

# Retención de sulfatos en suelos de Costa Rica<sup>\*1/</sup>

EDGARDO RAMIREZ, DONALD D. OELSLIGLE\*\*

## ABSTRACT

*In view of the recent importance being given sulfur in the subhumid and humid tropics an exploratory study was conducted to determine sulfate retention capacities of different sulfate levels in 30 surface Costa Rican soils.*

*The different sites were selected to give a wide range in environmental conditions and soils although the study was not specific for any given area.*

*When the different soils were equilibrated with 2500  $\mu\text{g S/g}$  soil, amounts of sulfur retained varied from 340 to 1260  $\mu\text{g S/g}$  of soil.*

*The sulfate retention curves correspond to the type II as described by Brunauer, indicating multimolecular retention; however, nine soils gave a better fit to Langmuir isotherms and 21 were better explained by Freundlich isotherms. A positive test for alofane in most cases corresponded to those soils which fit Langmuir isotherms.*

*Sulfate retention was positively correlated with organic matter contents ( $r=0.62$ ), iron ( $r=0.39^{++}$ ), and aluminium oxides ( $r=0.48$ ) and negatively correlated with the sum of cations ( $r=0.54^{++}$ ) and with the exchangeable Ca ( $r=-0.54^{++}$ ); all significant at the level of  $P<0.01$ , however no relations was found with pH and clay content*

## Introducción

EL estudio de los aniones en el suelo se ve dificultado por la carencia de una metodología adecuada, y por la complejidad del fenómeno.

El sulfato no escapa a esta realidad, la que se ve aumentada por la poca atención que se le dio en el pasado por causas bien explicadas por Coleman(8).

La adsorción de sulfatos es un fenómeno en que al parecer no sólo ocurre lo que se denomina adsorción en coloidoquímica, sino también otras reacciones como absorción o penetración, precipitación y otras no precisadas hasta la actualidad; es por esa razón que

en este artículo se prefiere usar el término retención o sorpción

La retención de los sulfatos tiene que ver con la disponibilidad de este nutrimento para las plantas y con su distribución a través del perfil del suelo (18) y en última instancia su importancia radica en la economía de fertilizantes por cuanto un suelo capaz de retener a los sulfatos significa que éste lo guardará para suministrarlo a las plantas cuando lo necesiten y no se pierden en las aguas de drenaje.

Chao y colaboradores (12) en estudios con lisímetros determinaron que el movimiento del azufre en el perfil del suelo dependía de la cantidad de agua utilizada para la lixiviación, mientras que Barrow y colaboradores (4) encontraron en suelos de Australia que la retención aumenta en áreas con lluvias de más de 30 pulgadas; la explicación sería la baja del pH del suelo. También encontraron que la retención fue mayor en suelos derivados de rocas básicas (4).

El lavado de los sulfatos del suelo es afectado por el catión presente en la solución o en el complejo de cambio y el efecto es en el mismo sentido que la de la

\* Recibido para su publicación, 12 de enero de 1978

1/ Parte de la Tesis presentada por el autor principal ante la Escuela de Graduados, IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica, para optar el Grado de Magister Scientiae. Parcialmente financiado por la Universidad Estatal de Carolina del Norte Contrato AID csd, 2806.

\*\* Profesor de Suelos, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú, y Científico Residente, CATIE, Turrialba, Costa Rica (Visiting Assistant Professor North Carolina State University Raleigh, North Caroline), respectivamente. Dirección actual del Dr. Oelsligle: Box 328, Tilden, Nebraska 68781, U.S.A.

serie liotrópica de los cationes (18). Ramos (25), en suelos de Costa Rica, demostró que la pérdida de cationes por lavado es mayor cuando van con aniones móviles como el sulfato y el cloruro. Chao y colaboradores (15) determinaron que la magnitud de adsorción de los sulfatos sigue el orden:  $\text{CaSO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4$ , y la magnitud de retención de acuerdo al catión de saturación del suelo fue:  $\text{Al}^{+3} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^{+1}$ . La influencia del pH resultó ser mayor que la del catión (15).

Barrow (5) encontró que al aumentar la concentración de calcio en la solución aumentó la retención del sulfato, explicándolo como un aumento de los productos iónicos.

