

## NIVELES CRITICOS DE AZUFRE EN ULTISOLES, INCEPTISOLES, VERTISOLES Y ANDISOLES DE COSTA RICA<sup>1/</sup>\*

Gilberto Cabalceta\*\*  
Alvaro Cordero\*\*

### ABSTRACT

**Critical sulfur soil test levels in Ultisols, Inceptisols, Vertisols and Andisols of Costa Rica.** The objective of this study was to determine the critical level of S using five different extractant solutions ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , Modified Morgan and Mehlich 3), for Ultisols, Inceptisols, Vertisols and Andisols of Costa Rica, following Cate and Nelson's methodology. The critical levels extracted with the Mehlich 3 solution were very similar for all the soil orders, 36 mg S/L for Ultisols, 32 mg S/L for Inceptisols and Vertisols, and 31 mg S/L for Andisols, as well as for the general critical level of the 100 samples. When using phosphate-containing solutions, the values of critical levels determined were very different, not only among different orders but also within the same order. The highest values were observed when using  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{-CaCl}_2$  solution, followed by  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  solution. Mehlich 3 proved to be the best of the five extracting solutions. The Modified Morgan solution was not of easy management to determine the critical levels of S in soils of Costa Rica.

### INTRODUCCION

Aunque en general los análisis químicos, como un medio para evaluar los niveles de S en suelos bajo condiciones de campo, no han sido muy útiles (Brogan y Murphy, 1980; Murphy, 1980; Spencer y Glendinning, 1980; Burnester *et al.*, 1981; Jones *et al.*, 1983; Tabatabai, 1982), debido a que la absorción por parte de los cultivos se ve muy afectada por las propiedades del suelo como son pH, adsorción, lixiviación (Harward y

Reisenauer, 1966), mineralización (Reisenauer *et al.*, 1973), el enfoque se ha concentrado en la extracción del sulfato como una estimación del S disponible (Ensminger y Freney, 1966).

Algunas de las soluciones extractoras utilizadas son: a) soluciones con 500 mg P/L [ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  o  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ]; b) soluciones de sales neutras (0,15% de  $\text{CaCl}_2$ , 1%  $\text{NaCl}$ , 0,005M  $\text{MgCl}_2$ , 0,1M  $\text{LiCl}$ , 0,25M  $\text{KCl}$ , 1N  $\text{NH}_4\text{OAc}$ ); c) agua caliente; d)  $\text{NaOAc}$  pH 4,8 y e)  $\text{NaHCO}_3$ . El primer grupo remueve porciones de S soluble y adsorbido, el segundo y tercer grupo miden sulfato soluble y parte del adsorbido, y los procedimientos restantes, además, miden parte del S orgánico, como también las soluciones que poseen fosfatos con ácido acético (Jones, 1986). El sulfato extraído con fosfatos usualmente correlaciona mejor con los rendimientos de campo o el S absorbido por plantas (Jones, 1986; Takkar, 1988; Pérez y Oelsligle, 1975).

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.

Existen 6 factores que influyen en la cantidad de S extraído según la solución extractora: 1-las soluciones que contienen P extraen niveles más altos de S que el agua o las sales de  $\text{Cl}^-$  en suelos donde existe una alta adsorción de S, pero esta diferencia no es significativa en suelos con baja capacidad de adsorción; 2-grandes cantidades de S son extraídos cuando el pH de la solución es ajustada al pH del suelo, en sistemas que poseen altas cantidades de coloides con carga variable; 3-el secado del suelo al aire incrementa los niveles de S, en comparación con la extracción realizada en el suelo con la humedad original; 4-soluciones de sales como  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{LiCl}$  son preferidas al agua, ya que mantienen el suelo floculado y se favorece la filtración; 5-la presencia de materia orgánica soluble en la solución influencia el procedimiento analítico usado para medir la concentración de S en la solución; 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 1 h (Anderson *et al.*, 1992).

En Costa Rica el S ha sido muy poco estudiado, y hasta el momento se han usado los niveles críticos que se citan en el Cuadro 1.

Los niveles críticos de S utilizados en otros lugares del mundo se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Niveles críticos de S determinados en Costa Rica con diferentes soluciones extractoras.

Solución	Nivel crítico (mg/L)	Referencia bibliográfica
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	12	Díaz-Romeu y Hunter, 1978
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	6	Pérez y Oelstigle, 1975
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{HOAc}$	6	Pérez y Oelstigle, 1975
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	8	Pérez y Oelstigle, 1975
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$	3	Pérez y Oelstigle, 1975
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (cebolla)	7	Soto, 1988

Cuadro 2. Niveles críticos de S determinados en otros lugares.

