

CORRELACION DE SOLUCIONES EXTRACTORAS DE AZUFRE EN SUELOS DE COSTA RICA^{1/*}

Gilberto Cabalceta **

Elemer Bornemisza **

ABSTRACT

Correlations among sulfur extractant solutions on Costa Rican soils.

This study was designed to evaluate the use of different S extractant solutions [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-CaCl}_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, KH_2PO_4 , modified Morgan and Mehlich 3], with 25 Costa Rican soils of each of the following orders: Ultisols, Vertisols, Inceptisols and Andisols. $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-CaCl}_2$ and $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ extracted very similar amounts of S from Ultisols. Mehlich 3 solution showed similar extraction values, and the highest, in all orders studied (42 mg S/L with Ultisols and Vertisols, 34 mg S/L with Inceptisols, 40 mg S/L with Andisols and 40 mg S/L for the average all the 100 soils studied). The amounts of S extracted by remaining solutions depended on the chemical nature of each solution and on soil order. The correlation level between the different extractant solutions was significant in about half the comparisons, ranging between $r=0.426^*$ and $r=0.962^{**}$. The highest values corresponded to the solutions containing phosphates, and occurred mainly with Vertisols and Ultisols.

INTRODUCCION

Para medir el S inorgánico del suelo fácilmente disponible a las plantas se utiliza una gran variedad de soluciones extractoras: H_2O , soluciones de sales como CaCl_2 , LiCl , MgCl_2 y NH_4Cl , soluciones que contienen P en cantidades de 500 mg/L, como $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y KH_2PO_4 , y soluciones ácidas como $\text{NH}_4\text{OAc-HOAc}$, NH_4OAc y Bray 1 (Anderson *et al.*, 1992; Blair, 1979). También se

utilizan tratamientos de calor, como por ejemplo 0,25M KCl a 40°C por 3 h; soluciones que contienen fosfatos y ácidos como $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 2M + HOAc, NaH_2PO_4 2M + HOAc, 0,01M HCl o soluciones alcalinas de NaOH y 0,5M NaHCO_3 pH 8,5. Se ha encontrado que el nivel de S extraído con NaHCO_3 es de 1,1 a 5,6 veces mayor que el extraído con soluciones que contienen fosfatos (Anderson *et al.*, 1992).

Se mencionan 6 factores que influyen en la cantidad de S inorgánico extraído según la solución extractora: 1) las soluciones que contienen P extraen niveles más altos de S que el agua o sales de Cl^- en suelos donde existe una alta adsorción de S, pero no en suelos con baja capacidad de adsorción; 2) grandes cantidades de S son extraídas si el pH de la solución es ajustado al pH del suelo, cuando este posee altas cantidades de coloides con carga variable; 3) el secado al aire del suelo

1/ Recibido para publicación el 1 de noviembre de 1993.

* Parte de la Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, presentada por el primer autor ante la Universidad de Costa Rica.

** Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

incrementa los niveles de S extraído en comparación con la extracción realizada en el suelo con la humedad original; 4) soluciones de sales como CaCl_2 y LiCl son preferidas al agua, ya que mantienen el suelo floculado y favorecen la filtración; 5) la presencia de materia orgánica soluble en la solución extractora, influencia el procedimiento analítico usado para medir la concentración de S en la solución; y 6) la relación suelo-solución y el tiempo de agitación influyen en el nivel de S extraído, siendo la relación más usada 1:5 y el tiempo de agitación de 1 h (Anderson *et al.*, 1992). Sobre las cantidades de S extraídas por las diferentes soluciones, algunos informes se resumen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cantidades de S extraídas con diferentes soluciones extractoras.

Solución	Ambito (mg S/L)	Referencia
NH_4OAC	6,0 - 8200	Ramamurthy y Raja, 1987
$\text{NH}_4\text{OAc-HOAc}$	7,0 - 59,0	Ramamurthy y Raja, 1987
Bray 1	6,0 - 56,0	Ramamurthy y Raja, 1987
CaCl_2	9,0 - 65,0	Ramamurthy y Raja, 1987
Agua fría	4,0 - 36,0	Ramamurthy y Raja, 1987
Agua caliente	22,0 - 100,0	Ramamurthy y Raja, 1987
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-HOAc}$	3,1 - 18,0	Hoeft <i>et al.</i> , 1973
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0,6 - 7,9	Hoeft <i>et al.</i> , 1973
CaCl_2	2,3 - 15,2	Hoeft <i>et al.</i> , 1973

En vista de la diversidad de criterios y el desconocimiento de su relevancia en suelos de Costa Rica, el objetivo de este trabajo fue correlacionar las 5 soluciones extractoras de S más usadas para, a través de los resultados obtenidos con cada una de ellas, poder predecir el valor equivalente con otra solución, en Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Andisoles de Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

Los muestreos de los 100 suelos en los 4 órdenes de suelos (25 en cada uno), las localidades donde se realizaron y la metodología utilizada en el laboratorio, se detallan en una publicación complementaria publicada anteriormente en esta misma revista (Cabalceta y Cordero, 1994).