La retención de los sulfatos por el suelo es un fenómeno que depende del pH del medio, de la concentración de sulfatos en la solución y han sido sugeridos diversos mecanismos (1, 3, 7, 11, 13) que al parecer se complementan por cuanto algunos presentan evidencias irrefutables como es el de que la retención de los sulfatos aumenta el pH de la solución del suelo por acción de  $\text{OH}^-$  desalojados (7).

Para el estudio de la retención de sulfatos se acostumbra usar las isoterms de adsorción, habiéndose encontrado mejor ajuste a la isoterma de Freundlich (7, 14) debido probablemente a que el fenómeno es multimolecular; de allí la dificultad de calcular su retención máxima.

Estudios efectuados en suelos de América Central demuestran que el azufre es deficiente (23); en Costa Rica se han determinado suelos deficientes de azufre (9, 10, 20, 21) y en vista de que la retención de sulfatos es asociada a un buen suministro de este elemento a las plantas (2, 18) es que se realizó este estudio cuyo objetivo fue determinar la retención del azufre en suelos de Costa Rica y su relación con algunas propiedades físicas y químicas.

#### *Materiales y métodos*

Se colectaron 30 muestras de suelo de diferentes partes del país, de condiciones ecológicas y de uso de la tierra diferentes; la ubicación y algunas propiedades físicas y químicas han sido presentadas por Pérez y Oelsigle (24). En cada lugar se tomaron muestras cada 20 cm de profundidad; con las correspondientes a la primera (0-20 cm) se hizo el estudio de retención.

El estudio de retención se hizo empleando el método descrito por Chao y colaboradores (13) que consiste en pesar 5 gramos de suelo seco al que se le añade 25 ml de una solución de azufre o sulfato de concentración conocida, se agita 1 hora, se deja en reposo toda la noche y luego al día siguiente se agita otra hora. Se centrifugó y en el sobrenadante se determinó el azufre por turbidimetría según el método de Massoumi y Cornfield (22) modificado por Hoefst (19).

Las soluciones se prepararon en base al sulfato de potasio y las concentraciones probadas fueron: 0 — 50 — 100 — 200 — 300 — 400 — 500 ppm S

Las isoterms de retención se ajustaron a tres modelos matemáticos: lineal, cuadrático y logarítmico; también se hizo el ajuste a las isoterms de Langmuir y Freundlich, escogiéndose en base al  $R^2$ .

Los análisis químicos y físicos de los suelos se hicieron según los métodos indicados por Pérez y Oelsigle (24); los óxidos libres de hierro y aluminio se determinaron siguiendo el método descrito por Bornemisza e Igue (6).

#### *Resultados y discusión*

Se encontró correlación positiva significativa entre el azufre retenido por los 30 suelos a diferentes concentraciones de azufre en la solución ( $r = 0,70^{**}$ ,  $r = 0,96^{**}$ ). Al aumentar la concentración de azufre en la solución aumenta la cantidad de azufre retenido confirmándose que es un fenómeno dependiente de la concentración (16, 17 y 18).

Se correlacionó la cantidad de azufre retenido al equilibrar el suelo con la solución de 500 ppm de S con algunas propiedades químicas del suelo, encontrándose alta significación con la materia orgánica ( $r = 0,62^{**}$ ), el calcio cambiante ( $r = -0,54^{**}$ ) y con la suma de cationes cambiables ( $r = -0,54^{**}$ ), no así con el pH y la arcilla o arcilla más limo como encontraron otros autores (11, 18).

También se encontró alta correlación con los óxidos de aluminio ( $r = 0,48^{**}$ ) y significativa con los óxidos de hierro ( $r = 0,39^{**}$ ), lo que confirma una vez más la importancia de estos componentes del suelo en fenómenos de retención de aniones.

Resulta difícil explicar la ausencia de correlación con el pH del suelo; podría deberse a que en las muestras estudiadas interviene otro factor no considerado que enmascara el efecto de pH en la retención de azufre, la no relación con la arcilla o arcilla más limo puede deberse a que los suelos estudiados tienen minerales de arcilla con propiedades diferentes (13) o que la forma de dispersión utilizada no fue efectiva. Sin embargo resalta la importancia de la materia orgánica (18) que puede retener formas moleculares e iónicas de sulfato.