Lugar	Solución extractora	Niveles críticos (mg/L)	Observaciones	Referencia bibliográfica
Nueva Zelanda	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	3		Jones, 1986
Australia	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	5		Probert y Jones, 1977
Estados Unidos	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	6	Maíz, granos	Messick, 1992
Wisconsin	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	6		Hoefl <i>et al.</i> , 1973
Wisconsin	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	9,3	Alfalfa	Takkar, 1988
Nueva Zelanda	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	10	Suelos alterados	Anderson <i>et al.</i> , 1992
Wisconsin	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	14	Maíz	Takkar, 1988
Nueva Zelanda	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	20	Suelos vírgenes	Anderson <i>et al.</i> , 1992
India	$\text{CaCl}_2$	9	Mostaza	Takkar, 1988
India	$\text{CaCl}_2$	15	Trigo, aluviales	Takkar, 1988
India	$\text{CaCl}_2$	19	Girasol	Takkar, 1988
India	$\text{NH}_4\text{OAc} + \text{HOAc}$	11	Arroz	Takkar, 1988
India	$\text{NH}_4\text{OAc} + \text{HOAc}$	20	Arroz, aluviales	Takkar, 1988
India	$\text{NH}_4\text{OAc} + \text{HOAc}$	20	Avena	Takkar, 1988
India	$\text{NH}_4\text{OAc}$	25	Trigo, aluviales	Takkar, 1988
India	$\text{NaHCO}_3$	20	Arroz	Takkar, 1988
India	$\text{NaHCO}_3$	22	Avena	Takkar, 1988
India	$\text{NaCl}$	11	Avena	Takkar, 1988
India	$\text{HCl}$	22,5	Trigo, aluviales	Takkar, 1988
India	Agua caliente	12,5	Trigo, aluviales	Takkar, 1988
India	Agua caliente	16	Arroz	Takkar, 1988
India	Morgan	12,5	Arroz	Takkar, 1988

Cuadro 3. Soluciones extractoras utilizadas en la determinación de S disponible.

Solución	Extractantes	Relación suelo/solución (vol/vol)	Referencia bibliográfica
Mehlich III	0,2N HOAc + 0,25N NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + 0,015N NH <sub>4</sub> F + 0,013N HNO <sub>3</sub> + 0,001M EDTA pH 2,5	1:10*	Mehlich, 1984
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,008 M (500 mg P/L)	1:2,5*	Díaz-Romeu y Hunter, 1978
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaCl <sub>2</sub>	0,008 M (500 mg P/L) 0,01 M	1:2,5*	Pérez y Oelstigle, 1975
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,016 M (500 mg P/L)	1:2,5*	Pérez y Oelstigle, 1975
Morgan modificada	1N NaOAc + 0,54N HOAc 0,00013M DPTA pH 4,8	1:2**	Jones y Wolf, 1984

\* Tiempo de agitación 10 min.

\*\* Tiempo de agitación 5 min.

Como en Costa Rica no se cuenta con niveles críticos de S en los diferentes grupos de suelos de interés agrícola, el objetivo de este estudio fue determinar los niveles críticos de S utilizando 5 soluciones extractoras en Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Andisoles del país.

## MATERIALES Y METODOS

El procedimiento para efectuar los muestreos de los 4 órdenes de suelo, las localidades donde se realizaron y la metodología general utilizada en el laboratorio y en el invernadero, así como las variables evaluadas, los procesos de interpretación y el análisis de los datos, se detallan en una publicación paralela presentada en este mismo volumen (Cabalceta y Cordero, 1994).

Los 5 métodos de extracción de S usados en la investigación se describen en el Cuadro 3.

Los criterios utilizados para conformar los tratamientos del elemento en evaluación, en este caso, los tratamientos  $\pm$  S fueron: para suelos con < 24 mg S/L (2 veces el nivel crítico), extraído con Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, recibieron en el óptimo la dosis del elemento necesaria para elevar su contenido a ese nivel, de acuerdo a lo que indicaba la curva de sorción, y el tratamiento individual para S fue faltante, esto es, el óptimo menos S. En los suelos con > 24 mg S/L no se agregó S al óptimo, y el

tratamiento individual de S fue aditivo, con una cantidad correspondiente a 24 mg S/L. Se utilizó H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como fuente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 4 se presentan los niveles críticos de S determinados para los 4 órdenes de suelos estudiados y el nivel crítico general para todos los suelos en conjunto, con 5 soluciones extractoras.

### Ultisoles

Los niveles críticos en los Ultisoles variaron entre 7 y 19 mg S/L, dependiendo de la solución extractora utilizada (Figura 1). En las soluciones que poseen fosfatos (500 mg P/L) se encontró una gran variación; ellas extraen sulfatos solubles y parte del adsorbido a los coloides. Pareciera que el catión acompañante tiene influencia en el grado de extracción de estas formas de S. En Queensland se encontró una pobre correlación del S con rendimiento, cuando el nivel de S extraído con Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> fue menor de 5 mg/L (Probert y Jones, 1977; Rayment, 1983), pero sin indicar el tipo de suelos. Con la solución extractora Mehlich 3 se obtuvo un nivel crítico relativamente alto (36 mg S/L), debido a que esta solución posee F que extrae S de los óxidos y parte del S orgánico por la condición ácida (HOAc) que posee.

Cuadro 4. Niveles críticos de S en cuatro órdenes de suelo de Costa Rica y en forma conjunta, con 5 soluciones extractoras.

Orden de suelo	Soluciones extractoras				
	Mehlich 3	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaCl <sub>2</sub>	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Morgan Modificada
mg S/L					
Ultisol	36	10	7	22	19
Inceptisol	32	5	12	14	20
Vertisol	32	9	20	12	44
Andisol	31	5	8	21	25
General	31	6	13	11	19

### Inceptisoles

El S extraído en este orden de suelos varió de 5 a 32 mg/L (Figura 2). Un valor bajo (5 mg S/L) fue encontrado con Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. En la India, Takkar (1988) ha realizado estudios de niveles críticos en suelos aluviales en diferentes cultivos utilizando la solución extractora de Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Estos valores (Cuadro 2), en todos los casos, son mayores que el encontrado en este estudio, con esa misma solución; pero hay que distinguir que este autor trabajó con una gama más amplia de suelos de este orden. Con la solución Mehlich 3 se obtuvo también un valor de 32 mg S/L. Valores intermedios y similares se obtuvieron con Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+CaCl<sub>2</sub> y KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (12 y 14 mg/L, respectivamente). Este orden de suelos es muy heterogéneo e incluye una gran variabilidad de suelos, tropepts, aquepts, de valle y de montaña, con características físicas y químicas muy diferentes, pero en general, con un buen estado de fertilidad, razón por la cual los niveles críticos son un poco más bajos que en los Ultisoles.

