

CARACTERIZACION DEL AZUFRE EN ALGUNOS MOLISOLES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

L. Mizuno, B. de Lafaille y L. G. de López Camelo

Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, U.B.A.
Av. San Martín 4453. 1417 Buenos Aires.

RESUMEN

Se estudiaron muestras superficiales y subsuperficiales de Molisoles de la provincia de Buenos Aires. El azufre total varió entre 205 y 363 ppm en los horizontes superficiales y estuvo constituido por azufre orgánico como fracción principal (más del 97 %). El azufre reducible osciló alrededor del 50 % del azufre total y el azufre extraíble fue una pequeña proporción que varió entre 1.26 y 2.71 % del total. Las principales formas de azufre aumentaron al pasar de Hapludoles énticos a Argiudoles típicos y evidenciaron una disminución en profundidad en los perfiles considerados (excepto el azufre de ácidos fúlvicos). Existió una alta correlación entre el azufre total, el carbono orgánico y el fósforo orgánico, siendo la relación carbono/azufre (C/S) inferior a 100.

Palabras clave: azufre, Molisoles.

SULFUR IN SOME MOLLISOLS OF BUENOS AIRES PROVINCE

ABSTRACT

Soil surface and subsurface samples of Mollisols from the Buenos Aires province were studied. Total S ranged from 205 to 363 ppm on surface horizons and organic S was the main component (97 %) of the total. Reducible S was about 50 %, and extractable S was only a small portion (1.26 to 2.71 % of total S). Forms of S showed a trend to increase from Entic Hapludolls to Typic Argiudolls, and decreased with profile depth, except fulvic acid S. Total S showed a high correlation with organic C and organic P and C/S ratio was always lower than 100.

Key words: sulfur, Mollisols.

INTRODUCCION

El azufre, importante macronutriente, es requerido por las plantas en cantidades semejantes al fósforo (Tisdale y Nelson, 1968). A pesar de ello, en nuestro país existe una notoria escasez de datos sobre contenidos y formas del azufre del suelo, lo que se evidencia a través de unos pocos trabajos publicados sobre el tema (Clarke, 1975; Ortiz, 1980; Noellemeyer y Daniel, 1985; Andriulo y Rosell, 1986; Mizuno, 1986; Mizuno et al., 1986; Mizuno et al., 1988), lo que podría tal vez expli-

carse por las dificultades que presentan los métodos analíticos.

El presente trabajo tuvo los siguientes objetivos: a) Estudiar las formas y contenidos de azufre en algunos suelos de la provincia de Buenos Aires. b) Observar la variación del azufre de acuerdo a la evolución en algunos Molisoles, que varían entre Hapludoles énticos del oeste de Buenos Aires a Argiudoles típicos del norte y sur de la misma provincia. c) Evaluar su distribución de acuerdo a la profundidad del perfil. d) Relacionar el contenido de azufre con otras propiedades de los suelos.

Tabla 1. Características generales de las muestras estudiadas.

Muestra	Horiz. Localidad	Clasificación	pH	%C	P total (mg/kg)	P inor. (mg/kg)	P org. (mg/kg)	Na	K	Ca	Mg	Cu tot. (mg/100g s)	Cu extr. (mg/100g s)	Zn tot. (mg/100g s)	Zn extr. (mg/100g s)	Mn tot. (mg/100g s)	Mn extr.(1) (mg/100g s)	Mn extr.(2) (mg/100g s)	Fe tot. (mg/100g s)	
Maritel	A1	T. Arroyos	Arg. típico	6.3	2.40	494	270	224	140	840	2150	420	35	2.2	1.30	1.8	810	216	62.5	31000
El Destino 1	A1	Pehuajó	Hapl. ént.	6.3	2.09	558	335	223	100	740	1920	350	33	2.1	88	1.7	540	68	31.4	24150
El Destino 2	A1	Pehuajó	Hapl. ént.	6.3	1.51	595	360	235	60	810	1380	210	20	1.4	80	2.4	590	30	20	20600
El Salto	A1	Salto	Arg. típico	6.2	1.97	437	236	201	110	660	2820	260	20	3.0	77	1.5	780	340	67	23600
La Dulce 1	A1	Lobería	Hapl. típico	6.6	2.52	413	185	228	120	540	3090	240	24	1.7	120	1.3	670	86	18	29700
La Dulce 1	B1	Lobería	Hapl. típico	6.9	1.37	313	165	148	120	290	2850	280	20	1.8	120	0.3	670	80	11	30500
La Dulce 1	B2	Lobería	Hapl. típico	7.1	0.65	216	115	101	130	290	2900	370	20	2.2	76	0.2	650	90	4.2	34700
La Dulce 1	B3	Lobería	Hapl. típico	7.3	0.27	141	110	31	130	310	2120	330	20	1.6	66	0.2	650	88	4.7	32200
La Dulce 1	C	Lobería	Hapl. típico	7.4	0.24	144	141	3	130	310	2070	310	20	1.4	59	0.1	670	72	4.9	31700
La Dulce 2	A1	Lobería	Arg. típico	5.9	3.35	409	157	252	100	760	2770	250	20	1.4	66	1.3	600	110	36.6	28.300
La Dulce 2	B1	Lobería	Arg. típico	6.6	1.19	279	150	129	120	500	3130	360	20	2.1	76	0.4	550	85	3.8	33000
La Dulce 2	B2t	Lobería	Arg. típico	6.9	0.69	167	131	36	140	460	2980	460	24	1.8	75	0.3	550	94	2.9	34800
La Dulce 2	B3	Lobería	Arg. típico	7.1	0.31	117	100	17	140	300	3060	400	20	1.4	72	0.6	570	96	1.8	35100

