

OLIGOELEMENTOS CATIONICOS EN SUELOS DE LA PARTE CENTRAL DE LA PENINSULA DE NICOYA, GUANACASTE ¹/*

Edgar Vidal Vega **
Elemer Bornemisza **
Alfredo Alvarado **

ABSTRACT

Cationic oligoelements on soils in the central part of the Nicoya Peninsula, Guanacaste. Soils of the central part of the Nicoya peninsula were studied. Samples were taken at the depth of 0 - 20 cm from the main soil associations in the areas of Santa Cruz and Nicoya. The determinations carried out were texture, pH in H₂O, 1 N KCl and NaF, organic matter, CEC, exchangeable cations, P and Olsen extractable cationic trace elements. The samples generally had pH-s close to neutrality and showed a high correlation between H₂O and 1 N KCl pH values. The organic matter correlated negatively with pH, with generally low values between 1.5 and 4.7%. Bicarbonate extractable soil P levels were low with values between 1.0 - 13.5 mg/L soil. The exchangeable Ca and Mg levels were high (16.5 - 44.4 cmol (+)/kg and 4.9 - 15.2 cmol (+)/kg, respectively) and the disponible K was close to the critical level (0.2 - 0.7 cmol (+)/kg). The Olsen extractable Zn levels were generally low (1-6 mg/L soil) with an average of 2.8 mg/L and, as a result, deficient. This variable correlated in a negative and significant way with pH measured in H₂O or KCl and in a positive and significant way with pH measured in H₂O or KCl and in a positive and significant form with organic matter, showing a bioaccumulation. The levels detected for Cu were 7-25 mg/L soil, with an average of 14.5 mg/L, and adequate level which showed no correlations with any measured property.

The Mn and Fe levels showed moderately high levels (15-115 mg/L and 15-140 mg/L, respectively) and the same correlations as Zn.

INTRODUCCION

Los oligoelementos catiónicos Cu, Zn, Mn y Fe son esenciales para el crecimiento de las plantas. En suelos antiguos, como los de la Península

de Nicoya, con cierta frecuencia, estos elementos se encuentran en cantidades deficientes.

Los suelos de esta región proceden del Cretáceo Inferior (Castillo, 1977) y pueden ser subdivididos en tres unidades geológicas, de las cuales dos, el complejo de Nicoya y los Aluviones de la región, han sido muestreados. Para este estudio se escogieron quince suelos pertenecientes a los órdenes Mollisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Alfisoles que contribuyen a las principales tierras agrícolas de la región, la cual, a pesar de ser utilizada agrícolamente en su parte central, ha recibido muy pocos estudios detallados (Villavicencio, 1977). Se analizaron los contenidos de oligoelementos disponibles y otras propiedades químicas importantes para establecer las relaciones entre ellos.

1/ Recibido para publicación el 7 de setiembre de 1985.

* Para este trabajo se recibió apoyo parcial del CONICIT.

** Asistente y Profesores del Centro de Investigaciones Agronómicas y de la Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

Cuadro 1. Ubicación y clasificación de las muestras estudiadas.

No.	Ubicación	Altura (msnm)	Ecología ¹	Uso actual	Profundidad (cm)	Clasificación tentativa
1.	Maquenco, Nicoya	130	Aw'i	N.C. ² grama	0-20	Typic Haplustalf
2.	Cuesta Grande, Nicoya	130	Aw'i	N.C. grama	0-20	Typic Haplustalf
3.	Mansión, Nicoya	130	Aw'i	N.C. grama	0-20	Typic Haplustalf
4.	Caimito, Sta. Cruz	53	Aw'i	N.C. grama	0-20	Typic Haplustalf
5.	Sámara, Nicoya	0	Aw'i	N.C. grama	0-20	Ustic Dystropept
6.	Desv. Florida, Sta. Cruz	53	Aw'i	N.C. grama	0-20	Ustic Lythic Dystropept
7.	27 de abril, Sta. Cruz	53	Aw'i	C. ³ arroz	0-20	Fluventic Eutropept
8.	Centro, Sta. Cruz	53	Aw'i	N.C. grama	0-20	Lythic Eutropept
9.	Caimital, Nicoya	130	Aw'i	N.C. grama	0-20	Typic Ustropept
10.	Finca Exp. Sta. Cruz	53	Aw'i	N.C. grama	0-20	Typic Argiustoll
11.	Caimito, Sta. Cruz	53	Aw'i	C. arroz	0-20	Fluventic Haplustoll
12.	Centro, Sta. Cruz	53	Aw'i	C. arroz	0-20	Typic Argiustoll
13.	Finca Exp. Sta. Cruz	53	Aw'i	N.C. grama	0-20	Typic Pellustert
14.	Sta. Bárbara, Sta. Cruz	53	Aw'i	C. arroz	0-20	Typic Pellustert
15.	San Lorenzo, Sta. Cruz	53	Aw'i	C. arroz	0-20	Typic Pellustert
16.	Caimito, Sta. Cruz	53	Aw'i	C. arroz	0-20	Typic Pellustert
17.	Río Cañas, Guardia, Liberia	53	Aw'i	C. caña	0-20	Typic Pellustert

