Agron. Costarr. 8(1): 9-16. 1984

FERTILIDAD ACTUAL DE LOS SUELOS DE TRES TOPOSECUENCIAS EN EL PACIFICO SECO DE COSTA RICA[1/*]

Freddy Sancho M. **
Alvaro Cordero V. **
Alfredo Alvarado H. **

ABSTRACT

Soil fertility in three toposequences on the Costa Rican dry Pacific lowlands. The study was conducted with soils fron the dry Pacific area of Costa Rica, representing a region of gentle slope, with different soils, managed almost idetically. The toposequences were selected in three areas with less than 3% slope, named Jicaral, Guardia and Pijije. Topsoil samples from soils on the high, middle and low positions were collected and analized for pH, O.M., P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. Increasing amounts of P, K, S, B, Cu, Mn, and Zn were added to the soils to estimate their fixation capacity of these elements.

There were differences in soil classification for each toposecuence. The phosphorus content varied from 1.3 to 12.2 μg/ml, and all the soils showed to be deficient. A decrease of phosphorus availability was noted in the lower positions of the landscape. Soil available P was lower in the Pijije toposequence made of volcanic ash deposits. Generally, potassium was not deficient except for the lower positions of the Guardia and Jicaral toposequences. The highest K fixation ocurred on those sites where large amounts of 2:1 clay were found (vertisols). The calcium and magnesium content varied from 3.8 to 38.4 and 1.1 – 13.3 meq/100 ml respectively. Calcium and magnesium contents increased toward the bottom of the slope. The high concentrations of calcium in the lowest parts has an effect on the availability of other elements, particularly P, K, and B. Sulphur and other minor elements deficiencies seem to be important in the region. In general, there are differences in the soil fertility among the toposequences studied. The poorest soils normally occupy the lower positions. It is recommended that more detailed field studies be carried out to establish differential managing practices.

INTRODUCCION

La región del Pacífico Seco de Costa Rica tiene una extensión aproximada de 13.000 km^2 y abarca un 25 por ciento del territorio nacional. Unicamente un 9 por ciento de los suelos se cultivan y contribuyen con un 37,5 por ciento del arroz, 27,4 por ciento del maíz, 26,7 por ciento del frijol, 57,7 por ciento del sorgo y 21,9 por ciento de la caña producidos en el país (10, 11).

---

1. Recibido para su publicación el 1 de setiembre de 1983.

* Parte del trabajo de tesis presentado por el primer autor para optar al grado de Magister Scientiae en el Programa UCR–CATIE.

** Profesores de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

De acuerdo con Pérez (25) el desarrollo de los suelos de la región ha sido notablemente influenciado por el factor relieve. Esta afirmación es apoyada por la hipótesis de Morison (24), quien indica que la diferenciación de propiedades entre los miembros de una toposecuencia alcanza su máxima expresión en la zona de sabana, bajo precipitaciones entre 1400 y 1750 mm.

La diferenciación de propiedades en una toposecuencia está relacionada con la erosión, la deposición de materiales, variaciones en la tabla de agua y la eluviación lateral de materiales en solución (3, 17, 24, 32). Uno de los principales efectos de la eluviación lateral de materiales en solución se produce sobre la formación de arcillas; el incremento en la concentración de sílice y bases, en la base de la pendiente permite la síntesis de montmorillonita, en áreas climáticamente favorables para su formación (7,32).

Debido a que en la región se observa en los cultivos rendimientos diferentes relacionados con la posición que ocupan los cultivos en la pendiente, se escogieron tres toposecuencias, en terrenos agrícolas, con el fin de estudiar su estado de fertilidad.

MATERIALES Y METODOS

Localización y clasificación de las secuencias

Las secuencias estudiadas incluyen algunos de los tipos de suelos más importantes de la región, presentando, todas ellas pendientes menores del 3 por ciento. La ubicación de cada una de las secuencias topográficas se presenta en la Figura 1.

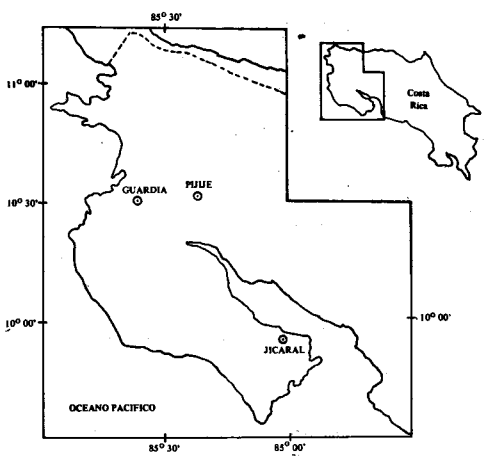

Fig. 1. Ubicación de las secuencias estudiadas.