Referencias: Na-K-Ca-Mg = intercambiables con acetato de amonio. Cu-Zn-Fe = extraíbles con EDTA 0.02 M pH 8.2. Mn = extraíble con (1) EDTA 0.02 M pH 8.2. Mn = extraíble con (2) H₃PO₄ 0.1 N.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó el estudio de muestras superficiales provenientes de tres zonas ecológicas distintas de la provincia de Buenos Aires ubicadas en las localidades de Salto (Argiudol típico), Pehuajó (Hapludoles énticos), Tres Arroyos (Argiudol típico), incluyéndose además el estudio completo de dos perfiles de la zona de Lobería (Hapludol típico y Argiudol típico). Los datos generales de las muestras figuran en la Tabla 1.

Las determinaciones específicas de azufre del suelo fueron las siguientes: Azufre total (T): por fusión con carbonato de sodio (Kolthoff y Sandell, 1945; Bardsley y Lancaster, 1965) y determinación colorimétrica por azul de metileno (Johnson y Nishita, 1952). Azufre total (THClO_4): por digestión con ácido perclórico (Chapman, 1973) y colorimetría de azul de metileno. Azufre reducible (R): mediante el uso de una mezcla reductora conteniendo ácido yodhídrico y determinación colorimétrica del azul de metileno (Freney et al., 1969). Azufre extractable (E): extracción con fosfato diácido de potasio (Fox et al., 1964) y colorimetría igual a las anteriores. Azufre orgánico (O): representa la diferencia entre el azufre total y el azufre inorgánico, en este caso (E). Azufre orgánico de ésteres (OES): azufre reducible (R) menos azufre extractable (E). Azufre orgánico unido al Carbono (OUC): Azufre orgánico (O) menos el azufre de ésteres (OES).

Fraccionamiento del Azufre: según Mc Laren y Swift (1977, modificado), eliminando el sulfato inorgánico mediante fosfato de potasio. En esta solución se determina *azufre extraíble separado por centrifugación* (Ec). A continuación se extrae la materia orgánica del suelo con NaOH 0.1 N y se determinan en sus distintas fracciones: Azufre total de ácidos fúlvicos (AF); Azufre total de ácidos húmicos (AH); Azufre total de huminas (HU).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de las distintas determinaciones se encuentran resumidos en la Tabla 2.

Formas, contenidos y aspectos metodológicos

Azufre total: Los valores obtenidos están de acuerdo con los datos bibliográficos para suelos de pradera (Tabatabai y Bremner, 1972). Se observaron en todos los casos diferencias en la extracción de azufre total al utilizar dos métodos distintos. El procedimiento de digestión con ácido perclórico es

menos tedioso que el método de fusión, pero puede no descomponer todos los minerales constituyentes del suelo (Tabatabai, 1982). Asimismo no ataca totalmente algunos compuestos orgánicos como la metionina. No se ve una tendencia clara que explique si las diferencias obtenidas entre los dos métodos están relacionadas con alguna propiedad de las muestras consideradas ya que, por ejemplo, las mínimas diferencias porcentuales (menos del 20 %) entre suelos con ambos métodos, se encontraron en dos muestras superficiales con elevado contenido de materia orgánica (Maritel, La Dulce 2) y en dos horizontes subsuperficiales pobremente dotados (B3 de La Dulce 2 y B2 de La Dulce 1).

Azufre reducible: Osciló en la mayoría de los casos en alrededor del 50 % del azufre total, lo que concuerda con lo hallado por Ortiz en suelos del Sur argentino (1980). Esta es considerada la fracción más lábil del azufre del suelo, que se piensa está asociada con materiales fúlvicos y húmicos. Se efectuó la correlación con azufre de ácidos húmicos y de ácidos fúlvicos, encontrando coeficientes de correlación de $r = 0,63$ ($P < 0,05$) y $r = 0,67$ ($P < 0,05$) respectivamente.