Se realizaron análisis de correlación entre las cantidades extraídas con los diferentes métodos de análisis. Las correlaciones se hicieron para el total de suelos y por orden individual. En forma

complementaria se obtuvieron también correlaciones entre las cantidades de S y otras propiedades del suelo (pH, materia orgánica, arcillas, arcillas + limos).

RESULTADOS Y DISCUSION

Correlación de soluciones extractoras de S

Los coeficientes y las ecuaciones de correlación obtenidas entre las 5 soluciones extractoras se presentan en los Cuadros 2 y 3, respectivamente.

Del total de correlaciones, menos del 50% presentaron significancia, la cual se dio principalmente en los Ultisoles y Vertisoles, con valores mayores en los Vertisoles ($r > 0,878^{**}$) y menores en Ultisoles ($r > 0,426^{**}$). La solución KH_2PO_4 fue la que más frecuentemente correlacionó en forma significativa con las otras soluciones en estos 2 órdenes; en Inceptisoles y Vertisoles la solución Mehlich 3 no correlacionó significativamente con ninguna de las otras 4 soluciones utilizadas y en los Andisoles solamente con Morgan Modificado (Cuadro 2). Se considera que esta falta de correlación de Mehlich 3 con las soluciones extractoras de S tradicionales es debida a que su forma principal de extraer es por medio del fluoruro, que ataca los óxidos y por medio de su condición ácida, dada por el HOAc (pH 2,5).

En los Andisoles e Inceptisoles se obtuvieron el menor número de correlaciones significativas.

Esta situación impone limitaciones para la transformación de resultados obtenidos con una solución a otra, y obliga a una selección muy específica del método para cada orden con base en su correlación con rendimiento (Cabalceta y Cordero, 1994).

Contenidos de S extraídos

Ultisoles. Las soluciones que presentaron mayor extracción fueron Mehlich 3 y Morgan Modificada (Cuadro 4). La solución Mehlich 3 extrae S pues el F^- ataca los óxidos e hidróxidos presentes en el suelo, que poseen S adsorbido a las cargas positivas de estos materiales, así como una parte de S orgánico, debido a su condición ácida (pH 2,5), este proceso produjo el mayor promedio en relación con las otras soluciones (42,4 mg S/L). Además, con Mehlich 3 se encontró un menor error estándar (3,2) que con la solución Morgan Modificada (10,7) (Cuadro 4). Los valores altos de extracción obtenidos con Morgan Modificado se deben a que esta solución extrae S inorgánico (todo fácilmente soluble en

Cuadro 2. Coeficientes de correlación (r) de soluciones extractoras de S en 4 órdenes de suelos de Costa Rica y en general (100 suelos estudiados).

	Mehlich 3	Morgan mod.	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ +CaCl ₂	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	KH ₂ PO ₄
ULTISOLES					
Mehlich 3	---	0,855**	0,790**	0,253	0,5929**
Morgan mod.	---	---	0,786	0,102	0,545**
Ca(H ₂ PO ₄) + CaCl ₂			---	0,382	0,563**
Ca(H ₂ PO ₄) ₂				---	0,426*
KH ₂ PO ₄					---
INCEPTISOLES					
Mehlich 3	---	0,314	0,256	0,238	0,266
Morgan mod.	---	---	-0,150	-0,171	0,199
Ca(H ₂ PO ₄) + CaCl ₂			---	0,801**	0,679**
Ca(H ₂ PO ₄) ₂				---	0,735**
KH ₂ PO ₄					---
VERTISOLES					
Mehlich 3	---	0,319	0,297	0,303	0,367
Morgan mod.	---	---	0,896**	0,878**	0,901**
Ca(H ₂ PO ₄) + CaCl ₂			---	0,962**	0,954**
Ca(H ₂ PO ₄) ₂				---	0,953**
KH ₂ PO ₄					---
ANDISOLES					
Mehlich 3	---	0,598**	0,261	0,182	0,079
Morgan mod.	---	---	0,048	0,068	-0,065
Ca(H ₂ PO ₄) + CaCl ₂			---	0,390	0,163
Ca(H ₂ PO ₄) ₂				---	0,750**
KH ₂ PO ₄					---
GENERAL (100 suelos estudiados)					
Mehlich 3-	---	0,562**	0,350**	0,310**	0,422**
Morgan mod.	---	---	0,393**	0,325**	0,545**
Ca(H ₂ PO ₄) + CaCl ₂			---	0,731**	0,460**
Ca(H ₂ PO ₄) ₂				---	0,637**
KH ₂ PO ₄					---