### Vertisoles

En este orden de suelos el sulfato es principalmente retenido por mecanismos de adsorción a los sitios de cargas positivas. De las soluciones con fosfatos (Figura 3) Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+CaCl<sub>2</sub> fue la más agresiva extrayendo S adsorbido, probablemente por la presencia de la sal CaCl<sub>2</sub>. Con la solución Morgan Modificada se obtuvo el nivel crítico más alto (44 mg S/L) en este orden de suelo posiblemente debido al gran poder de extracción del ácido acético. Este nivel se encuentra dentro del ámbito de bueno reportado por Wolf (1982) para esta solución extractora, pero parece muy alto comparado con los valores reportados para alfalfa (12

mg S/L) en Estados Unidos (Harward *et al.*, 1962) y para maíz (6 mg S/L) en Nigeria después de ser incubado por 2 semanas a 30°C. Con la solución Mehlich 3 se encontró un nivel crítico de 32 mg S/L, muy semejante al señalado para Ultisoles y al de los otros grupos de suelos estudiados.

### Andisoles

Existen evidencias de altas concentraciones de S inorgánico en los suelos volcánicos (Bornemisza, 1990), razón por la cual se considera que los niveles críticos obtenidos con las soluciones Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+CaCl<sub>2</sub> de 5 y 8 mg S/L, respectivamente, fueron bajos, mientras que cuando se usó el K como catión acompañante (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) el nivel crítico aumentó a 21 mg S/L (Figura 4). Con Mehlich 3 el valor fue parecido (31 mg S/L) al encontrado en los otros órdenes de suelo.

### Nivel crítico general de azufre en 100 suelos de Costa Rica

Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Cuando se analizaron los 100 suelos con esta solución el nivel crítico encontrado (6 mg S/L) (Figura 5), fue igual al valor reportado por la Universidad de Maryland para su región, como también para suelos de Minnesota (Messick, 1992) y en Wisconsin (Hoeft *et al.*, 1973) (Cuadro 2). Pérez y Oelsligle (1975) en suelos de Costa Rica, reportaron también un valor tentativo bastante parecido (8 mg S/L) (Cuadro 1). Esta solución generalmente extrae los fosfatos fácilmente solubles y una parte de los adsorbidos, por lo que no fue tan eficiente y resultó ser el nivel crítico más bajo encontrado al analizar las 5 soluciones extractoras en Costa Rica y al compararlo con información internacional (Cuadro 2).