1 Aw'i Clima tropical lluvioso y seco.

2 N.C. No cultivado

3 C. Cultivado.

MATERIALES Y METODOS

Suelos

Para este estudio se tomaron diecisiete muestras de la región central de la Península, abarcando los cantones de Santa Cruz y Nicoya. De acuerdo con la clasificación de Köppen los suelos se encuentran en un clima tropical lluvioso y seco (AW'i), localizado a alturas menores a 500 msnm y con un promedio anual de precipitación que varía de 1500 a 2000 mm (Castillo, 1977). La clasificación de los suelos, así como la ubicación se presentan en el Cuadro 1.

Métodos analíticos

Las muestras de suelo se secaron al aire, se trituraron y se pasaron por un tamiz de 2 mm de apertura. Para la caracterización general se determinó el pH en H₂O, KCl y NaF, y el contenido de materia orgánica de acuerdo con el método de

Walkley y Black modificado por Saíz del Río y Bornemisza (1962). Se analizó fósforo, cobre, hierro, manganeso y zinc usando el procedimiento de extracción de Olsen modificado (Díaz-Romeu y Hunter, 1978). Se usó el extracto de Olsen por ser éste el que usa el Laboratorio del MAG y por ser así posible correlacionar la información obtenida con los datos oficiales.

Para la extracción de las bases cambiables (Ca, Mg, K, Na) y la determinación de la capacidad de intercambio catiónico se siguió la metodología de Díaz-Romeu y Balerdi (1967) basada en la técnica de Bower *et al.* (1952).

Para estimar los componentes texturales se usó el método de Bouyoucos modificado por Forsythe (1975).

Análisis estadístico

Se efectuaron análisis de correlación entre las variables estudiadas, tomando en cuenta la totalidad de las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización general de los suelos

En el Cuadro 2 se presentan los análisis químicos y granulométricos para los suelos en estudio. Como se observa, en la región central de la Península de Nicoya los pH en H₂O mostraron valores de 5,9 a 7,3 con un promedio de 6,4, y el pH en KCl presentó un ámbito de 4,7 a 6,3 con un promedio de 5,1. Estos resultados coinciden con trabajos realizados en la zona (Castillo, 1977; Villavicencio, 1977) y caracterizan estos suelos como neutros o poco ácidos, resultado del limitado lavado que han sufrido.

El pH en H₂O presentó una correlación altamente significativa y positiva ($r = 0,765$) con el pH en KCl, lo anterior atribuido a que la mayoría de los suelos estudiados no estaban bajo cultivo, de ahí que los fertilizantes no afectaron el pH en H₂O.

El Cuadro 3 presenta ámbitos de pH en NaF entre 8,3 y 9,0 con un promedio de 8,7, lo que demuestra que en estos suelos no existen materia-

les alofánicos, o sea, que no han sido influidos por fenómenos volcánicos.

Los contenidos de materia orgánica fueron bajos, oscilando entre 1,5 y 4,7 %. Esta característica presentó además correlaciones negativas y significativas con los pH en H₂O ($r = -0,679$) y KCl ($r = -0,599$). Esto indica que la materia orgánica se mineraliza más rápidamente en suelos con pH mayor donde las condiciones para la vida microbiana son óptimas.