Azufre extraíble: Al utilizarse soluciones conteniendo fosfatos se tiene la ventaja de extraer más sulfatos que con agua u otras soluciones salinas, ya que se desplaza también a los sulfatos adsorbidos, en parte disponibles, y además se obtienen valores que han demostrado estar relacionados con la extracción de azufre por las plantas (Jones et al., 1972).

En este caso se compararon el azufre extraíble obtenido mediante la metodología tradicional (E) y con centrifugación (Ec) como primer paso del fraccionamiento. En el segundo caso los valores obtenidos fueron menores, existiendo entre ambos métodos una elevada correlación ($r = 0,92$; $P < 0,001$). Es importante recalcar que esta fracción extraíble está directamente asociada con el azufre reducible (R), fracción considerada lábil dentro del azufre total ($r = 0,82$; $P < 0,01$) y que la misma representa una pequeña proporción, que oscila entre 1,26 y 2,71 % del total.

Azufre orgánico: El azufre orgánico es preponderante en los suelos de pradera y en este caso es una fracción mayor que un 97 % del azufre total.

Dentro de las dos principales fracciones de azufre orgánico, la determinación indirecta de *azufre orgánico de ésteres* (azufre que no está unido directamente al carbono: sulfatos orgánicos con uniones C - O - S, y que es reducida a H_2S con HI),

mostró valores porcentuales que oscilaron entre 48 y 77 % del azufre orgánico, correspondiendo el resto a *azufre unido al carbono* (que consiste principalmente en aminoácidos como metionina y cisteína, que pueden estar libres o formar parte de polipéptidos y proteínas).

Fraccionamiento del azufre: Se compararon los resultados obtenidos con dos tiempos de agitación con NaOH 0.1 M: 14 y 24 horas; siendo mayor la suma de ácidos fúlvicos y ácidos húmicos obtenida en el segundo caso, por lo que se siguió el método tradicional.

El *azufre de huminas* fue la fracción mayoritaria, mientras que la sumatoria de azufre de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos representó entre un 13.4 y 31.8 % del total. La proporción de huminas obtenidas y por consiguiente la suma de ácidos fúlvicos y ácidos húmicos depende del método de extracción de la materia orgánica utilizado. En este caso la extracción es suave por lo que la suma de ácidos fúlvicos más ácidos húmicos no resulta elevada y en cambio aumenta la fracción huminas. Al comparar la suma de las tres fracciones con el azufre orgánico total, se vio que las diferencias no fueron demasiado grandes (los valores extremos oscilaron entre -29 y +34 ppm, correspondiendo a valores porcentuales de -12 y +15 %), teniendo en cuenta los sucesivos pasos del fraccionamiento.

El estudio de la correlación entre el azufre orgánico total y la suma de fracciones evidenció una alta correlación entre ambos ($r = 0,96$; $P < 0,001$).

Relación con la evolución de los suelos

El azufre total, el azufre reducible, el azufre orgánico y en cierto modo el azufre de huminas, mostraron una tendencia creciente al pasar de Hapludoles énticos a Argiudoles típicos, mostrando un pico de crecimiento a nivel del Hapludol típico de Lobería, suelo con elevado porcentaje de materia orgánica en su horizonte superficial. (Fig. 1).

Dentro del contexto general, no resultaron demasiado marcadas las diferencias en azufre extractable que variaron entre 4 ppm para Hapludoles y 7 ppm para Argiudoles. Tampoco presentaron diferencias evidentes la fracción azufre de ácidos fúlvicos y el azufre de ácidos húmicos, que sólo elevó su proporción en el Argiudol típico de Lobería. La relación ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (AH/AF) resultó siempre mayor que la unidad, con un valor mínimo en el Hapludol típico y máximo en el Argiudol típico de Lobería.

El azufre orgánico de ésteres resultó mayor

al azufre unido al carbono en los Argiudoles típicos, con comportamiento variable en los Hapludoles.

Distribución en el perfil

Resultó lógico observar la disminución en profundidad del azufre total, azufre orgánico y sus fracciones azufre de ésteres y azufre ligado al carbono. (Tabla 2 y Fig. 2). El azufre extraíble, importante por su relación con la disponibilidad para las plantas, fue significativamente mayor en el horizonte A con respecto a los subyacentes. El azufre de ácidos húmicos fue predominante en los horizontes superficiales, mientras que el azufre de

