pH del suelo en el ensayo en umbráculo, posiblemente por la mejor incorporación del azufre en el suelo de las bolsas plásticas y principalmente por las condiciones de mayor temperatura y mejor distribución de la humedad en las bolsas colocadas en el umbráculo del IIAP.

Para poder establecer con certeza, las dosis, momento y forma de aplicación del azufre elemental como enmienda agrícola, en la disminución del

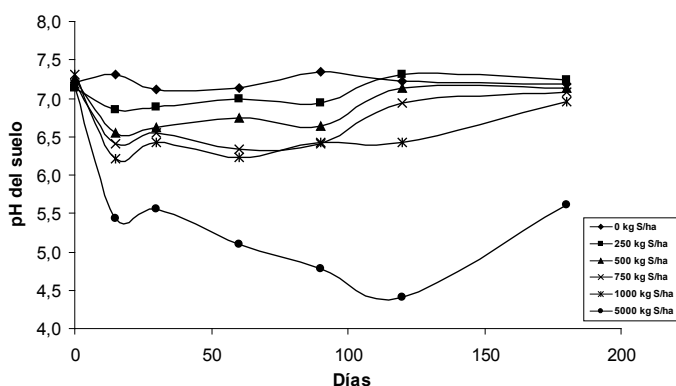


Figura 3. Efecto de la aplicación de azufre sobre el pH del suelo, a lo largo de los 180 días de duración del experimento en umbráculo.

pH de suelos ligeramente ácidos a neutros, es necesario realizar más experimentos que permitan afinar los resultados encontrados.

4. Conclusiones

El pH del suelo en el ensayo de campo, fue disminuido por la aplicación de azufre en las dosis de 1.470 y 1.960 kg S/ha, disminuyendo hasta en 0,4 unidades el pH del suelo. Bajo umbráculo, una aplicación de 1.000 kg/ha de azufre elemental, garantizaría una disminución del pH del suelo estudiado, en 0,6 unidades. A pesar de no haber encontrado diferencias estadísticamente significativas, la aplicación de azufre elemental en el ensayo de campo, disminuyó la incidencia de la roña en la papa, especialmente con las dosis de 980, 1.470 y 1.960 kg de S/ha.

5. Referencias Bibliográficas

- AÑEZ, B. 1996. Uso como enmienda del azufre elemental (So) en suelos alcalinos. *Revista Forestal Venezolana* 40(2): 63-68.
- AÑEZ, B., E. TAVIRA y C. FIGUEREDO. 1996. Producción de cebolla en respuesta a la aplicación de fertilizantes en suelos alcalinos. *Revista de la Facultad de Agronomía* 13: 509-520.
- BRADY, N. C. 1990. *The nature and properties of soils*. 10ª ed. Prentice-Hall. New York, USA. 590 p.
- DENG, S. y R.P. DICK. 1990. Sulfur oxidation and Rhodanese activity in soils. *Soil Science* 150: 552-560.
- GILABERT de BRITO, J., I. LOPEZ de ROJAS y R. PEREZ de ROBERTI. 1990. *Manual de Métodos y Procedimientos de referencia. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*. Versión preliminar. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 164 p.
- GARCÍA, R., Y. ARAUJO, J. SALAS, C. PEÑA, A. GARCÍA, J. GARNICA, L. DELGADO y Y. ESPINOZA. 2003. Estudio de Epifitotias de la roña de la papa (*Spongospora subterranea*) en el estado Mérida. Memorias del XVIII Congreso Venezolano de Fitopatología. 12-14 de Noviembre. Maracay, estado Aragua, Venezuela.
- MARTÍNEZ, F. y G. CORDONE. 1998. Fertilización azufrada en soya. Jornada de Azufre UEEA-INTA. Casilda, Santa Fe, Argentina. 123 p.

- MARTÍNEZ, F. y G. CORDONE. 2000. Avances en el manejo de azufre: novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soya y maíz. Jornada de actualización técnica para profesionales "Fertilidad 2000". INPOFOS, Cono Sur. 28-30 p.
- MIYAMOTO, S. 1998. Use of acids and acidulants on Alkali soils and water. In: *Handbook of soil conditioners substances that enhance the physical properties of soil. Part III. Mineral soil conditioners*. A. Wallace y R. E. Terry (eds.). Marcel Dekker. New York, USA. 217-255 p.
- SIERRA, C., A. LANCELOTI y I. VIDAL. 2007. Azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV Región de Chile. *Agricultura Técnica* 67 (2): 173-181.
- WATKINSON, J. H. y G. J. BLAIR. 1993. Modelling the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fertilizer Research* 35: 115-126.
- WATKINSON, J. K. y A. LEE. 1994. Kinetics of field oxidation of elemental sulfur in New Zealand pastoral soils and the effects of soil temperature and moisture. *Fertilizer Research* 37: 59-68.