El fósforo presentó rangos entre 1,0 y 13,5 mg/L con un promedio de 4,4 mg/L, muy por debajo del nivel crítico de 12 mg/L propuesto por Díaz-Romeu y Hunter (1978), lo que es característico en las zonas con suelos desarrollados a partir de rocas del complejo Nicoya (Castillo, 1977).

El potasio disponible en los suelos varió entre 0,2 y 0,7 cmol (+)/kg con un promedio de 0,34 cmol (+)/kg bastante superior al nivel crítico de 0,2 cmol (+)/kg, lo que concuerda con valores encontrados en la región (Sancho, 1984; Villavicencio, 1977).

Cuadro 2. Análisis químicos y físicos de los suelos estudiados.

No.	pH			M.O. %	P ¹	Zn ¹	Cu ¹	Fe ¹	Mn ¹	Ca ¹	Mg ²	K ¹	Na ²	ClC ²	CaCO ₃	Sat. Bases %	Arc.	Limo	Arena
	H ₂ O	KCl	NaF																
1.	6,1	4,7	8,7	4,4	2,0	5,0	12	135	115	16,5	4,0	0,3	0,3	37	0,22	58	47	45	8
2	6,1	4,7	8,8	4,7	2,2	2,0	14	95	105	19,8	5,4	0,4	0,3	50	0,52	94	41	48	11
3	6,1	4,8	8,8	4,5	1,2	6,0	9	75	100	30,9	7,0	0,2	0,4	54	1,60	72	43	45	12
4	6,8	5,0	8,6	1,9	1,0	1,0	25	35	40	27,5	11,2	0,2	0,7	42	0,60	96	41	45	14
5	6,2	4,9	8,4	3,2	3,5	4,0	7	65	80	28,8	5,4	0,6	1,3	40	0,15	90	52	40	8
6	6,6	5,0	9,0	3,0	1,5	2,0	13	25	55	26,0	7,2	0,3	0,6	54	0,52	65	56	30	14
7	6,7	5,4	8,9	1,5	10,5	2,0	10	75	30	26,0	15,2	0,7	0,9	50	1,70	86	28	42	30
8	6,8	4,9	8,9	1,9	1,0	1,5	8	25	25	44,5	10,4	0,2	2,2	63	1,85	91	56	36	8
9	5,9	4,9	8,8	4,5	2,2	4,0	18	60	115	18,5	6,9	0,6	0,3	46	0,67	58	43	43	14
10	5,9	4,7	8,7	3,2	3,5	5,0	19	140	90	25,5	4,9	0,3	0,3	46	0,30	69	51	40	9
11	6,8	5,4	8,8	2,0	3,5	1,0	12	15	15	35,0	10,2	0,2	1,2	62	1,50	76	50	42	8
12	6,7	4,9	8,6	1,9	7,5	2,0	10	45	50	37,5	8,2	0,4	1,4	51	0,44	94	47	37	16
13	6,1	4,8	8,3	3,1	2,5	2,5	20	35	25	35,5	13,5	0,2	0,6	55	1,00	91	70	23	7
14	6,2	5,1	8,6	3,0	6,0	3,0	22	50	40	35,9	9,3	0,2	0,6	53	0,44	87	49	32	19
15	6,2	5,1	8,4	1,3	10,5	3,5	50	55	40	35,9	9,2	0,7	0,4	50	0,44	95	50	36	14
16	7,3	6,3	8,9	2,0	6,0	2,0	20	25	20	31,0	10,5	0,2	0,8	50	0,60	85	37	41	22
17	7,1	5,6	8,9	1,7	13,5	1,0	13	35	35	35,0	9,9	0,3	1,0	61	1,85	77	50	25	15

1 Se usó Olsen modificado como solución extractora.

2 Se utilizó Acetato de amonio pH 7,0.

Cuadro 3. Ambitos y promedios para las propiedades químicas y físicas en los 17 suelos estudiados.