De acuerdo con la clasificación de Köppen (1) las secuencias se encuentran en un clima tropical lluvioso y seco, localizado a alturas menores de 500 m.s.n.m. La región presenta una precipitación anual de 1500 a 2000 mm, existiendo dos épocas bien definidas, una estación lluviosa que va de mayo hasta noviembre y una estación seca de diciembre a abril. La temperatura es muy uniforme a través del año y la media oscila entre 26 y 29°C.

Un estudio detallado sobre la génesis y clasificación fue realizado por Mata (22). La clasificación de acuerdo con la Taxonomía de Suelos se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Clasificación de los suelos con base en la taxonomía de suelos

Secuencia	Suelo/Posición*	Clasificación
Jicaral	1	Fluventic Ustropept
	2	Vertic Ustropept
	3	Typic Pellustert
Guardia	1	Fluventic Ustropept
	2	Entic Chromoustert
	3	Typic Pellustert
Pijije	1	Lithic Usthortent
	2	Andic Ustic Humitropept
	3	Andic Ustic Humitropept
	4	Typic Distrandept

Tomado de Mata (22)

* Los números 1, 2, 3 y 4 indican la posición del suelo desde la posición más alta de la toposecuencia hasta la más baja.

Métodos de análisis de suelos

Las muestras de suelo se secaron al aire, se trituraron y se pasaron por un tamiz de 2mm. Se analizó fósforo, potasio, cobre, hierro, manganeso y zinc usando el procedimiento de extracción de Olsen modificado (14). El azufre y el boro se extrajeron con una solución de fosfato de calcio. Para la extracción de acidez intercambiable, calcio y magnesio se utilizó una solución de KCl 1N. La reacción del suelo se determinó usando suspensiones en H_2O y KCl 1N (14)

El análisis de materia orgánica se hizo de acuerdo con el método de combustión húmeda de Walkey y Black (30), modificado por Saíz del Río y Bornemisza (28), y el de textura utilizando el método modificado de Bouyoucos (6).

CENTRO NACIONAL DE INFORMACION AGROPECUARIA COSTA RICA

Estudios de fijación

Los estudios de fijación se realizaron adicionando a los suelos una serie de soluciones con concentraciones crecientes de nutrimentos. Los suelos se dejaron secar al aire y luego se extrajeron con los métodos anteriormente descritos. Los Cuadros 2 y 3 muestran la concentración de los elementos usados en el estudio de fijación.

La curvas de fijación se usaron para determinar la cantidad de nutrimento aplicado para extraer tres veces su nivel crítico. Los niveles críticos usados se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 2: Concentraciones de P, Cu, Mn, Zn y K usadas en el estudio de fijación

Tratamiento de fijación No.	Nutrimentos				
	µg/ml de suelo				meq/100 ml
	P	Cu	Mn	Zn	K
1	0	0	0	0	0
2	17,5	1,0	2,5	1,0	0,06
3	35,0	2,0	5,0	2,0	0,11
4	70,0	4,0	10,0	4,0	0,22
5	140,0	8,0	20,0	8,0	0,45
6	210,0	12,0	30,0	12,0	0,68
7	280,0	16,0	40,0	16,0	0,90
8	350,0	20,0	50,0	20,0	1,13
9	420,0	24,0	60,0	24,0	1,36
10	560,0	32,0	80,0	32,0	1,80
11	700,0	40,0	100,0	40,0	2,26

Cuadro 3: Concentraciones de S y B usados en el estudio de fijación

Tratamiento de fijación No.	µg/ml de suelo	
	S	B
1	0	0
2	10	1
3	20	2
4	50	5
5	100	10
6	200	20

Cuadro 4. Niveles críticos utilizados como criterio de fertilización

P	=	12 µg/ml de suelo
K	=	0.2 meq/100 ml de suelo
S	=	12 µg/ml de suelo
B	=	0.2 µg/ml de suelo
Cu	=	1 µg/ml de suelo
Mn	=	5 µg/ml de suelo
Zn	=	3 µg/ml de suelo

Tomado de Díaz-Romeu y Hunter (14)

RESULTADOS Y DISCUSION

Fertilidad inicial de los suelos

En el Cuadro 5 se presentan los análisis químicos para los suelos de las tres secuencias. Como se observa, en la región no ocurren problemas de acidez (2, 9, 19, 23) lo que se corrobora por los valores de pH y las cantidades tan bajas de aluminio intercambiable detectadas.