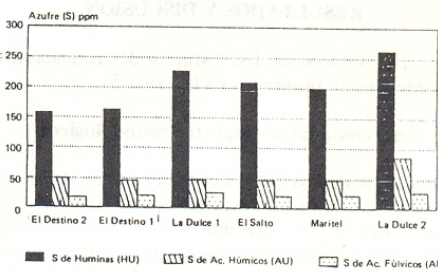
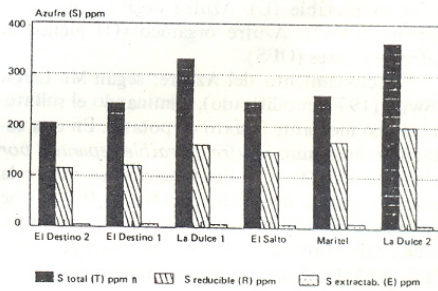
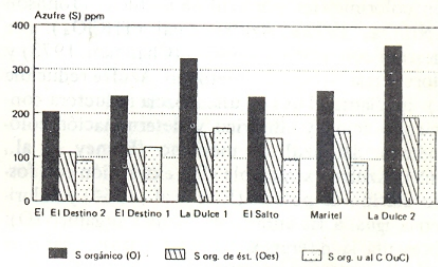


Fig. 1. Formas de S en relación con la evolución

Tabla 2. Promedio de azufre de las distintas determinaciones (ppm).

Muestra	T	THClO ₄	R	E	Ec	O	Oes	Ouc	AF	AH	AH/AF	HU
Maritel	262	237	169	7	5	255	162	93	21	48	2.3	199
El Destino 1	244	180	122	5	3	239	117	122	20	46	2.3	163
El Destino 2	205	155	114	4	2	201	110	91	16	49	3.1	157
El Salto	247	179	150	6	4	241	144	97	19	47	2.5	209
La Dulce 1 A1	330	254	162	6	5	324	156	168	26	48	1.85	228
La Dulce 1 B1	239	190	133	3	1.5	236	130	106	16	17	1.06	174
La Dulce 1 B2	186	149	130	4	2	182	126	56	23	20	0.87	145
La Dulce 1 B3	131	94	75	2.5	1.6	128	72	56	14	4	0.28	119
La Dulce 1 C	130	68	60.5	2.7	2	127	58	69	10	7	0.7	108
La Dulce 2 A1	363	307	201	6	4	357	195	162	27	86	3.2	262
La Dulce 2 B1	251	177	177	3.5	2	248	174	74	37	20	0.5	211
La Dulce 2 B2t	179	129	139	4	1.4	175	135	40	29	9	0.3	0.38
La Dulce 2 B3	129	104	86	3.5	1.6	126	83	43	14	3.5	0.25	125

Referencias: T = S total por fusión con Na₂CO₃. R = S reducible con HI. Ec = S extraíble con KH₂PO₄ c/centrif. Oes = S orgánico de ésteres = R - E. AF = S total en la fracc. ác. fúlvicos. HU = S total en la fracc. huminas. THClO₄ = S total por ataque con HClO₄. E = S extraíble con KH₂PO₄. O = S orgánico = T - E. Ouc = S orgánico unido al C = O - Es. AH = S total en la fracc. ác. húmicos.

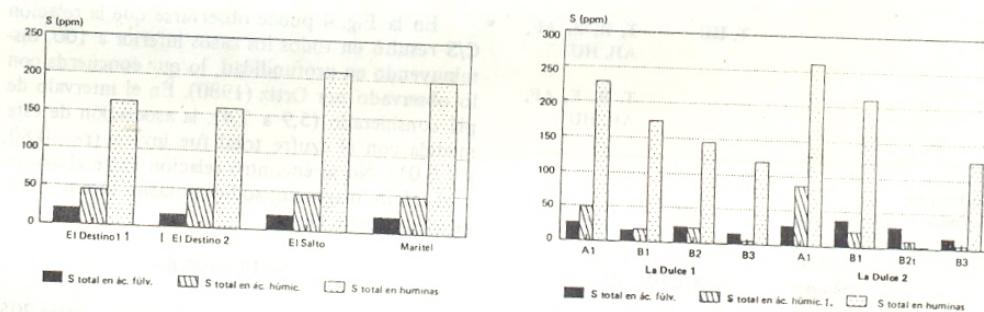


Fig. 2. Distribución del S en las fracciones de la Materia Orgánica.

ácidos fúlvicos mostró una tendencia a acumularse en los horizontes subsuperficiales, tal vez por la mayor movilidad inherente a los ácidos fúlvicos (Fig. 3).

En la Tabla 3 se resume parte del análisis es-

tadístico que demostró que el azufre total, el azufre reducible por HI y el azufre de ácidos húmicos mostraron en general diferencias estadísticamente significativas al nivel del 1 %, disminuyendo en profundidad.

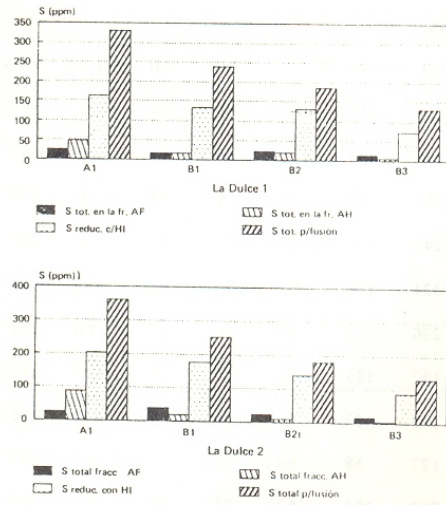


Fig. 3. Distribución de algunas formas de S en el suelo.