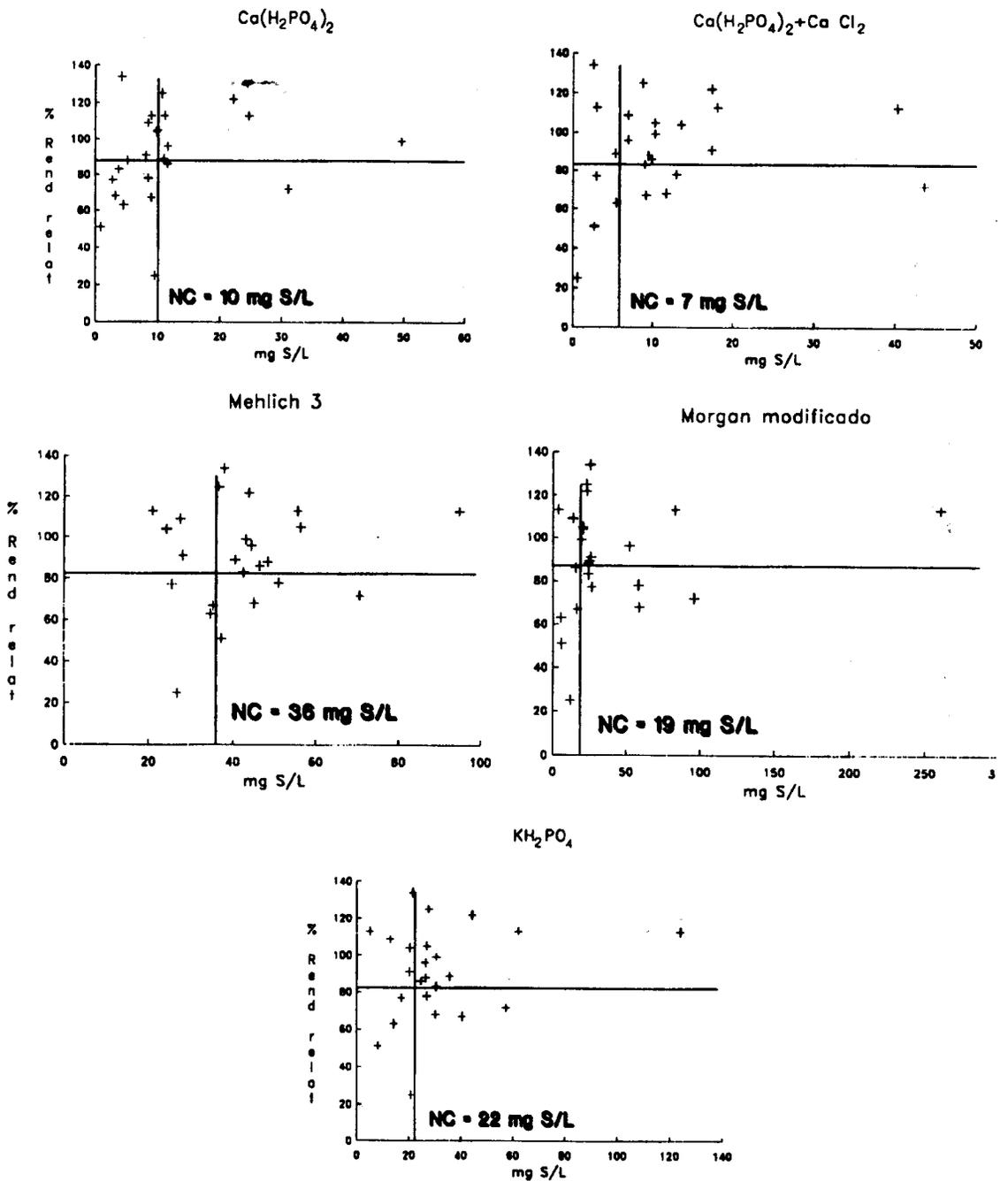


Fig. 1. Determinación de los niveles críticos de S con diferentes soluciones extractoras en Ultisoles de Costa Rica por medio de la metodología de Cate y Nelson (1965).

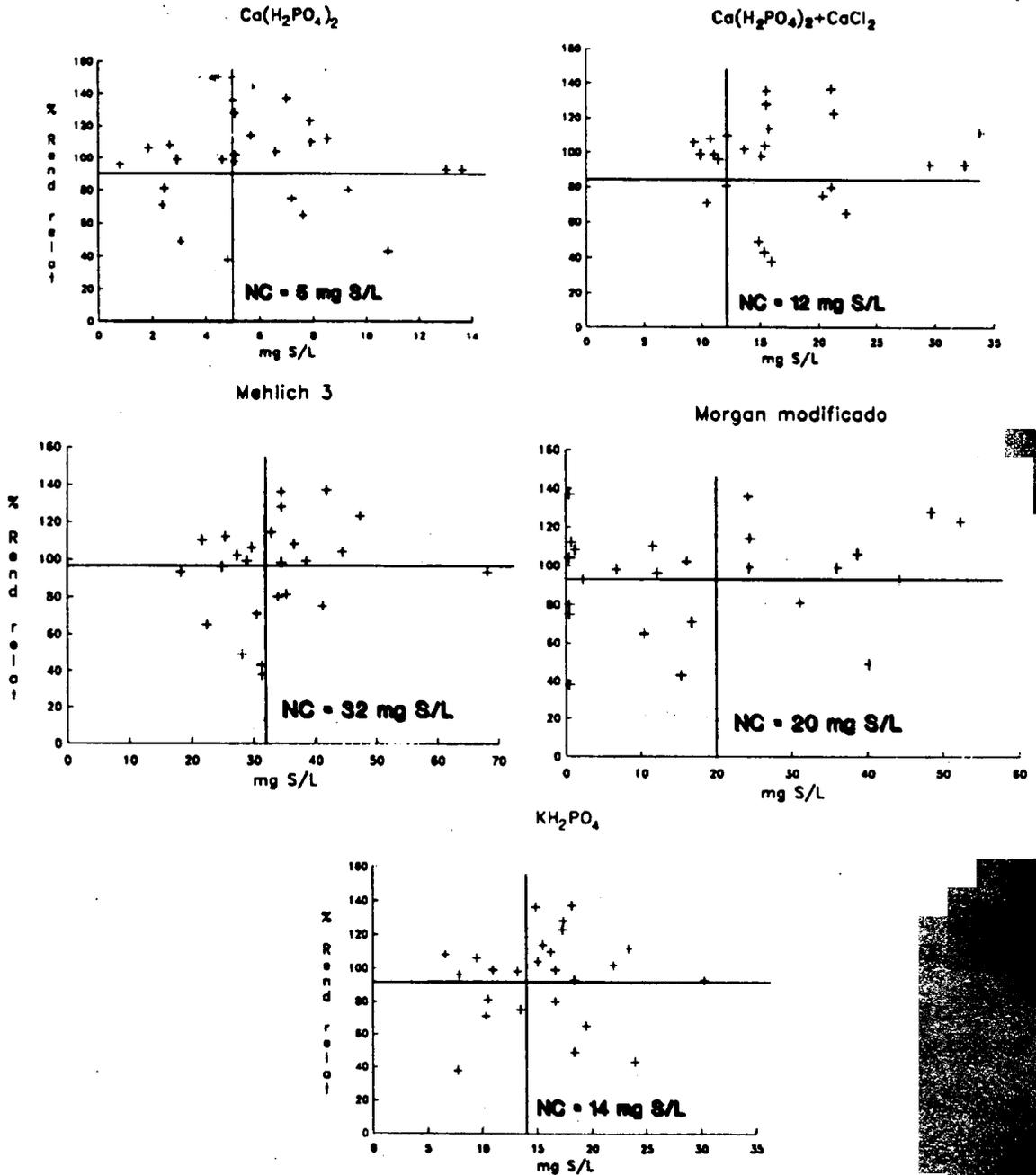


Fig. 2. Determinación de los niveles críticos de S con diferentes soluciones extractoras en Inceptisoles de Costa Rica por medio de la metodología de Cate y Nelson (1965).