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal y coeficientes de determinación (R^2) de 5 soluciones extractoras de S en suelos de Costa Rica.

Ecuación de regresión		Coeficiente de determinación (R^2)
ULTISOLES		
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$5,479 + 0,157 \text{ Morgan Mod.}$	0,619
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$-10,301 + 0,517 \text{ Mehlich 3}$	0,630
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$3,812 + 0,248 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,319
Morgan Mod.	$-78,666 + 2,777 \text{ Mehlich 3}$	0,723
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	$5,705 + 0,191 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,182
Morgan Mod.	$1,293 + 1,201 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,297
INCEPTISOLES		
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$7,167 + 1,634 \text{ CaCl}_2$	0,642
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$4,101 + 0,821 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,462
CaCl_2	$-0,818 + 0,435 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,540
VERTISOLES		
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$6,215 + 1,473 \text{ CaCl}_2$	0,926
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$16,537 + 0,591 \text{ Morgan Mod.}$	0,803
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	$-1,197 + 1,297 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,910
CaCl_2	$7,475 + 0,378 \text{ Morgan Mod.}$	0,770
CaCl_2	$-4,256 + 0,847 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,909
Morgan Mod.	$-22,257 + 1,857 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,811
ANDISOLES		
Morgan Mod.	$-11,459 + 1,371 \text{ Mehlich 3}$	0,358
CaCl_2	$0,466 + 0,310 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,562
CORRELACION DE 100 SUELOS		
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	$1,579 + 0,504 \text{ Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	0,548
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	$1,207 + 0,382 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,406
Morgan Mod.	$1,942 + 1,177 \text{ KH}_2\text{PO}_4$	0,297

Cuadro 4. Contenido de S extraíble y otras propiedades químicas en 4 órdenes de suelos de Costa Rica y a nivel general.

Ca (H ₂ PO ₄) ₂ -CaCl ₂	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Morgan mod.	Mehlich 3	KH ₂ PO ₄	Arcillas	Arc.+limos	M.O.	pH	
-----mg S/L-----					-----%				
ULTISOLES									
Promedio	11,6	11,7	39,0	42,4	31,40	46	68	5,9	5,2
Máximo	43,5	49,6	260,5	94,8	124,02	78	94	9,8	6,4
Mínimo	0,6	0,9	3,7	20,9	5,11	22	45	1,9	4,1
Desv. Est.	10,7	10,9	53,8	16,2	24,32	13	13	2,3	0,5
Error Est.	2,1	2,2	10,7	3,2	4,86	3	3	0,5	0,1
INCEPTISOLES									
Promedio	17,0	6,0	18,4	33,8	15,8	32	69	4,1	6,1
Máximo	33,8	13,6	52,3	68,2	30,3	55	98	9,9	7,4
Mínimo	9,3	0,8	0,4	18,3	6,6	14	28	1,0	5,0
Desv. Est	6,8	3,3	17,0	10,0	5,6	10	17	1,8	0,5
Error Est.	1,4	0,7	3,4	2,0	1,1	2	3	0,4	0,1
VERTISOLES									
Promedio	28,5	15,14	20,27	42,79	22,91	42	75	3,5	6,7
Máximo	104,7	65,93	148,86	103,26	78,81	70	85	5,9	7,8
Mínimo	8,2	3,7	0,4	30,7	7,6	19	51	1,6	5,5
Desv. Est	22,5	14,7	34,1	17,1	16,5	11	9	1,1	0,6
Error Est.	4,5	2,9	6,8	3,4	3,3	2	2	0,2	0,1
ANDISOLES									
Promedio	12,0	8,5	43,0	39,7	25,9	26	51	10,7	5,8
Máximo	25,9	22,5	99,9	71,5	61,5	76	96	24,0	6,3
Mínimo	2,6	1,3	3,6	25,7	8,9	2	19	4,1	4,6
Desv. Est	6,6	5,5	28,0	12,2	13,3	24	25	5,8	0,4
Error Est	1,3	1,1	5,6	2,5	2,7	5	5	1,2	0,1
GENERAL									
Promedio	17,3	10,3	30,0	39,6	23,9	36	66	6,1	5,9
Máximo	104,7	65,9	260,5	103,3	124,0	78	98	24,0	7,8
Máximo	0,6	0,8	0,4	18,3	5,1	2	19	1,0	4,1
Desv. Est	14,8	10,0	36,3	14,4	16,9	17	19	4,3	0,7
Error Est	1,5	1,0	3,6	1,5	1,7	2	2	0,4	0,1