Tabla 3. Formas de S que presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.001$) entre horizontes.

Horizontes La Dulce 1				
	B1	B2	B3	
A1	T, R, E, AF, AH, HU	T, R, E, AH, HU	T, R, E, AF, AH, HU	
B1		T, HU	T, R, E, AF, AH, HU	
B2			T, R, E, AF, AH, HU	

Horizontes La Dulce 2				
	B1	B2	B3	
A1	T, R, E, AF, AH	T, R, E, AF, AH, HU	T, R, E, AF, AH, HU	
B1		T, AF, AH, HU	T, R, AF, AF, HU	
B2t			T, R, AF, AH	

T = S total. R = S reducible. E = S extraíble. AF = S total en ácidos fúlvicos. AH = S total en ácidos húmicos. HU = S total en huminas.

Relación con otras propiedades de los suelos

Presentaron una alta correlación los datos de azufre total y carbono orgánico ($r = 0,95$; $P < 0,01$) y azufre total y fósforo orgánico ($r = 0,85$; $P < 0,01$).

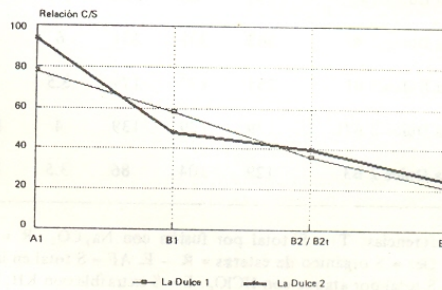
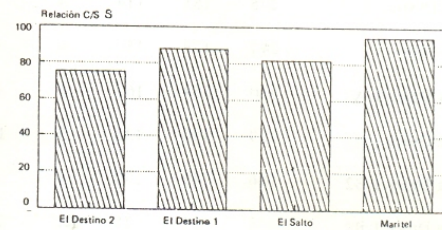


Fig. 4. Relación carbono/azufre

En la Fig. 4 puede observarse que la relación C/S resultó en todos los casos inferior a 100, disminuyendo en profundidad, lo que concuerda con lo observado por Ortiz (1980). En el intervalo de pH considerado (5,9 a 7,4), la asociación de esta medida con el azufre total fue inversa ($r = -0,80$; $P < 0,01$). No se encontró relación entre el azufre y el calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, cobre o cinc.

CONCLUSIONES

Los valores de azufre total variaron entre 205 y 363 ppm en horizontes superficiales, presentando valores más confiables el método de fusión. El azufre reducible con HI osciló alrededor del 50 % del azufre total y correlacionó directamente con el azufre extraíble con fosfato de potasio, que representó una pequeña parte del azufre total (1,26 a 2,71 %). El azufre orgánico fue preponderante (97 %) con proporciones variables de azu-

Tabla 2. Promedio de azufre de las distintas determinaciones (ppm).

Muestra	T	THClO ₄	R	E	Ec	O	Oes	Ouc	AF	AH	AH/AF	HU
Maritel	262	237	169	7	5	255	162	93	21	48	2.3	199
El Destino 1	244	180	122	5	3	239	117	122	20	46	2.3	163
El Destino 2	205	155	114	4	2	201	110	91	16	49	3.1	157
El Salto	247	179	150	6	4	241	144	97	19	47	2.5	209
La Dulce 1 A1	330	254	162	6	5	324	156	168	26	48	1.85	228
La Dulce 1 B1	239	190	133	3	1.5	236	130	106	16	17	1.06	174
La Dulce 1 B2	186	149	130	4	2	182	126	56	23	20	0.87	145
La Dulce 1 B3	131	94	75	2.5	1.6	128	72	56	14	4	0.28	119
La Dulce 1 C	130	68	60.5	2.7	2	127	58	69	10	7	0.7	108
La Dulce 2 A1	363	307	201	6	4	357	195	162	27	86	3.2	262
La Dulce 2 B1	251	177	177	3.5	2	248	174	74	37	20	0.5	211
La Dulce 2 B2t	179	129	139	4	1.4	175	135	40	29	9	0.3	0.38
La Dulce 2 B3	129	104	86	3.5	1.6	126	83	43	14	3.5	0.25	125

Referencias: T = S total por fusión con Na₂CO₃. R = S reducible con HI. Ec = S extraíble con KH₂PO₄ c/centrif. Oes = S orgánico de ésteres = R - E. AF = S total en la fracc. ác. fúlvicos. HU = S total en la fracc. huminas. THClO₄ = S total por ataque con HClO₄. E = S extraíble con KH₂PO₄. O = S orgánico = T - E. Ouc = S orgánico unido al C = O - Es. AH = S total en la fracc. ác. húmicos.