Los contenidos de materia orgánica fueron bajos, oscilando entre 1,1 y 7,6 por ciento. Los mayores contenidos en la toposecuencia Pijije están relacionados con la presencia de materiales volcánicos, del tipo de la alofana, con capacidad de formar complejos organominerales resistentes a la degradación (18).

El potasio en los suelos varió entre 0,11 y 1,54 meq/100 ml de suelo. Comparando estos datos con el nivel crítico de 0,2 meq K/100 ml de suelo, se nota que sólo los suelos de Jicaral 3 y Guardia 3 presentan contenidos inferiores. En ambas secuencias hay menos K disponible conforme se desciende en la pendiente.

Las toposecuencias Jicaral y Guardia se han formado sobre materiales parentales ricos en calcio que se presentan en la formaciones Rivas-Sabana Grande y en el Complejo de Nicoya, mientras que la toposecuencia Pijije tiene como material parental la Toba Riolítica de la

Cuadro 5: Análisis químicos iniciales de los suelos estudiados

	pH		M.O.	meq/100 ml de suelo				μg/ml de suelo						
	H_2O	KCl	%	K[1]	Ca[2]	Mg[2]	Al[2]	P[1]	S[3]	B[3]	Cu[1]	Fe[1]	Mn[1]	Zn[1]
Jicaral 1	6,6	5,0	2,45	0,42	38,40	9,90	0,20	11,2	11,8	0,6	5,5	5,3	5,7	1,5
Jicaral 2	6,1	5,0	5,22	1,15	25,50	6,60	0,15	12,2	15,0	0,6	5,5	16,0	9,2	1,8
Jicaral 3	6,4	5,0	3,36	0,15	34,80	13,30	0,15	4,0	8,7	0,6	13,6	8,7	19,2	2,4
Guardia 1	5,7	4,8	4,90	1,54	10,60	1,80	0,20	6,5	13,0	0,7	10,0	6,9	4,5	2,2
Guardia 2	5,7	4,7	3,54	0,80	16,50	3,10	0,18	9,5	4,3	0,1	12,0	71,0	7,0	2,1
Guardia 3	6,3	4,8	1,14	0,11	18,90	7,40	0,15	1,3	1,6	0,3	9,0	8,0	4,5	1,3
Pijije 1	5,9	4,9	1,32	0,80	3,80	1,10	0,15	4,5	3,8	0,1	3,5	47,3	8,7	2,2
Pijije 2	6,2	5,3	5,86	0,56	7,08	1,07	1,15	2,3	2,6	0,3	5,5	27,3	1,0	1,7
Pijije 3	6,6	5,8	4,72	0,49	10,42	1,43	0,17	2,7	0,5	0,1	5,5	24,0	1,0	1,7
Pijije 4	6,4	5,7	7,67	0,57	8,33	1,58	0,17	2,3	2,7	0,3	7,0	36,7	1,0	2,2

1/ Olsen modificado

2/ KCl 1N

3/ $CaH_4(PO_4)_2$

Formación Liberia (13, 22). Estas diferencias en el material parental se hacen evidentes en el contenido de calcio y magnesio de los suelos, aunque en ninguno de los casos se ha producido un lavado que origine suelos deficientes en calcio y magnesio, debido a la reciente formación de los suelos y a la poca lluvia estacional.

Se determinó mayores cantidades de calcio y magnesio en las posiciones más bajas de las secuencias, lo que se explica debido a la eluviación lateral de las bases (17). Las bases se acumulan en las partes depresionales donde existen estratos arcillosos y hay mal desagüe externo. También se produce movimiento de materiales en suspensión que por acción de la escorrentía superficial llegan a enriquecer los suelos en posiciones depresionales.