En el Cuadro 1 se presentan las cantidades de azufre retenido por cada suelo a diferentes niveles de azufre ofrecido. Estos resultados se ajustaron a 3 modelos matemáticos y los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) se presenta en el Cuadro 2.

Los 30 suelos se ajustan al modelo lineal con  $R^2$  que varían entre 0,76 (Suelo 15) y 0,98 (Suelo 28); sin embargo, 5 suelos se ajustaron mejor al modelo logarítmico (Suelos 3, 15, 23, 29 y 30) y 19 al cuadrático.

Para facilitar el estudio se agruparon los suelos en base a la cantidad de azufre retenido al equilibrarlos con la solución de máxima concentración (500 ppm S) obteniéndose seis grupos.

Cuadro 1.—Cantidades de azufre ofrecido y retenido por los suelos.

Suelo Nº	Azufre ofrecido $\mu$ g S/g de suelo					
	250	500	1000	1500	2000	2500
1	40	150	180	210	270	380
2	60	220	290	310	330	440
3	140	290	390	400	400	640
4	180	320	510	510	540	590
5	10	150	160	180	190	340
6	40	180	200	220	380	460
7	30	200	210	230	400	480
8	20	220	260	280	290	420
9	20	210	270	480	530	560
10	70	200	230	290	370	410
11	20	210	240	260	270	500
12	60	170	250	410	480	490
13	110	290	390	430	540	630
14	180	370	550	670	890	900
15	90	220	250	250	270	340
16	110	320	450	480	700	710
17	210	400	580	650	720	860
18	120	310	450	580	580	830
19	90	290	420	560	690	700
20	160	410	520	600	750	880
21	30	210	210	500	560	650
22	130	330	430	570	680	740
23	170	360	480	600	1300	1260
24	220	430	520	550	800	1260
25	20	140	200	360	390	470
26	10	180	210	290	550	690
27	100	360	410	470	660	950
28	60	180	220	370	490	620
29	30	100	120	500	530	590
30	180	360	550	620	910	930

Grupo 1: Suelos 1, 5, y 15.

Grupo 2: Suelos 2, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 25.

Grupo 3: Suelos 3, 4, 9, 13, 19, 21, 26, 28, y 29

Grupo 4: Suelos 16 y 22.

Grupo 5: Suelos 14, 17, 18, 20, 27 y 30

Grupo 6: Suelo 23 y 24

Los suelos así agrupados se ajustaron a los tres modelos matemáticos y de acuerdo al coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se encontró que los mejores ajustes fueron al modelo cuadrático, pero como en el modelo lineal también fueron significativos se escogió a éste para representarlos en la Figura 1 y se observa que los grupos se diferencian por la cantidad de azufre retenido y por la pendiente de la recta

Los suelos que más azufre retienen son del grupo 6 (suelo 23-Juan Viñas y suelo 24-Palmira) y los que retienen menos azufre son del grupo 1 (suelo 1 Caracol, suelo 5-Buena Vista y suelo 15-Escazú).

El hecho de que las isotermas de retención se ajusten bien a los modelos lineal, logarítmico y cuadrático, con coeficientes de determinación altamente significativos, puede deberse a que en muchos casos el logarítmico y cuadrático se alejan poco del lineal o que se está llegando a la capacidad de retención máxima.

Las isotermas se ajustan a la curva tipo II de Brunauer; en más de los dos tercios de las muestras la retención de azufre se incrementa poco al pasar de 100 a 200 ppm S en la concentración de la solución, lo que coincide con lo encontrado por Bornemisza y Llanos (7) en tres suelos de Costa Rica

Ajustando la retención de azufre a las isotermas de Langmuir y Freundlich se encontró que nueve de

Cuadro 2.—Coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de la retención de sulfatos ajustados a tres modelos matemáticos y de las isotermas de Langmuir y Freundlich, de los 30 suelos estudiados.