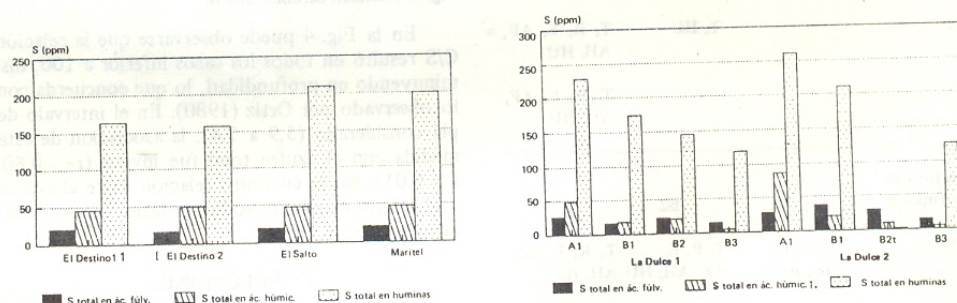


Fig. 2. Distribución del S en las fracciones de la Materia Orgánica.

ácidos fúlvicos mostró una tendencia a acumularse en los horizontes subsuperficiales, tal vez por la mayor movilidad inherente a los ácidos fúlvicos (Fig. 3).

En la Tabla 3 se resume parte del análisis es-

tadístico que demostró que el azufre total, el azufre reducible por HI y el azufre de ácidos húmicos mostraron en general diferencias estadísticamente significativas al nivel del 1 %, disminuyendo en profundidad.

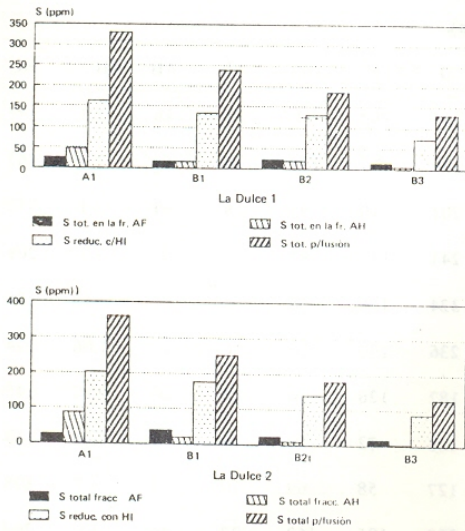


Fig. 3. Distribución de algunas formas de S en el suelo.

Tabla 3. Formas de S que presentaron diferencias estadísticamente significativas (P < 0.001) entre horizontes.

Horizontes La Dulce 1	B1	B2	B3
A1	T, R, E, AF, AH, HU	T, R, E, AH, HU	T, R, E, AF, AH, HU
B1		T, HU	T, R, E, AF, AH, HU
B2			T, R, E, AF, AH, HU

Horizontes La Dulce 2	B1	B2	B3
A1	T, R, E, AF, AH	T, R, E, AF, AH, HU	T, R, E, AF, AH, HU
B1		T, AF, AH, HU	T, R, AF, AF, HU
B2t			T, R, AF, AH

T = S total. R = S reducible. E = S extraíble. AF = S total en ácidos fúlvicos. AH = S total en ácidos húmicos. HU = S total en huminas.

Relación con otras propiedades de los suelos

Presentaron una alta correlación los datos de azufre total y carbono orgánico (r = 0,95; P < 0,01) y azufre total y fósforo orgánico (r = 0,85; P < 0,01).

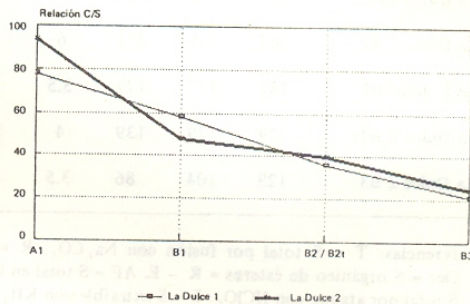
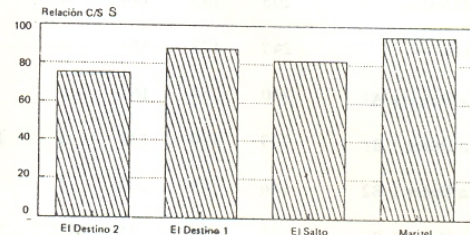


Fig. 4. Relación carbono/azufre

En la Fig. 4 puede observarse que la relación C/S resultó en todos los casos inferior a 100, disminuyendo en profundidad, lo que concuerda con lo observado por Ortiz (1980). En el intervalo de pH considerado (5,9 a 7,4), la asociación de esta medida con el azufre total fue inversa (r = -0,80; P < 0,01). No se encontró relación entre el azufre y el calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, cobre o cinc.