Parámetro	Ambito	Promedio
pH en H ₂ O	5,9 - 7,3	6,4
pH en KCl	4,7 - 6,3	5,1
pH en NaF	8,3 - 9,0	8,7
M.O. (%)	1,5 - 4,7	2,8
P mgL ⁻¹	1,0 - 13,5	4,4
Zn mgL ⁻¹	1,0 - 6,0	2,8
Cu mgL ⁻¹	7,0 - 25	14,5
Mn mgL ⁻¹	15 - 115	65
Fe mgL ⁻¹	15 - 140	77,5
Ca cmol (+) kg ⁻¹	16,5 - 44,5	29,5
Mg cmol (+) kg ⁻¹	4,9 - 15,2	8,6
K cmol (+) kg ⁻¹	0,2 - 0,7	0,34
Na cmol (+) kg ⁻¹	0,3 - 2,2	0,7
CIC cmol (+) kg ⁻¹	37 - 63	50
Ca CO ₃ cmol (+) kg ⁻¹	0,15 - 1,85	0,83
Saturación Bases %	58 - 96	81
Arcilla %	28 - 70	48
Limo %	23 - 48	39
Arena %	8 - 30	13

Analizando por órdenes los suelos estudiados se nota que los Inceptisoles, menos desarrollados, contienen más K, un promedio de 0,48 cmol (+)/kg, mientras que los Mollisoles, relativamente antiguos y de alta capacidad de cambio, tienen poco K (0,22 cmol (+)/kg).

La distribución del calcio y del magnesio (Cuadro 2) es en general uniforme, encontrando patrones de concentración alta de 16,5 a 44,5 cmol (+)/kg para el Ca y de 4,9 a 15,2 cmol (+)/kg para el Mg, esto debido a que los suelos se han formado sobre materiales parentales ricos en Ca y Mg, (Castillo, 1977; Villavicencio, 1977).

Para los suelos de esta zona, la granulometría mostró diferencias de acuerdo al orden y tipo de asociación a la que pertenecen los suelos. El contenido de arcilla fluctuó de un suelo a otro desde 28 hasta 70 %, (Cuadro 3), valores bastante altos debido a que muchos de los suelos estudiados han alcanzado un avanzado estado de desarrollo que lleva a la formación de arcillas. Para el limo (Cuadro 3) se observó un ámbito de 23 a 48% y para la arena de 8 a 30% , con un promedio de 13% .

Caracterización de los oligoelementos catiónicos, Zn, Cu, Mn, Fe

Zinc

El zinc exhibió un patrón de concentración bajo (1,0-6,0 mg/L de suelo) con un promedio de 2,8 mg/L, el cual está por debajo del nivel crítico establecido (3 mg/L) (Díaz-Romeu y Hunter, 1978) lo que indica que los suelos formados a partir del complejo Nicoya son definitivamente bajos y posiblemente deficientes en este elemento. Los niveles de este oligoelemento presentan poca variación entre los órdenes de suelos estudiados.

En el Cuadro 4, se observa que el zinc correlacionó de manera negativa y significativa con el pH en H₂O ($r=-0,679$) y KCl ($r=-0,555$), esto debido a que la solubilidad del zinc se incrementa a pH menores de 5,5 y disminuye cuando el pH aumenta de 5,5 (Jeffery y Uren, 1983; Knezek y Ellis, 1980).

Se observó que la materia orgánica correlacionó en forma positiva y altamente significativa

Cuadro 4. Correlación lineal entre diferentes características edáficas en suelos de la parte central de la Península de Nicoya, Guanacaste.

Parámetro	pH H ₂ O	pH KCl	% M.O.	Cobre	Zinc	Manganeso	Hierro	CIC	% Arcillas
pH en H ₂ O	0000								
pH en KCl	0,765**	0000							
M.O. %	-0,599**	-0,599**	0000						
Cobre	-0,038ns	0,399ns	-0,014ns	0000					
Zinc	-0,679**	-0,555**	0,646**	-0,124ns	0000				
Manganeso	-0,623**	-0,596**	0,872**	-0,134ns	0,738**	0000			
Hierro	-0,571**	-0,522**	0,569**	-0,061ns	0,713**	0,759**	0000		
CIC	0,486**	0,094ns	-0,268ns	-0,178ns	-0,425**	-0,484**	-0,520**	0000	
Arcilla %	-0,319ns	-0,400ns	-0,042ns	0,013ns	-0,036ns	-0,208ns	0,251ns	0,139ns	0000

($r = 0,646$) con el zinc, contrario a lo encontrado por Flores *et al.* (1979) en suelos del valle Coto-Colorado.