Suelo Nº	Modelo Matemático			Isoterma de Retención	
	Lineal	Logarítmico	Cuadrático	Langmuir	Freundlich
1	0,926	0,892	0,927	0,383	0,845
2	0,840	0,843	0,871	0,721	0,760
3	0,830	0,882	0,830	0,843	0,829
4	0,792	0,915	0,934	0,994	0,902
5	0,785	0,740	0,788	0,104	0,641
6	0,916	0,873	0,920	0,080	0,796
7	0,897	0,823	0,899	0,001	0,725
8	0,772	0,737	0,795	0,010	0,571
9	0,905	0,847	0,964	0,149	0,726
10	0,933	0,914	0,949	0,877	0,875
11	0,785	0,760	0,788	0,029	0,605
12	0,936	0,961	0,983	0,465	0,939
13	0,931	0,925	0,950	0,913	0,857
14	0,948	0,976	0,982	0,968	0,951
15	0,760	0,812	0,791	0,941	0,751
16	0,912	0,919	0,942	0,807	0,831
17	0,930	0,963	0,963	0,975	0,948
18	0,929	0,942	0,936	0,828	0,879
19	0,923	0,923	0,983	0,672	0,851
20	0,941	0,930	0,953	0,922	0,812
21	0,933	0,889	0,942	0,151	0,784
22	0,945	0,948	0,979	0,951	0,905
23	0,901	0,937	0,904	0,301	0,864
24	0,886	0,899	0,943	0,644	0,828
25	0,959	0,910	0,975	0,172	0,847
26	0,944	0,851	0,958	0,309	0,763
27	0,916	0,891	0,928	0,432	0,718
28	0,983	0,962	0,985	0,110	0,936
29	0,896	0,934	0,904	0,342	0,885
30	0,952	0,976	0,967	0,918	0,952

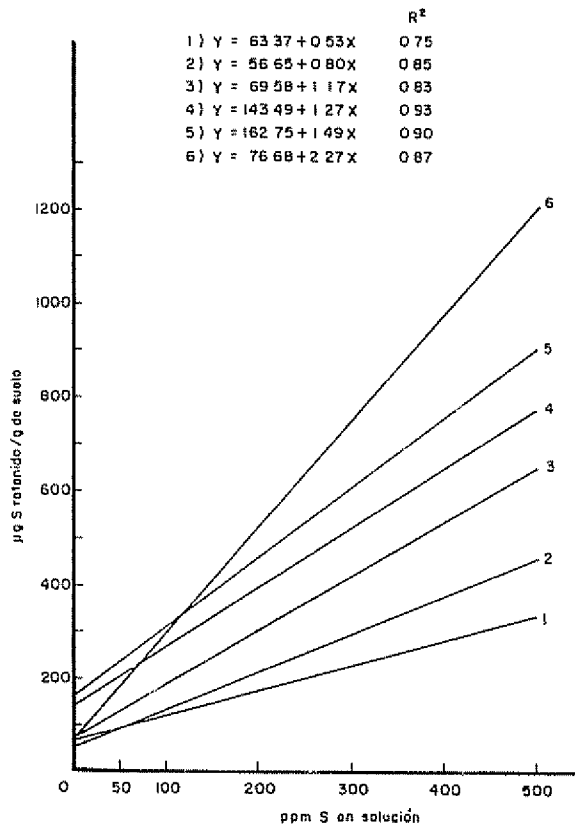


Fig. 1—Retención de  $SO_4$  en suelos agrupados en base a las cantidades retenidas al nivel de 500 ppm (2500  $\mu$  g S/g de suelo)

ellos se ajustaron a la primera y 21 a la segunda (Cuadro 2). Sin embargo, en todos los casos en que el ajuste es mejor o la isoterma de Langmuir lo es también a la de Freundlich, lo inverso no se cumple en todos los casos.

De los nueve suelos que se ajustaron a la isoterma de Langmuir, siete de ellos tuvieron isotermas de retención con tendencia cuadrática y dos logarítmica y al realizar la prueba cualitativa para la determinación de alofana, tres dieron reacción rápida (suelos 3, 4 y 22), tres reacción media (suelos 13, 14 y 17) y en tres fue negativa (suelos 10, 15 y 20), lo que podría indicar de que los materiales amorfos tienen capacidad limitada de retención de azufre, y en los tres casos en que no se encontró alofana, el pH alto (6,2 - 5,7) o el contenido bajo en materia orgánica (4,8%) podrían explicar la tendencia a la saturación.