CONCLUSIONES

Los valores de azufre total variaron entre 205 y 363 ppm en horizontes superficiales, presentando valores más confiables el método de fusión. El azufre reducible con HI osciló alrededor del 50 % del azufre total y correlacionó directamente con el azufre extraíble con fosfato de potasio, que representó una pequeña parte del azufre total (1,26 a 2,71 %). El azufre orgánico fue preponderante (97 %) con proporciones variables de azu-

fre de ésteres y azufre unido al carbono. Al realizar el fraccionamiento de azufre, el azufre de huminas resultó la fracción mayoritaria con el método de extracción utilizado.

Las distintas formas de azufre mostraron, en general, una tendencia creciente en sus contenidos al pasar de Hapludoles énticos a Argiudoles típicos.

Las formas de azufre disminuyeron en profundidad, mostrando diferencias estadísticamente sig-

nificativas al considerar los distintos horizontes del perfil. El azufre de ácidos fúlvicos tendió a acumularse en los horizontes B.

Existió alta correlación entre el azufre total y el carbono orgánico, y entre el azufre total y el fósforo orgánico. La relación C/S fue inferior a 100, disminuyendo en profundidad. El azufre total se relacionó en forma inversa con el pH de los horizontes considerados.

REFERENCIAS

- Andriulo, A. y R. Rosell, 1985. Distribución de C-N-P y S orgánico y pH de un suelo bajo dos sistemas de labranza. Actas XI Cong. Arg. Ciencia del Suelo: 84.
- Bardsley, C. E. y J. D. Lancaster, 1965. Sulfur. En: Methods of soil analysis. C. A. Black (ed.). Am. Soc. Agr. T II: 1102-1116.
- Chapman, H. y P. Pratt, 1973. Azufre. En: Métodos para análisis de suelos, plantas y aguas. 1ra. ed. esp. Ed. Trillas. México: 122-129.
- Clarke, M., 1975. El vigor de la alfalfa en relación al contenido de macroelementos de la serie Pergamino, Rafaela, Roldán y Roca. Actas de la 7a. Reunión Arg. de la Ciencia del Suelo.
- Fox, R. L.; R. A. Olson y H. F. Rhoades, 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil test. Soil Sci. Soc. Proc. 28: 243-246.
- Freney, J. R.; G. E. Melville y C. H. Williams, 1969. Extraction, chemical nature and properties of soil organic sulphur. J. Sci. Food Agric. 20: 440-445.
- Jones, L. H.; D. W. Cowling y D. R. Lockejer, 1972. Plant available and extractable S in some soils of England and Wales. Soil Sci. 114: 104-114.
- Johnson, C. M. y H. Nishita, 1952. Microestimation of sulfur in plant materials, soils and irrigation waters. Anal. Chem. 24: 736-742.
- Kolthoff, I. M. y E. B. Sandell, 1945. Quantitative inorganic analysis. The Macmillan Company: 757-761.
- Mc Laren, R. G. y R. S. Swift, 1977. Changes in soil organic sulphur fractions due to the long term cultivation of soils. J. Soil Sci. 28: 445-453.
- Mizuno, I., 1986. S en suelos argentinos. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. (9185-1986). XL: 5-11.
- Mizuno, I.; E. Chamorro; B. Lafaille et al., 1986. Azufre del suelo. Efectos del manejo sobre el azufre de suelo. Rev. Fac. Agr. 7: 17-23.
- Mizuno, I., 1986. Azufre en suelos argentinos. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria XL (1985-1986): 5-11.
- Mizuno, I.; A. M. Villa; M. P. Giménez et al., 1988. Elementos mayores y menores en algunos perfiles de suelos de la provincia de Buenos Aires. Rev. Fac. Agr. 9: 9-20.
- Noellemeyer, E. y P. Daniel, 1985. Modificación de un método para la determinación de sulfatos en extractos de suelos. Ciencia del Suelo 3: 17-22.
- Ortiz R. E., 1980. Contenido de diversas formas de S orgánico en suelos de la precordillera patagónica. Actas del IX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 1: 255-266.
- Tabatabai, M. A. y J. Bremner, 1972. Forms of S, C and N and S relationships in Iowa soils. Soil Sci. 114: 380-386.
- Tabatabai, M. A., 1982. Sulfur. Methods of soil analysis. Part 2, Page A. L. (Ed.): 501-538.
- Tisdale, S. L. y W. L. Nelson, 1968. Sulfur and microelements in soils and fertilizers. Soil Fertility and Fertilizers, 29 ed. Mac Millan Co, New York: 288-356.
- Vogel, A., 1983. Química Analítica Cualitativa. Ed. Kapelus. Buenos Aires, 263 p.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó el estudio de muestras superficiales provenientes de tres zonas ecológicas distintas de la provincia de Buenos Aires ubicadas en las localidades de Salto (Argiudol típico), Pehuajó (Hapludoles énticos), Tres Arroyos (Argiudol típico), incluyéndose además el estudio completo de dos perfiles de la zona de Lobería (Hapludol típico y Argiudol típico). Los datos generales de las muestras figuran en la Tabla 1.