Las relaciones entre los elementos calcio, magnesio y potasio se presentan en el Cuadro 6; también se anotan los ámbitos sugeridos por Díaz–Romeu y Hunter (14). Los desbalances más importantes se presentaron entre los contenidos de magnesio y potasio en los suelos Jicaral 3 y Guardia 3, donde el potasio *per se* fue deficiente. La relación inversa entre el contenido de potasio y magnesio se debe a que en los suelos donde existen menores cantidades de potasio, hay mayores cantidades de arcilla montmorillonítica, que son ricas en magnesio y reconocidas fijadoras de potasio (15, 21).

Cuadro 6. Relaciones entre los elementos catiónicos

Suelo	Ca/Mg	Mg/K	Ca + Mg/K
Jicaral 1	3,8	23,5	115,0
Jicaral 2	3,8	5,7	31,2
Jicaral 3	2,6	88,6	320,7
Guardia 1	5,8	1,2	8,0
Guardia 2	5,3	3,9	24,5
Guardia 3	2,5	67,3	239,1
Pijije 1	3,4	1,4	6,1
Pijije 2	6,6	1,9	14,6
Pijije 3	7,3	2,9	24,2
Pijije 4	5,2	2,8	17,4
Nivel crítico*	1,2	1,6	3,5
Ambito adecuado	1,9–6,2	1,6–14	10–60

* Según recomendación de Díaz–Romeu y Hunter (14).

Las relaciones entre Ca + Mg/K muestran un comportamiento muy similar a las relaciones entre Mg/K, acentuándose la deficiencia de potasio que se presentó en los suelos clasificados como Typic Pellustert.

Todos los suelos con excepción del suelo Jicaral 2 presentaron contenidos de fósforo por debajo del nivel considerado como crítico (12μg/ml de suelo). Deficiencias de fósforo en la región han sido mencionadas por otros autores (2, 9, 19, 20,23). En las toposecuencias Jicaral y Guardia se observó una disminución en los contenidos de fósforo y azufre al descender en la pendiente. La menor disponibilidad de estos elementos estuvo asociada con el incremento en el contenido de arcillas.

Coincidiendo con los resultados de Bornemisza y Llanos (5), Cordero y Salas (9) y Ramírez (26) los análisis químicos muestran que la mayoría de los suelos son deficientes en azufre.

De acuerdo con los resultados de análisis de suelos para los diferentes micronutrimentos se observó que el zinc presentó contenidos muy bajos (1,3 – 2,2 μg/ml de suelo) encontrándose por debajo de su nivel crítico (3 μg/ml de suelo). El manganeso presentó contenidos inferiores al nivel crítico (5 μg/ml de suelo) en la toposecuencia Pijije, mientras que el hierro presentó niveles inferiores al nivel crítico en las posiciones 1 y 3 de las toposecuencias Guardia y Jicaral.

En el análisis de textura (Cuadro 7) se observó una gran similitud en los cambios de textura de los suelos de la toposecuencia Guardia y Jicaral. Debido a que estas toposecuencias se encuentran situadas sobre paisajes fluvénticos, al producirse desbordamientos del río, los materiales más gruesos son depositados formando el dique del río, y solo los materiales livianos son transportados y depositados a mayores distancias (3). Posterior a la formación de la pendiente ocurre una redistribución de materiales; así los materiales livianos son transportados de las partes altas hacia las posiciones depresionales. En las posiciones depresionales, además de existir una mayor cantidad de arcillas transportadas de otros sitios, existen condiciones favorables para la formación de arcillas 2:1, tales como una mayor cantidad de magnesio, valores de pH más altos y drenaje impedido (7, 33). En la toposecuencia Pijije no existe actividad fluvéntica que produzca una deposición tan diferenciada de materiales (22).

Cuadro 7. Análisis texturales de los suelos

Suelo	%Arena	%Limo	%Arcilla	Nombre textual
Jicaral 1	19	54	27	Franco arcillo-limoso
Jicaral 2	10	41	49	Arcillo-limoso
Jicaral 3	2	25	73	Arcilloso
Guardia 1	38	35	27	Franco-arcilloso
Guardia 2	18	35	47	Arcilloso
Guardia 3	9	17	74	Arcilloso
Pijije 1	67	23	10	Franco-arenoso
Pijije 2	26	45	29	Franco
Pijije 3	48	33	19	Franco
Pijije 4	38	43	19	Franco