Por otra parte, estos suelos que se ajustan a la isoterma de Langmuir al parecer son los más viejos y los minerales de arcilla tienen capacidad definida de retención de azufre.

El ajuste a la isoterma de Langmuir permitió calcular la retención máxima (b) y la constante de energía de retención (K), (Cuadro 3) en el que se ve que

Cuadro 3.—Retención máxima de azufre (b) y constante de energía de retención (K) en los 9 suelos que se ajustan a la isoterma de Langmuir.

Suelo No	$\frac{1}{kb \times 10^4}$	$\frac{1}{b}$	$k \times 10^{-4}$	$\frac{\mu g S / 100g}{b}$	suelo $R^2$
3	0,406	0,016	0,039	62,5	0,843
4	0,189	0,016	0,085	62,5	0,994
10	1,187	0,016	0,013	62,5	0,877
13	0,561	0,012	0,021	83,3	0,913
14	0,247	0,009	0,036	111,1	0,968
15	0,717	0,027	0,038	37,0	0,941
17	0,168	0,011	0,065	90,9	0,975
20	0,296	0,010	0,034	100,0	0,922
22	0,460	0,010	0,022	100,0	0,951

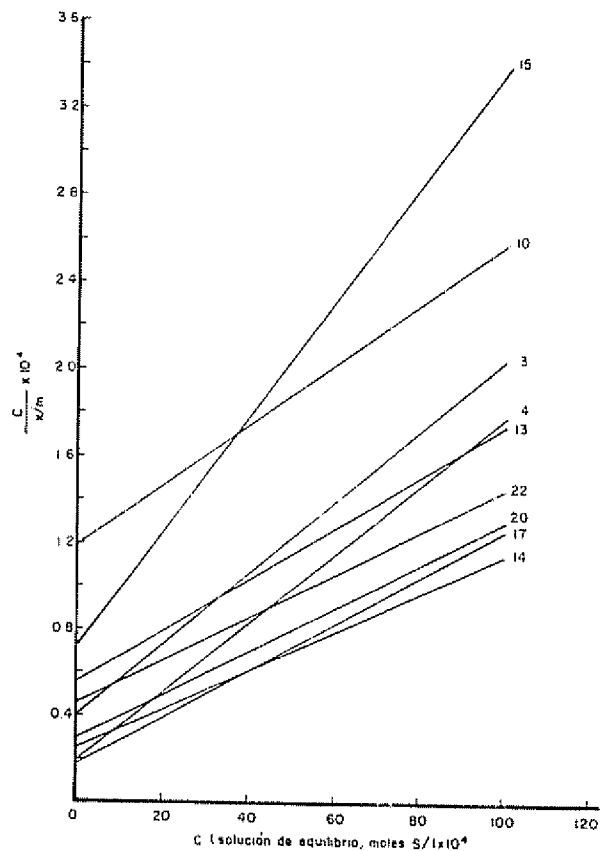


Fig. 2—Isotermas de retención de azufre de Langmuir de nueve suelos de Costa Rica.

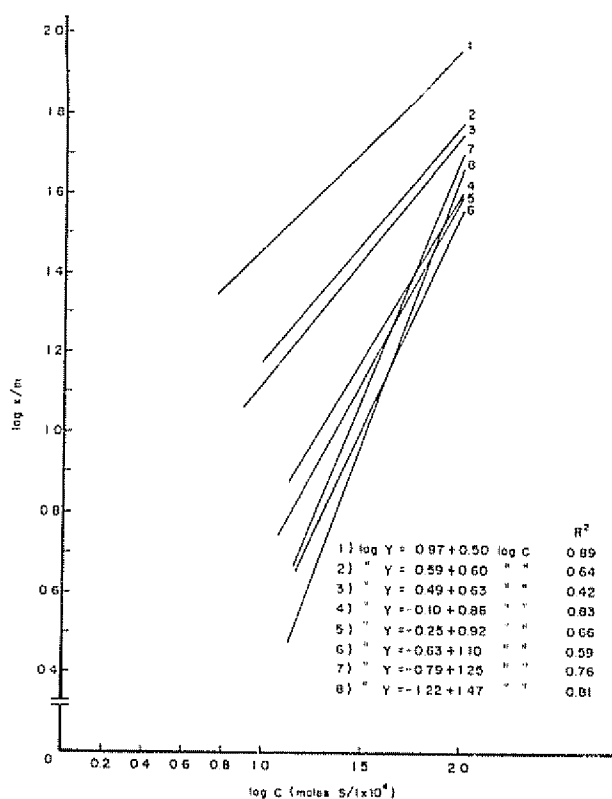


Fig. 3—Isotermas de retención de azufre de Freundlich para suelos agrupados.