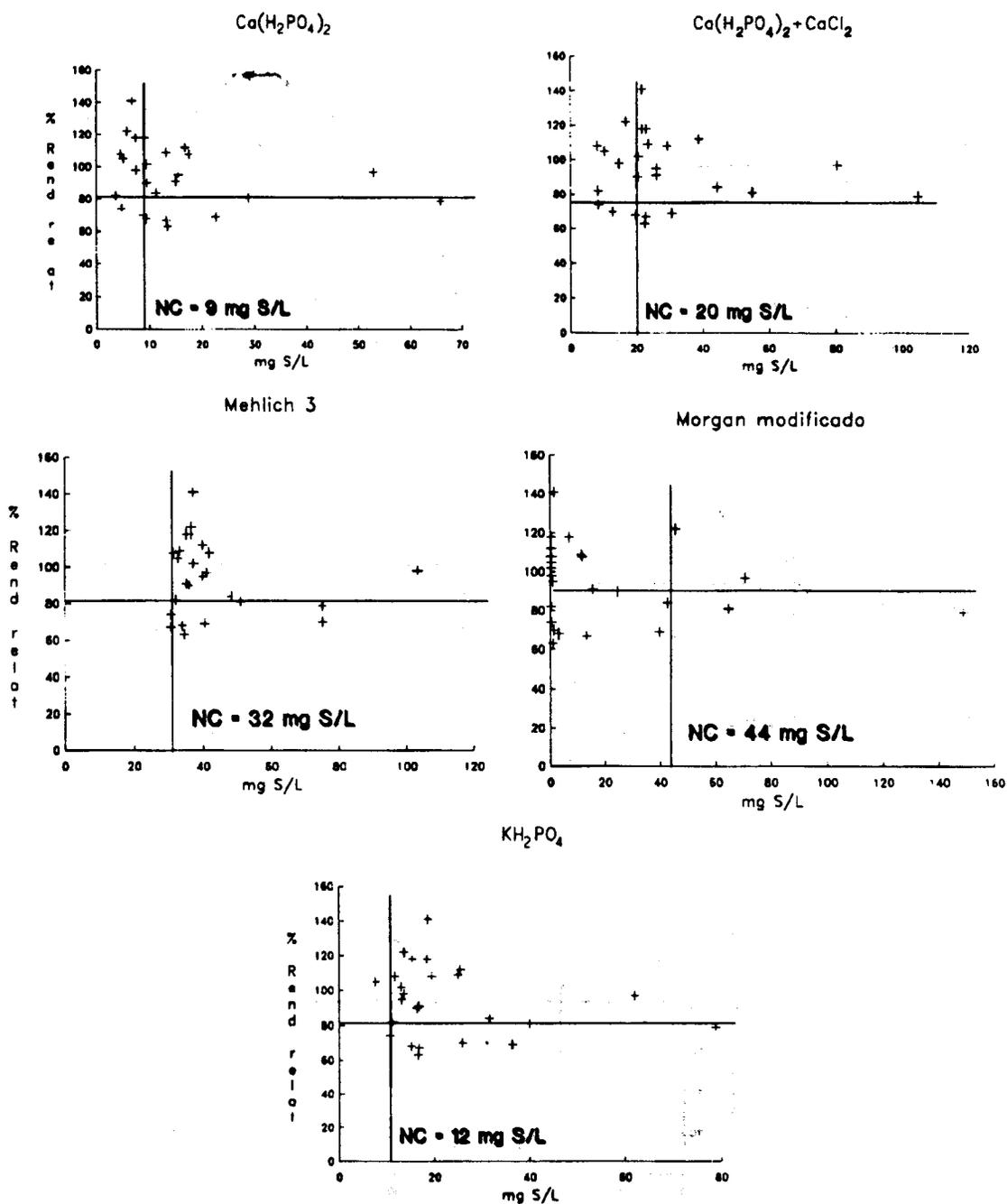


Fig. 3. Determinación de los niveles críticos de S con diferentes soluciones extractoras en Vertisoles de Costa Rica por medio de la metodología de Cate y Nelson (1965).