También el Zn correlacionó en forma positiva y altamente significativa con el manganeso ($r = 0,738$) y el hierro ($r = 0,713$), probablemente debido a la acción similar del pH sobre la disponibilidad de estos elementos.

Como lo muestra el Cuadro 4, la capacidad de intercambio catiónico correlacionó en forma negativa y significativa ($r = -0,425$) con el zinc, y el porcentaje de arcilla de estos suelos no presentó ninguna correlación significativa con este oligoelemento, posiblemente debido a la variación en la mineralogía de arcillas de las muestras, provenientes de cuatro órdenes diferentes de suelos.

Cobre

En el Cuadro 2, se presentan los datos de concentración de cobre para los suelos estudiados que indican que este oligoelemento mostró variaciones de 7,0 a 25 mg/L de suelo, con un promedio de 14,5 mg/L, valores que están por encima del nivel crítico (1 mg/L), por lo que se puede concluir que este micronutriente se encuentra en buena cantidad en la zona, lo que concuerda con lo encontrado por Castillo (1977). Según el Cuadro 4, el cobre no correlacionó con ninguna variable estudiada.

Para este elemento se observó, similarmente al Zn, una distribución bastante uniforme en la zona.

Manganeso

El Cuadro 3 muestra el ámbito para el manganeso disponible, el cual oscila entre 15-115 mg/L de suelo, con un promedio de 65 mg/L, que es factible encontrar en suelos desarrollados sobre rocas del complejo Nicoya (Castillo, 1977).

Se observan considerables diferencias entre los órdenes de suelos estudiados con niveles más altos en los Alfisoles (promedio 90 mg/L) seguidos por los Inceptisoles (promedio 61 mg/L) y con los niveles inferiores en los Vertisoles.

El manganeso correlacionó en forma negativa y altamente significativa con el pH en H₂O ($r = -0,623$) y KCl ($r = -0,596$) respectivamente lo que está de acuerdo con lo indicado en la literatura (Hodgson, 1963; Knezek y Ellis, 1980; Lucas y Knezek, 1972) debido a la mayor solubilidad de este elemento en suelos más ácidos.

La materia orgánica correlacionó en forma positiva y altamente significativa ($r = 0,872$) con el manganeso disponible. Es posible que los quelatos proporcionados por la descomposición de la materia orgánica son la razón de las correlaciones significativas. El manganeso mostró una correlación negativa y significativa ($r = -0,484$) con la capacidad

de intercambio catiónico, probablemente debido a que el mayor desarrollo de suelos que resulta en minerales de arcilla de menor CIC también fomenta su acidificación y niveles mayores de Mn disponible.

Hierro

El hierro mostró niveles de concentración moderadamente altos (15-140 mg/L de suelo) (Cuadro 3), con un promedio de 77,5 mg/L de suelo, el cual se encuentra muy por encima del nivel crítico (10 mg/L).

En el Cuadro 4, se presentan las correlaciones del hierro con algunas variables edáficas. Se observó que éste correlacionó en forma negativa y significativa con el pH, estando de acuerdo con varios autores (Bornemisza, 1982; Fassbender, 1980; Millan y Heras, 1978).

Por otro lado, se encontró que el hierro correlacionó con la materia orgánica en forma positiva y significativa ($r = 0,569$) lo que es explicable debido a los quelatos proporcionados por la descomposición de la materia orgánica. Según el Cuadro 4, el hierro mostró además una correlación negativa y significativa ($r = -0,425$) con la capacidad de intercambio catiónico y no se observó correlación significativa con el porcentaje de arcilla de los suelos.