Las determinaciones específicas de azufre del suelo fueron las siguientes: Azufre total (T): por fusión con carbonato de sodio (Kolthoff y Sandell, 1945; Bardsley y Lancaster, 1965) y determinación colorimétrica por azul de metileno (Johnson y Nishita, 1952). Azufre total (THClO_4): por digestión con ácido perclórico (Chapman, 1973) y colorimetría de azul de metileno. Azufre reducible (R): mediante el uso de una mezcla reductora conteniendo ácido yodhídrico y determinación colorimétrica del azul de metileno (Freney et al., 1969). Azufre extractable (E): extracción con fosfato diácido de potasio (Fox et al., 1964) y colorimetría igual a las anteriores. Azufre orgánico (O): representa la diferencia entre el azufre total y el azufre inorgánico, en este caso (E). Azufre orgánico de ésteres (OES): azufre reducible (R) menos azufre extractable (E). Azufre orgánico unido al Carbono (OUC): Azufre orgánico (O) menos el azufre de ésteres (OES).

Fraccionamiento del Azufre: según Mc Laren y Swift (1977, modificado), eliminando el sulfato inorgánico mediante fosfato de potasio. En esta solución se determina *azufre extraíble separado por centrifugación* (Ec). A continuación se extrae la materia orgánica del suelo con NaOH 0.1 N y se determinan en sus distintas fracciones: Azufre total de ácidos fúlvicos (AF); Azufre total de ácidos húmicos (AH); Azufre total de huminas (HU).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de las distintas determinaciones se encuentran resumidos en la Tabla 2.

Formas, contenidos y aspectos metodológicos

Azufre total: Los valores obtenidos están de acuerdo con los datos bibliográficos para suelos de pradera (Tabatabai y Bremner, 1972). Se observaron en todos los casos diferencias en la extracción de azufre total al utilizar dos métodos distintos. El procedimiento de digestión con ácido perclórico es

menos tedioso que el método de fusión, pero puede no descomponer todos los minerales constituyentes del suelo (Tabatabai, 1982). Asimismo no ataca totalmente algunos compuestos orgánicos como la metionina. No se ve una tendencia clara que explique si las diferencias obtenidas entre los dos métodos están relacionadas con alguna propiedad de las muestras consideradas ya que, por ejemplo, las mínimas diferencias porcentuales (menos del 20 %) entre suelos con ambos métodos, se encontraron en dos muestras superficiales con elevado contenido de materia orgánica (Maritel, La Dulce 2) y en dos horizontes subsuperficiales pobremente dotados (B3 de La Dulce 2 y B2 de La Dulce 1).

Azufre reducible: Osciló en la mayoría de los casos en alrededor del 50 % del azufre total, lo que concuerda con lo hallado por Ortiz en suelos del Sur argentino (1980). Esta es considerada la fracción más lábil del azufre del suelo, que se piensa está asociada con materiales fúlvicos y húmicos. Se efectuó la correlación con azufre de ácidos húmicos y de ácidos fúlvicos, encontrando coeficientes de correlación de $r = 0,63$ ($P < 0,05$) y $r = 0,67$ ($P < 0,05$) respectivamente.

Azufre extraíble: Al utilizarse soluciones conteniendo fosfatos se tiene la ventaja de extraer más sulfatos que con agua u otras soluciones salinas, ya que se desplaza también a los sulfatos adsorbidos, en parte disponibles, y además se obtienen valores que han demostrado estar relacionados con la extracción de azufre por las plantas (Jones et al., 1972).

En este caso se compararon el azufre extraíble obtenido mediante la metodología tradicional (E) y con centrifugación (Ec) como primer paso del fraccionamiento. En el segundo caso los valores obtenidos fueron menores, existiendo entre ambos métodos una elevada correlación ($r = 0,92$; $P < 0,001$). Es importante recalcar que esta fracción extraíble está directamente asociada con el azufre reducible (R), fracción considerada lábil dentro del azufre total ($r = 0,82$; $P < 0,01$) y que la misma representa una pequeña proporción, que oscila entre 1,26 y 2,71 % del total.

Azufre orgánico: El azufre orgánico es preponderante en los suelos de pradera y en este caso es una fracción mayor que un 97 % del azufre total.

Dentro de las dos principales fracciones de azufre orgánico, la determinación indirecta de *azufre orgánico de ésteres* (azufre que no está unido directamente al carbono: sulfatos orgánicos con uniones C - O - S, y que es reducida a H_2S con HI),