Análisis de las curvas de fijación

Las cantidades aplicadas para extraer del suelo tres veces el nivel crítico se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Cantidad de Nutrimentos adicionados para extraer del suelo tres veces el nivel crítico

Suelo	Nutrimentos						
	meq/100 ml	μg/ml					
	K	P	S	B	Cu	Mn	Zn
Jicaral 1	0,45	90	24	0,7	–	55	26
Jicaral 2	–	141	25	0,3	–	–	25
Jicaral 3	1,68	324	36	1,2	–	62	23
Guardia 1	–	174	32	–	–	8	19
Guardia 2	–	185	36	2,3	–	2	16
Guardia 3	1,60	309	150	2,0	–	49	26
Pijije 1	–	90	68	0,5	–	10	13
Pijije 2	–	204	52	0,4	–	55	14
Pijije 3	0,18	234	44	1,6	–	80	15
Pijije 4	–	246	48	1,2	–	65	12
Nivel crítico	0,20	12	12	0,2	1	5	3
3 x nivel crítico	0,60	36	36	0,6	3	15	9

El fósforo adicionado para extraer tres veces su nivel crítico osciló entre 94 y 324 μg ml de suelo, y como se observa en la Figura 2 la toposecuencia Pijije presenta una mayor capacidad de fijación. Esta mayor fijación correlaciona con la menor disponibilidad observada en los análisis iniciales, y es explicada por la presencia de alofana, quien tiene una alta capacidad de fijación de fósforo (4, 16).

En las tres toposecuencias se observó un aumento en la fijación de fósforo al descender en la pendiente. En las secuencias Jicaral y Guardia este aumento en la fijación se explica por un aumento en la absorción de fosfatos y a una mayor precipitación de fosfatos de calcio (29).

La diferencia que se presenta entre el suelo Pijije 1 y los otros suelos de esta secuencia, se debe a que el suelo Pijije 1 se encuentra sobre un montículo severamente erosionado, en el cual se presenta una alta proporción de materiales gruesos, químicamente inertes.

La fijación de potasio (Figura 3) se presentó en mayor cantidad en los suelos Jicaral 3 y Guardia 3, ambos clasificados como Typic Pellustert, en los cuales se presenta una alta proporción de materiales arcillosos del grupo 2:1 (7), algunos de ellos altamente fijadores de potasio (21).

Se obtuvo una correlación negativa entre la fijación de potasio y la cantidad inicial de este elemento. También se presentaron correlaciones entre la fijación de potasio y los contenidos de calcio y magnesio, lo que concuerda con las indicaciones