el que mejor se ajusta es el suelo 4 ( $R^2 = 0,994$ ) y la cantidad de azufre retenido varía entre 740 y 2222 kg S/ha para el suelo N° 15 (Escazú) y N° 14 (Colonia Blanca) respectivamente. La constante de energía de retención ( $K$ ) varía entre  $0,013$  y  $0,085 \times 10^{-4}$  y las pendientes de la ecuación de  $0,010$  a  $0,027$  (Cuadro 3, Fig. 2) correspondiendo la mayor al suelo con menor retención máxima.

Con los 21 suelos que se ajustaron mejor a la isoterma de Freundlich se hizo una agrupación tomando como base las pendientes de las ecuaciones y se presentan en la Fig. 3, donde se ve que el ajuste de los grupos va de  $R^2=0,42$  (grupo 3 a  $R^2=0,89$  (grupo 1), o sea que en algunos casos la isoterma de Freundlich no explica bien la retención de azufre en suelos agrupados; sin embargo, el que el 70 por ciento de los suelos se ajusten a esta isoterma está más de acuerdo a lo determinado por Bornemisza y Llanos (7) en tres suelos de Costa Rica y por Chao y colaboradores (14) en suelos de Oregón.

En los 21 suelos también se hizo la prueba cualitativa de alofana encontrándose en tres, reacción rápida, en tres, reacción media y en las 15 restantes la prueba fue negativa. Esto puede indicar una vez más que los materiales amorfos tienen capacidad limitada

de retención de sulfatos porque aquellos que dieron reacción rápida (suelos 18, 23 y 24), tienen al mismo tiempo los más altos contenidos de materia orgánica y ésta puede ser la que participe más en la retención.

#### Literatura citada

- AYLMORE, L. A. G. *et al.* Adsorption and desorption of sulfate ions by soil constituents. *Soil Science* 103 (1): 10-15 1967
- BARROW, N. J. Studies on extraction and availability to plants of adsorbed plus soluble sulfate. *Soil Science* 104(4):242-249 1967
- Studies on the adsorption of sulfate by soils. *Soil Science* 104(5): 342-349 1967
- SPENCER, K. y MacARTHUR, W. M. Effects of rainfall and parent material on the ability of soils to adsorb sulfate. *Soil Science* 108(2):120-126. 1969
- Influence of solution concentration of calcium on the adsorption of phosphate, sulfate and molybdate by soils. *Soil Science* 113(3):175-180 1972
- BORNEMISZA, E. e IGUE, K. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. *Turrialba* 17(1):23-30 1967
- y LLANOS, R. Sulfate movement, adsorption and desorption in three Costa Rican soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 31(3):356-360. 1967
- COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. *Soil Science* 101(4): 320-339. 1966
- CORDERO, A. y SALAS, J. Evaluación de la fertilidad de tres suelos aluviales de Costa Rica mediante el método de las microparcels de maíz. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1971 29 p
- Problemas de fertilidad de algunos suelos de Guanacaste bajo explotación ganadera. *Noticiero de Agronomía (Costa Rica)* 1(9):1-4. 1972
- CHANG, M. L. y THOMAS, G. W. A suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 27(3):281-283. 1963
- CHAO, I. T., HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Movement of  $S^{35}$  tagged sulfate through soil columns. *Soil Science Society of America Proceedings* 26(1): 27-32 1962
- , HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Soil constituents and properties in the adsorption of sulfate ions. *Soil Science* 94(5):276-283. 1962
- , HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Adsorption and desorption phenomena of sulfate ions in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 26(3):234-237 1962