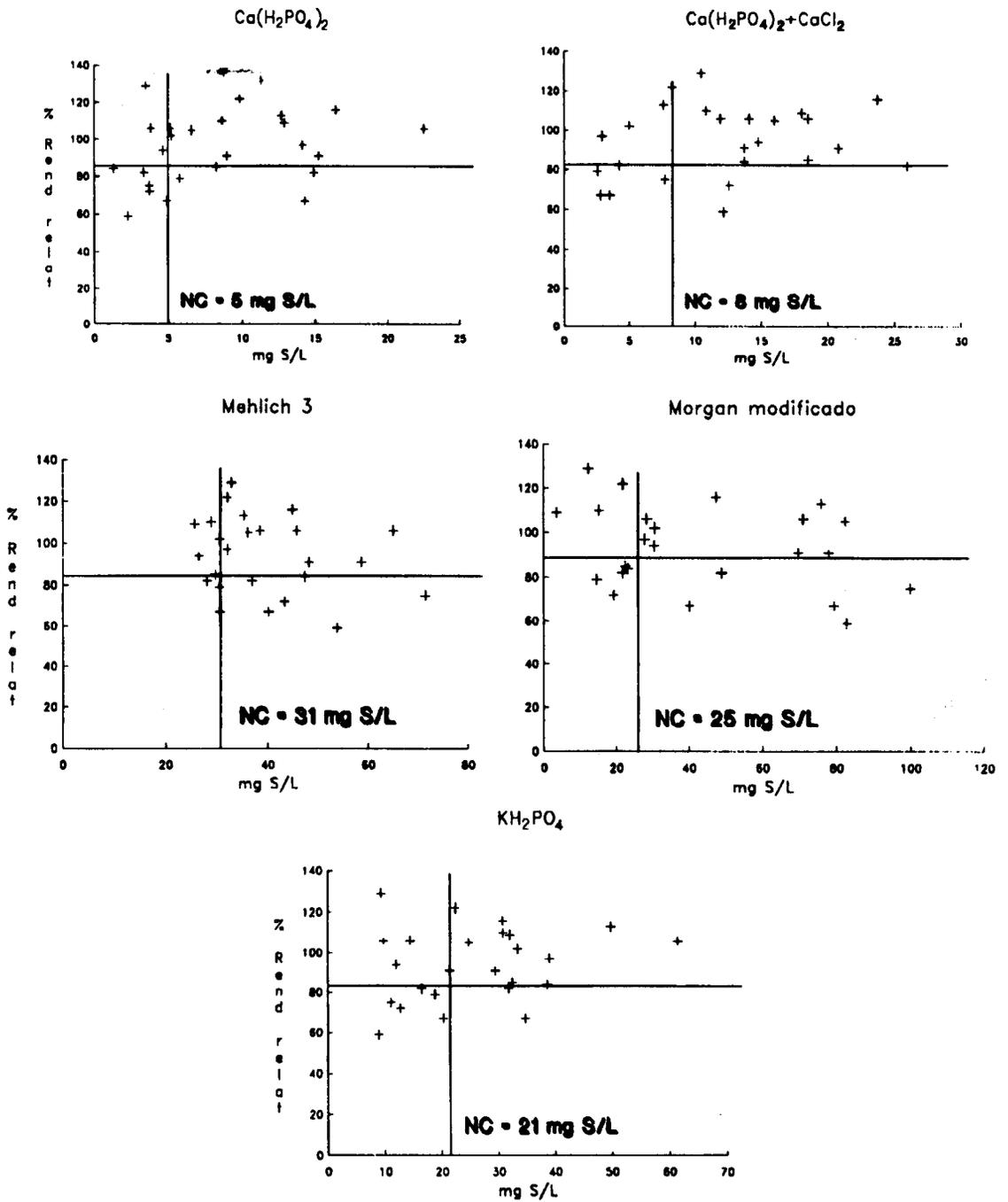


Fig. 4. Determinación de los niveles críticos de S con diferentes soluciones extractoras en Andisoles de Costa Rica por medio de la metodología de Cate y Nelson (1965).