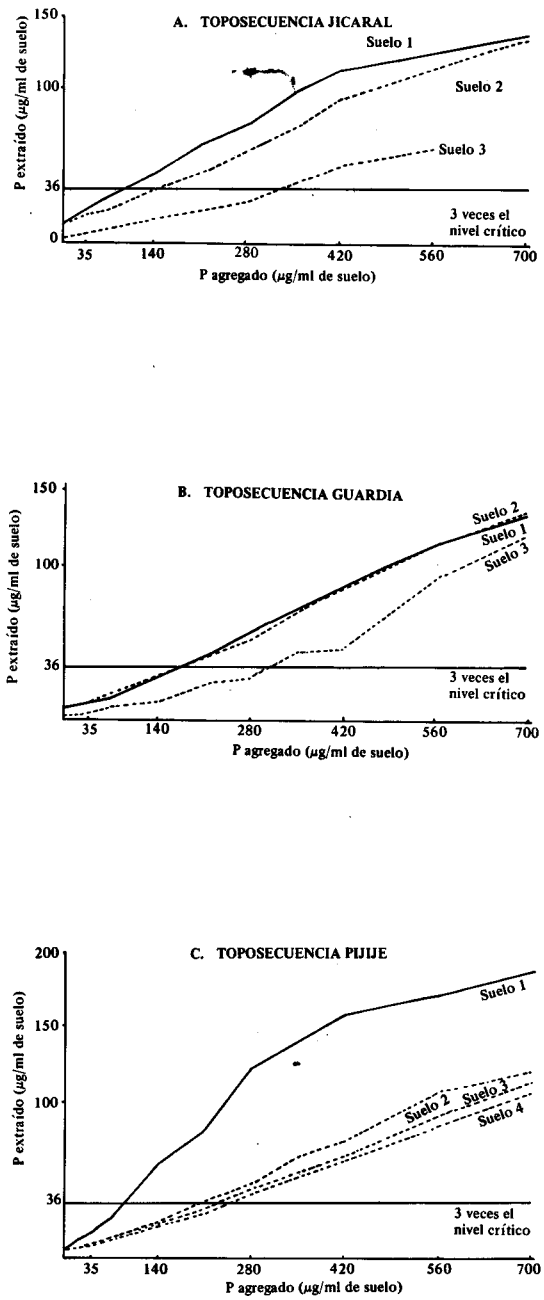

Fig. 2. Efecto de la adición de dosis crecientes de fósforo sobre la extracción de este nutrimento con la solución extractora modificada de $NaHCO_3$, en las toposecuencias de suelos, (A) Jicaral, (B) Guardia y (C) Pijije.

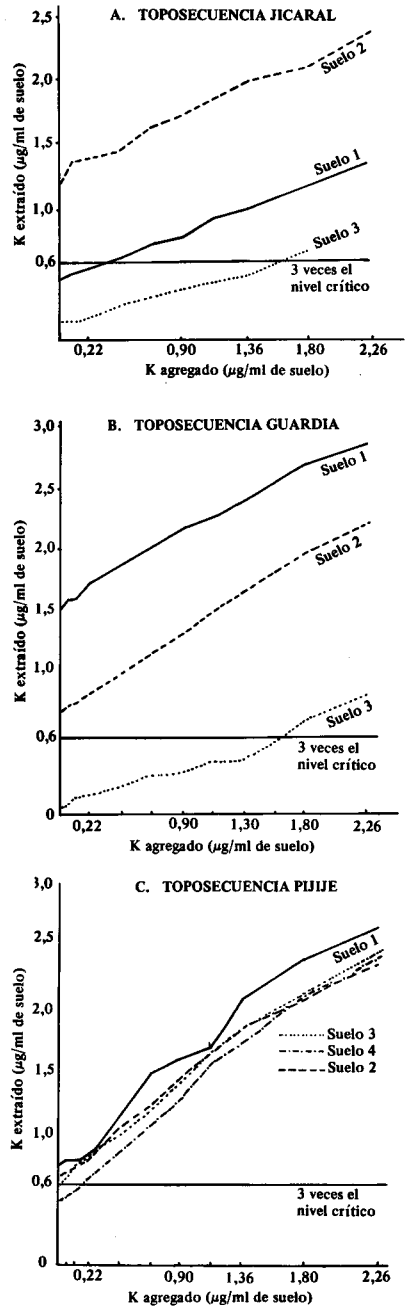

Fig. 3. Efecto de la adición de dosis crecientes de potasio sobre la extracción de este nutrimento, con la solución extractora modificada de $NaHCO_3$, en las toposecuencias de suelos (A) Jicaral, (B) Guardia y (C) Pijije.

de Wiklander (31) quien afirma que las concentraciones de calcio, magnesio y sodio promueven la fijación de potasio. Los suelos que presentaron la mayor fijación mostraron los mayores desbalances entre los elementos Mg/K y Ca + Mg/K.

En la toposecuencia de Pijije, no existen grandes cantidades de minerales arcillosos del tipo 2:1, ni tampoco existen diferencias notables en la cantidad de minerales arcillosos, por lo que en esta toposecuencia, además de presentarse una baja retención de potasio, existe similitud en el patrón de fijación.

El suelo con mayor capacidad de fijación de azufre y a la vez el más deficiente fue el suelo Guardia 3. Los otros suelos de las toposecuencias Jicaral y Guardia alcanzaron su nivel crítico con cantidades de azufre de 24 a 36 μg/ml de suelo. Los suelos de la toposecuencia Pijije requirieron cantidades más altas, variando entre 44 y 68 μg/ml de suelo. La mayor fijación de sulfatos en los suelos de la toposecuencia Pijije se debe a la presencia de materiales volcánicos (8, 22).

Las cantidades de boro adicionales para extraer 0,6 meq/100 ml oscilaron entre 0,3 y 2,3 μg/ml de suelo. No existieron diferencias entre las secuencias, pero sí se produjo un incremento en la fijación en los suelos de posiciones bajas, lo que es explicado por una mayor retención del boro en arcillas del tipo micáceo y en capas de hidróxidos de magnesio (12, 16).