RESUMEN

Se estudiaron suelos de la parte central de la Península de Nicoya. Las muestras fueron tomadas principalmente de las zonas de Santa Cruz y Nicoya, con base al tipo de asociación de suelos imperante en el área de muestreo. Se tomaron muestras a una profundidad de 0-20 cm y se determinó el pH en H₂O, KCl y NaF, el % de M.O., la CIC, bases cambiables, fósforo, elementos menores catiónicos y textura.

Se encontró que las muestras presentaron pH cercanos a la neutralidad, y una correlación significativa y positiva entre el pH en H₂O y en KCl. Por otro lado se presentaron correlaciones negativas y significativas entre los pH en H₂O y KCl y la variable materia orgánica. En la mayoría de los suelos las concentraciones de fósforo fueron bajas, variando entre 1,0 a 13,5 mg/L de suelo, y el porcentaje de materia orgánica encontrado fue bajo mostrando un ámbito de 1,5 a 4,7 %. Los contenidos de bases cambiables Ca y Mg fueron altos (16,5 - 44,5

cmol(+) /kg y 4,9 - 15,2 cmol(+) /kg, respectivamente) y el potasio disponible se encontró cerca del nivel crítico (0,2 - 0,7 cmol(+) /kg).

El Zn mostró un patrón de concentración bajo (1,0 - 6,0 mg/L) con un promedio de 2,8 mg/L siendo deficiente en la mayoría de los suelos. Esta variable correlacionó en forma negativa y significativa con los pH en H₂O y KCl y en forma positiva y significativa con el porcentaje de materia orgánica. El cobre presentó valores de concentración de 7,0 a 25 mg/L con un promedio de 14,5 mg/L, encontrándose en buena cantidad en la zona; además, no tuvo correlaciones significativas con ninguna variable. Las variables manganeso e hierro mostraron patrones de concentración moderadamente altos entre 15 - 115 mg/L y 15 - 140 mg/L, respectivamente. Se observó que correlacionaron en forma negativa y altamente significativa con los pH en H₂O y KCl y positiva y altamente significativa con el porcentaje de materia orgánica.

LITERATURA CITADA

- BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la química de suelos. Washington D.C., Secretaría General de la O.E.A. 74 p.
- BOWER, C. A. *et al.* 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science* 73 (3): 251-261.
- CASTILLO, R. 1977. Geoquímica ambiental de la Península de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 25(2): 219-255.
- DIAZ-ROMEY, R.; BALERDI, D. 1967. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA. 3 p.
- DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p.
- FASSBENDER, H. W. 1980. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 398 p.
- FLORES, R.A. *et al.* 1979. Influencia de las propiedades del suelo del Pacífico Sur de Costa Rica sobre su contenido de cationes menores. II. Cobre y zinc extraíbles. *Turrialba* 29(2): 105-110.
- FORSYTHE, W. 1975. Manual de laboratorio de física de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 212 p.
- HODGSON, J. F. 1963. Chemistry of the micronutrient element in soil. *Advances in Agronomy* 15: 119-159.

- JEFFERY, J. J.; UREN, N. C. 1983. Copper and zinc species in the soil solution and the effect of soil pH. *Australian Journal of Soil Research* 21(4): 479-488.
- KNEZEK, B.D; ELLIS, B.G. 1980. Essential micronutrient. IV. Cooper, iron manganese and zinc. *In*. Applied soil trace element. New York, USA. Wiley and Sons. p. 259-283.
- LUCAS, R.E.; KNEZEK, B. O. 1972. Climatic and soil condition promoting micronutrient deficiencie in plant. *In*. Micronutrient in agriculture. Ed. by J.J. Mortvedt. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America. p. 265-288.
- MILLAN, E; HERAS, L. 1978. Influencia de algunos factores sobre la fijación de hierro por el suelo. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei* 14(1/2): 259-298.
- SAIZ DEL RIO, J, F; BORNEMISZA, E. 1962. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA. 107 p.
- SANCHO, F. *et al.* 1984. Fertilidad actual de los suelos de tres toposecuencias en el Pacífico seco de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 8(1): 9-16.
- VILLAVICENCIO, N. J. 1977. Determinación de cobre, zinc, manganeso en capas superficiales de entisoles, inceptisoles y ultisoles de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 86 p.