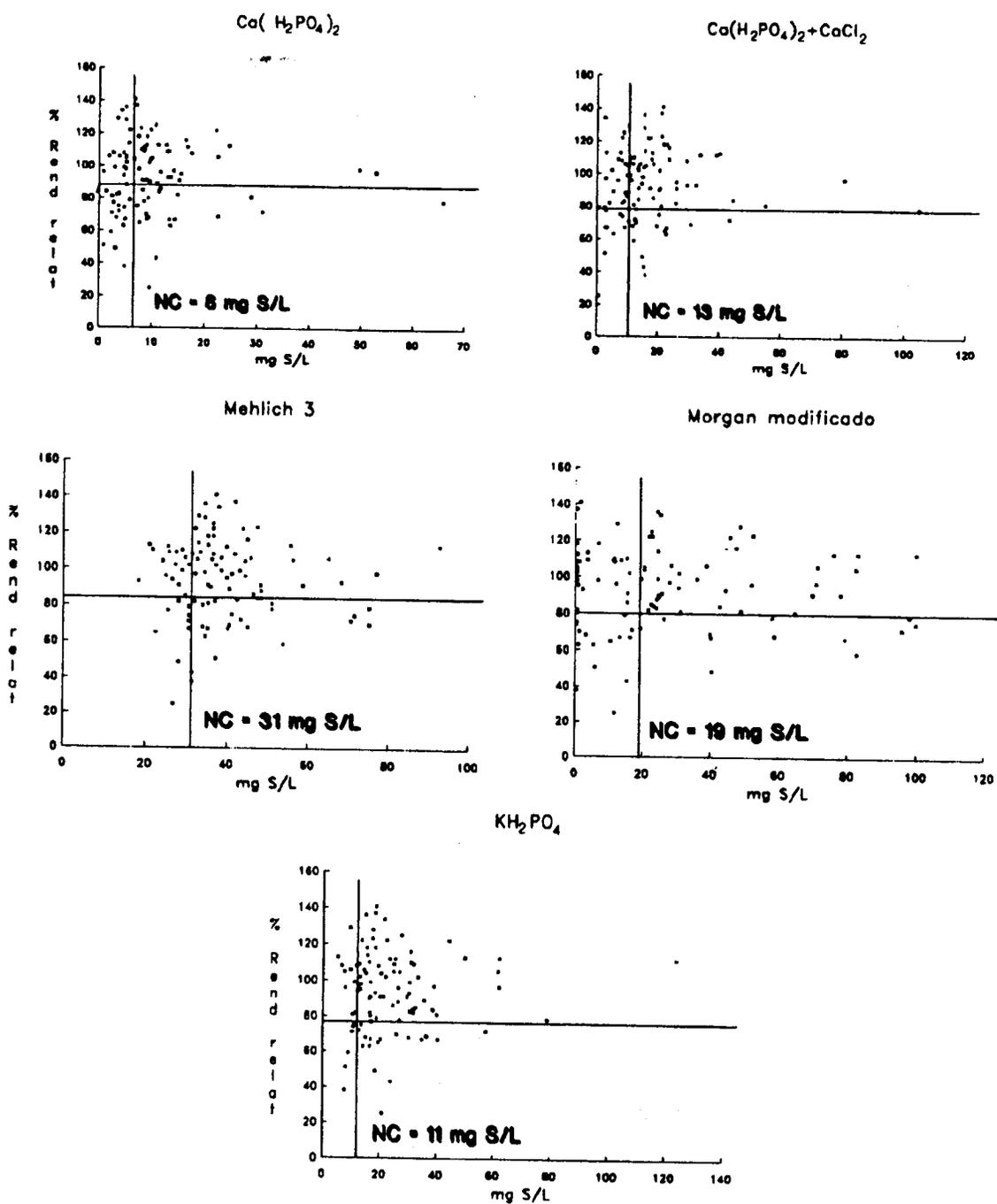


Fig. 5. Determinación de los niveles críticos de S con diferentes soluciones extractoras en 100 suelos de Costa Rica por medio de la metodología de Cate y Nelson (1965).

**KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.** Se estableció un valor de 11 mg S/L (Figura 5), valor un poco más alto que el encontrado por Pérez y Oelsligle (1975) en Costa Rica (6 mg S/L) y los encontrados en otros lugares (Cuadro 2). Anderson *et al.* (1992) consideran que los niveles críticos fluctúan de 7 a 10 mg S/L cuando se utilizan soluciones que extraen el S inorgánico; valor parecido al encontrado en este estudio.

**Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+CaCl<sub>2</sub>.** De las soluciones que extraen el S fácilmente soluble y parte del adsorbido, esta solución fue la que sobtuvo el nivel crítico más alto (13 mg S/L) (Figura 5), lo cual es factible debido a que es una solución que posee fosfatos y a su vez, está ayudada por la sal de CaCl<sub>2</sub>. Estos resultados no concuerdan con los encontrados en Costa Rica (Pérez y Oelsligle, 1975), que señalan un valor menor con esta solución (3 mg S/L).

**Morgan Modificada.** El nivel crítico general obtenido con esta solución (19 mg S/L) (Figura 5), fue más alto que el encontrado en las anteriores soluciones que poseen fosfatos, ya que contiene acetato de sodio y ácido acético que son más efectivos extrayendo S. Wolf (1982) propuso la modificación de la solución Morgan, adicionando DTPA para poder extraer los elementos importantes en una sola extracción (P, Ca, Mg, K, N-NO<sub>3</sub>, S-SO<sub>4</sub>, Fe, Cu, Zn, Mn y B), y considera que un nivel bajo de S es de 0 a 4 mg/L, medio de 5 a 14 mg/L, bueno 15 a 199 mg/L, alto de 200 a 250 mg/L y excesivo, más de 250 mg/L. Dentro de estas categorías el valor de 19 mg/L encontrado en este estudio califica como bueno, pero no hay que olvidar que estos fueron valores tentativos dados por el autor en sus condiciones. Esta solución es bastante viscosa y la metodología de extracción consiste en usar 15 ml de suelo y 30 ml de la solución, razón por la cual el filtrado es bastante lento y con poco volumen para medir los diferentes elementos. Además la viscosidad produce problemas en los diferentes equipos de lectura.

**Mehlich 3.** En esta solución se encontraron los niveles críticos más semejantes entre sí, variando de 31 mg S/L en los Andisoles a 36 mg S/L en los Ultisoles, para un nivel crítico general de 31 mg S/L (Figura 5). Esta solución fue excelente, tanto en el proceso de extracción, donde el filtrado fue muy cristalino, como en la lectura, la cual con

solo una dilución puede ser utilizada para leer la mayoría de elementos y no causa problemas a los equipos. Mehlich (1984) propuso determinar con esta solución P, Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Zn y Mn, sin incluir el S, pero los resultados de este estudio reflejan que es un magnífico extractante para ese elemento.

## CONCLUSIONES

Existe una gran variabilidad de los niveles críticos en S según la naturaleza química de las diferentes soluciones extractoras utilizadas y las propiedades químicas de los diferentes órdenes de suelo.

Los resultados obtenidos muestran que la solución Mehlich 3 extrae niveles críticos muy semejantes en todos los órdenes de suelos estudiados, inclusive cuando se analizó el total de la población. Esto sugiere que la solución puede resultar efectiva en un amplio ámbito de suelos con condiciones físicas, químicas y microbiológicas diferentes.

La solución Morgan Modificada se comportó muy diferente a las soluciones que poseen fosfatos, obteniéndose valores de niveles críticos mayores, ya que extrae además del S inorgánico, parte del S orgánico. Esta solución presentó problemas con su manejo; por ser muy viscosa y por usar una relación suelo:solución de 1:2 muestra dificultad para ser filtrada.

Las soluciones que poseen fosfatos extraen S en forma muy similar, pero se obtuvieron niveles críticos muy variados inclusive dentro de un mismo orden, lo cual se debió a la naturaleza y concentración del catión acompañante en la solución.