agua y parte del adsorbido) y parte de S orgánico (Anderson *et al.*, 1992; Blair, 1979; Jones, 1986).

Entre las soluciones que contienen P, KH_2PO_4 (Cuadro 4) fue la que extrajo mayor cantidad de S, con un promedio de 31,4 mg S/L y ámbito entre 5,1 y 124,0 mg S/L, comparado con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ que tuvo un promedio de 11,7 mg S/L y un rango de 0,9 a 49,6 mg S/L. Sin embargo, el error estándar de KH_2PO_4 fue mayor (4,9) que con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (2,2). Estas 2 soluciones poseen 500 mg de P/L y se supone que extraen las mismas formas de S en los suelos, sin embargo, en este estudio y para este grupo, sus resultados fueron diferentes.

Inceptisoles. La solución Mehlich 3 no correlacionó en este orden de suelos con las otras soluciones extractoras, y fue la solución que extrajo el mayor valor promedio de 33,8 mg S/L (Cuadro 4).

De las soluciones que contienen sales, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$ extrajo las mayores cantidades de S (promedio de 17,0 mg S/L), mientras que $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ las menores (promedio de 6,0 mg S/L) (Cuadro 4). Con la solución KH_2PO_4 , el promedio, el rango, la desviación y el error estándar encontrados fueron bastante cercanos a los de la primera (Cuadro 4).

Vertisoles. En este orden de suelos la solución Mehlich 3 extrajo, como promedio (42,8 mg S/L) la mayor cantidad de S, con un error estándar de 3,4; todos estos valores fueron muy parecidos a los obtenidos en los Ultisoles (Cuadro 4).

Las soluciones $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$, como poseen iguales cantidades de P, deberían extraer las mismas formas de S en los suelos, pero fue más agresiva $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$ extrayendo S, con un promedio de 28,5 mg S/L, contra 15,1 mg S/L de la otra solución, pero con un error estándar mayor (Cuadro 4).

Andisoles. La solución Morgan Modificada fue la que extrajo las concentraciones mayores en este orden de suelo (43,0 mg S/L como promedio, Cuadro 4), debido a que Morgan modificado extrae S orgánico, y el contenido promedio de materia orgánica en suelos de este orden fue alta, de 10,7%. Mehlich 3 extrajo un promedio casi igual, de 39,7 mg S/L, ya que esta solución ataca los óxidos y libera el S adsorbido y, además, ataca un poco al S orgánico.

Al igual que en los Inceptisoles, de las soluciones que poseen sales la que extrajo más S fue KH_2PO_4 (promedio de 25,9 mg S/L), contra 8,5 mg S/L utilizando $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (Cuadro 4).

Correlación y contenido general de S en 100 suelos de Costa Rica

Cuando se evaluaron las 5 soluciones en todos los suelos estudiados, se obtuvieron pocas correlaciones significativas y en todo caso, las soluciones que contienen sales fueron las que más correlacionaron entre sí (Cuadro 2).

La solución Mehlich 3 fue la que extrajo en general la mayor concentración de S (promedio de 39,6 mg S/L) (Cuadro 4).

Los resultados obtenidos con la solución $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$ (ámbito entre 0,6 y 104,7 mg S/L, (Cuadro 4), fueron muy diferentes encontraron Pérez y Oelsligle (1975) con ese extractante, con un rango de 0,6 a 29,7 mg S/L, debido posiblemente a que esos autores utilizaron menor número de muestras y en su mayoría Andisoles. Con la solución $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (Cuadro 4), los valores encontrados (ámbito entre 0,8 y 65,9 mg S/L, Cuadro 4) fueron un poco más ajustados a los señalados por Pérez y Oelsligle (1975) para 30 suelos de Costa Rica con esa misma solución (1,9 a 42,6 mg S/L).