15. CHAO, T. T., HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Cationic effects on sulfate adsorption by soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 27(1): 35-38. 1963.
16. ENSMINGER, L. E. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 18(3): 259-264. 1954.
17. GEBRARDT, H. y COLEMAN, N. T. Anion adsorption by allophanic tropical soils; II-Sulfate adsorption. *Soil Science Society of America Proceedings* 38(2):259-262. 1974.
18. HARWARD, M. N. y REISENAUER, H. M. Reactions and movement of inorganic soil sulfur. *Soil Science* 101(4):326-355. 1966.
19. HOEFT, R. G., WALSH, I. M. y KEENEY, D. R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. *Soil Science Society of America Proceedings* 37(3):401-404. 1973.
20. MARTINI, J. A. Caracterización del estado nutricional de los principales "latosoles" de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. *Turrialba* 19(3):394-408. 1969.
21. ————. Caracterización del estado nutricional de los principales andosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. *Turrialba* 20(1):72-80. 1970.
22. MASSOUMY, A. y CORNFIELD, A. H. A rapid method for determining sulphate in water extracts of soils. *Analyst* 88:321-322. 1963.
23. MÜLLER, I. E. Deficiencia de azufre en algunos suelos de Centro América. *Turrialba* 15(3):208-215. 1965.
24. PEREZ, A. y OELSLIGLE, D. D. Comparación de diferentes extractantes para azufre en suelos de Costa Rica. *Turrialba* 25(3):232-238. 1975.
25. RAMOS, A. M. Influencia de lixiviación de aniones en pérdidas por arrastre de cationes. *Stica Costa Rica Informe Técnico* 6. 1958. 31 p.

## Reseña de Libros

BRUCHER, HEINZ. *Tropische Nutzpflanzen; Ursprung, Evolution und Domestikation*. (Plantas cultivadas tropicales; origen, evolución y domesticación). Berlin, Heidelberg, New York, Editorial Springer 1977, XIII + 529p.

Este es un libro admirable que, con la excepción de los pastos y los árboles maderables, cubre un enorme número de plantas y da cuenta de numerosas observaciones y experiencias del autor quien tuvo oportunidad de viajar extensamente en los tres continentes.

En el libro se discuten numerosos aspectos polémicos especialmente en torno a los centros de genes y de origen de diferentes especies; de hecho varias teorías de autores rusos se encuentran ampliamente refutadas sobre la base de hallazgos de plantas nativas y otras observaciones, especialmente en las Solanáceas y Cucurbitáceas.

Después de un artículo introducido sobre el principio de la domesticación, sigue un capítulo interesante sobre principios, métodos y errores asociados con las investigaciones en plantas cultivadas. Allí se argumenta contra las teorías de Vavilov y se da mucho más importancia a la acción humana.

El grueso del libro incluye las descripciones de las plantas, empezando con las gramíneas, los tubérculos, las plantas que producen proteínas, taninos, colorantes, resinas, gomas, fibras, latex y aceites diversos, frutas, hortalizas tropicales, especies, estimulantes y plantas oleaginosas; además hay una mención especial para diversos productos de palmas.

El mayor valor del libro es de poder tener toda esta información reunida, para fines comparativos incluyendo datos sobre plantas a veces poco conocidas tales como los numerosos árboles frutales, usualmente encontradas en jardines botánicos pero sin saber mucho sobre los lugares, las condiciones donde se cultivan comercialmente y los factores que permiten su cultivo y mejoramiento. La recopilación de literatura es admirable aunque inevitablemente faltan algunas publicaciones recientes. Los índices ayudan mucho para encontrar las especies y sus características genéticas.

Hay un pequeño error con *Spondias*. El autor sólo cita *S. dulcis* y *S. lutea* (= *S. mombin*). Pero la especie cultivada más común en América Latina y por cierto, la que corresponde a la fotografía en la p. 322 y erróneamente descrita como *Spondias lutea*, es *Spondias purpurea* que se usa también como seto vivo y se reproduce por estacas habiéndose logrado variedades notables.

Es de esperarse que en una futura edición se trate de aumentar la lista aún mayor de las especies que producen alimentos, especialmente si se producen vegetativamente.

En resumen, se trata de un magnífico libro de referencia para los que no le temen al alemán.

GERARDO BUDOWSKI  
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CAITIE)  
TURRIALBA, COSTA RICA