Es necesario continuar con estudios de calibración a nivel de campo con cultivos específicos y corroborar los niveles críticos con una solución como Mehlich 3, que promete ser muy promisoría para su uso en análisis de rutina.

## RESUMEN

Se estudiaron los niveles críticos de S utilizando 5 soluciones extractoras: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+CaCl<sub>2</sub>, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Morgan Modificada y Mehlich 3, en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica, siguiendo la metodología de Cate y Nelson (1965). Los valores de niveles críticos determinados con la solución Mehlich 3, fueron muy semejantes en todos los órdenes de suelos

estudiados, con valores de 36 mg S/L en los Ultisoles, 32 mg S/L en los Inceptisoles y Vertisoles, y 31 mg S/L tanto para los Andisoles como para el análisis de los 100 suelos en conjunto. Las soluciones que poseen fosfatos determinaron niveles críticos muy diferentes, no solo en diferentes órdenes de suelos sino entre un mismo orden, observándose valores más altos con la solución  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2$ , seguida por  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . De las 5 soluciones estudiadas Mehlich 3 mostró ser la solución extractora más eficiente. La solución Morgan Modificada, no resultó de fácil manejo para determinar niveles críticos en suelos de Costa Rica.

### LITERATURA CITADA

- ANDERSON, G.; LEFROY, R.; CHINOIM, N.; BLAIR, G. 1992. Soil sulphur testing. *Sulphur in Agriculture* 16:6-14.
- BORNEMISZA, E. 1990. Problemas del S en suelos y cultivos de Mesoamérica. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 104 p.
- BROGAN, J.C.; MURPHY, M.D. 1980. Sulphur nutrition in Ireland. *Sulphur Agric.* 4:2-6,22.
- BURNESTER, C.H.; ADAMS, F.; HAALAND, R.L. 1981. Effects of nitrogen and sulfur fertilizer on sulfur content of tall fescue and phalaris. *Agron. J.* 73:614-618.
- CABALCETA, G.; CORDERO, A. 1994. Niveles críticos de fósforo en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2): 147-161.
- CATE, R.B. Jr.; NELSON, L.A. 1965. A rapid method for correlation of soil tests analysis with plant response data. North Carolina State Agricultural Experiment Station Technical Bulletin 1.
- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelo, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 61 p.
- ENSMINGER, L.E.; FRENEY, J.R. 1966. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiencies in crops and soils. *Soil Sci.* 101:283-290.
- HARWARD, M.E.; REISENAUER, H.M. 1966. Movement and reactions of inorganic soil sulfur. *Soil Sci.* 101:326-335.
- 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.; WOLF, B. 1984. Manual of soil testing procedure using modified (Wolf) Morgan extracting reagent. Athens, Georgia. Benton Laboratories. 61 p.
- JONES, M.B. 1986. Sulfur availability indexes. In *Sulfur in agriculture*. Ed. by M.A. Tabatabai. Madison, Wisconsin, ASA. p. 549-566.
- MEHLICH, A. 1984. Mehlich III soil test extractant: a modification of Mehlich II extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15(12):1409-1416.
- MESSICK, D.L. 1992. Soil test interpretation for sulphur in the United States-an overview. *Sulphur in Agriculture* 16:24-25.
- MURPHY, M.D. 1980. Essential micronutrients. III: Sulfur. In *Applied soil trace elements*. Ed. by B.E. Davis. John Wiley & Sons, Inc. New York. p. 235-258.
- PEREZ, A.; OELSLIGLE, D. 1975. Comparación de diferentes extractantes para S en suelos de Costa Rica. *Turrialba* 25(3):232-238.
- PROBERT, M.E.; JONES, R.K. 1977. The use of soil analysis for predicting the response to sulfur of pasture legumes in the Australian tropics. *Aust. J. Soil Res.* 15:137-146.
- RAYMENT, G.E. 1983. Predictions of response to sulfur by established Sirato/grass pasture in south-eastern Queensland. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 23:280-287.
- REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. 1973. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum, and chlorine. In *Soil testing and plant analysis*. Ed. by L.M. Walsh and J.D. Beaton. *Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.* p. 173-200.
- SOTO, J.A. 1988. Requerimientos nutricionales de la cebolla (*Allium cepa*) en los suelos de la región norte de Cartago. II. Niveles críticos de P, K, S, y respuesta a N. *Agronomía Costarricense* 12(1):53-58.
- SPENCER, K.; GLENDINNING, J.S. 1980. Critical soil test values for predicting the phosphorus and sulfur of subhumid temperate pastures. *Aust. J. Soil Res.* 18:435-445.

TABATABAI, M.A. 1982. Sulfur. *In* Methods of soil analysis, Part 2. 2nd ed. Ed. by A.L. Page. Agronomy 9:501-538.

TAKKAR, P.N. 1988. Sulfur status of Indian soils. *In* Sulfur in Indian agriculture. Ed. by The Sulfur Institute, Washington D.C., U.S.A. and The

Fertiliser Association of India, New Delhi. p. SI/2-1 a SI/2-31.

WOLF, B. 1982. An improved universal extracting solution and its use for diagnosing soil fertility. *Commun. in Soil Sci. Plant anal.* 13(2):1005-1033.

REVISTA DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
COSTARRICENSE  
VOLUMEN 13, NUMERO 2, 1982  
PAGINA 174