Valverde *et al.* (1978), en suelos del Atlántico Norte de Costa Rica, encontraron que las cantidades de S extraídas con KH_2PO_4 fueron mayores (26-87 mg/L) a las extraídas con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (4-55 mg/L), lo que se encontró también en este estudio. En otro estudio con suelos de la Vertiente Pacífica de Costa Rica, Bornemisza *et al.* (1978) determinaron un ámbito de S extraíble de 3,2 a 40 mg/L, utilizando KH_2PO_4 como solución extractora.

No se encontraron correlaciones significativas entre las cantidades de S extraídas con las diferentes soluciones extractoras y el pH, la materia orgánica, las arcillas y las arcillas+limos.

CONCLUSIONES

En los 4 órdenes de suelos estudiados, las soluciones que mejor correlacionan son aquellas que poseen fosfatos, particularmente en los Vertisoles.

Mehlich 3 presenta correlaciones muy pobres con los otros métodos de extracción, porque esta solución extrae, principalmente el S adsorbido, cuando el fluoruro ataca los óxidos, pero además extrae una parte del S orgánico, debido a su

condición ácida aportada por el HOAc. Sin embargo, es la solución que extrae valores promedios más estables en todos los órdenes, lo que es ventajoso porque se adapta a muchas condiciones de suelo; esto puede indicar que el S es adsorbido principalmente a materiales oxídicos, y que las cantidades de estos materiales son muy similares en los diferentes grupos de suelos de Costa Rica.

El paso siguiente es continuar con estudios de calibración a nivel de campo en los diferentes cultivos de interés agrícola. Se sugiere seguir investigando el uso de Mehlich 3, ya que esta solución ha demostrado en Estados Unidos y Canadá, que correlaciona en forma excelente con variables de rendimiento y propiedades de los suelos, así como por ser de muy fácil trabajo y manejo en el laboratorio.

RESUMEN

Se valoró el uso de diferentes soluciones extractoras de S [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-CaCl}_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, KH_2PO_4 , Morgan modificado y Mehlich 3] en Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Andisoles de Costa Rica, utilizando 25 suelos en cada orden. Se encontró que $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-CaCl}_2$ y $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ extrajeron cantidades muy parecidas de S en los Ultisoles. La solución Mehlich 3 presentó los promedios de extracción más altos y similares en todos los órdenes estudiados (42 mg S/L en Ultisoles y Vertisoles, 34 mg S/L en Inceptisoles, 40 mg S/L en Andisoles y 40 mg S/L en general cuando se evaluaron los 100 suelos estudiados). Las cantidades de S extraídas por las restantes soluciones dependieron de la naturaleza química de cada solución y del orden de suelo. Hubo correlación significativa en la mitad de las comparaciones entre las diferentes soluciones extractoras de S en los diferentes órdenes de

suelos, variando de $r=0,426^*$ a $r=0,962^{**}$; los valores mayores fueron para las soluciones que contienen fosfatos y ocurrieron principalmente en los Vertisoles y Ultisoles.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, G.; LEFROY, R.; CHINOIM, N.; BLAIR, G. 1992. Soil sulphur testing. *Sulphur in Agriculture* 16:6-14.
- BLAIR, G.L. 1979. Sulfur in the tropics. IFDC Technical Bulletin. T-12, 69 p.
- BORNEMISZA, E.; CASTILLO, F.A.; BALCAZAR, A.A. 1978. Disponibilidad de azufre en suelos de la Vertiente Pacífica de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2(2):137-145.
- CALBACETA, G.; CORDERO, A. 1994. Niveles críticos de azufre en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2): 163-174.
- HOEFT, R.G.; WALSH, L.M.; KEENEY, D.R. 1973. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:401-404.
- JONES, M.B. 1986. Sulfur availability indexes. In *Sulfur in agriculture*. Ed. by M.A. Tabatabai. Madison, Wisconsin, ASA. p. 549-566.
- PEREZ, A.; OELSLIGLE, D. 1975. Comparación de diferentes extractantes para azufre en suelos de Costa Rica. *Turrialba* 25(3):232-238.
- RAMAMURTHY, N.; RAJA, T. 1987. Evaluation of extractants to assess the availability of soil sulphur to *Coffea arabica* L. *J. Coffee Res.* 17(2):40-46.
- VALVERDE, E.; BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. 1978. Disponibilidad del azufre en algunos suelos del Atlántico norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2(2):147-155.