Las cantidades de manganeso y zinc adicionadas para poder extraer tres veces sus niveles críticos varió entre 2 a 80 μgMn/ml de suelo, y 12 a 26 μgZn/ml de suelo, sin observarse ninguna tendencia en relación a la toposecuencia.

RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo con suelos del Pacífico Seco de Costa Rica, en una región de pendientes suaves con suelos diferentes que son manejados idénticamente. Se seleccionaron tres toposecuencias de suelos con pendientes menores del 3 por ciento en las localidades de Jicaral, Guardia y Pijije. Se recogieron muestras de los suelos de las posiciones alta, media y baja y se analizó pH, M. O., P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, S y Zn. Cantidades crecientes de P, K, S, B, Cu, Mn y Zn se adicionaron a los suelos para estimar la capacidad de fijación de estos elementos.

Se observaron diferencias en la clasificación de los suelos en cada una de las toposecuencias. El contenido de fósforo en la mayoría de los suelos fue deficiente, variando en 1,3 y 12,2 μg/ml y se notó una disminución en la disponibilidad en las posiciones más bajas del paisaje. La fijación de fosfatos fue más alta en la toposecuencia Pijije formada sobre depósitos volcánicos. El potasio no es limitante, excepto para los suelos en las posiciones más bajas de las toposecuencias Guardia y Jicaral, ambos clasificados como Typic Pellustert. El contenido de calcio varió entre 3,8 y 38,4 meq/100 ml y magnesio entre 1,1 y 13,3 meq/100 ml, no exhibiendo los suelos deficiencias en estos elementos. El contenido de calcio y magnesio aumentó conforme se desciende en la pendiente, y las altas concentraciones de calcio y magnesio en las partes bajas afectó la disponibilidad de P, K y B. La deficiencia de azufre y otros elementos menores parece ser importante en algunos de los suelos de la región.

En general sí hay diferencias en el estado de fertilidad actual entre cada uno de los suelos pertenecientes a las catenas, por lo que es recomendable realizar estudios de campo más detallados, para establecer prácticas de manejo diferencial.

LITERATURA CITADA

1. AGENCY INTERNATIONAL DEVELOPMENT. Análisis regional de recursos físicos, Centroamérica y Panamá, clima. Resources Inventory Center, Corp of Engineers, U. S. Army, Washington, D.C., 1965. Escala 1:750.000. Color. Hoja L 7–A.
2. ALPIZAR, R. Q. Fertilidad de los suelos cañeros costarricenses. Tesis Ing. Agr. Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1976. 120 p.
3. ALVARADO H., A. El origen de los suelos. Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1980. 74 p.
4. BERSTCH, F. Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Distrandept en Costa Rica; caracterización y comparación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1982. 125 p.
5. BORNEMISZA, E. y LLANOS, R. Sulphate movement, adsorption and desorption in three Costa Rican soils. Soil Science Society of America Proceeding 31 (3): 356-360. 1967.
6. BOUYOUCOS, G. The hydrometer method for studying soil. Soil Science 25: 365-369. 1928.
7. BURINGH, P. Introduction to the study of soil in tropical and subtropical regions. 2da. ed. Wageningen, The Netherlands, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1970. 99 p.

8. CHAO, T.T., HARWARD, M. E. y FANG, S.C. Adsorption and desorption phenomena of sulphate ions in soils. Soil Science Society of America Proceedings 26(3): 234-237. 1962.

9. CORDERO V., A. y SALAS, B.M. Problemas de fertilidad de algunos suelos de Guanacaste bajo explotación ganadera. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Noticiero de Agronomía 1(9): 1-14. 1972.

10. COSTA RICA, OFICINA DE PLANIFICACION SECTORIAL AGROPECUARIA. Información básica del sector agropecuario de Costa Rica. San José, Costa Rica, OPSA, 1977. 107 p.

11. COSTA RICA, SECRETARIA EJECUTIVA DE PLANIFICACION SECTORIAL AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. Información básica del sector agropecuario de Costa Rica. San José, Costa Rica, SEPSA, 1982. 155 p.

12. COUGH, E. L, y GRIM, C. K. Boron fixation by illites. Clays Clay Minerals 16: 249-256. 1968.

13. DENGO, G. Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. Costa Rica. Instituto Geográfico. Ministerio de Obras Públicas, 1962. 112 p.

14. DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1978, 62 p.

15. DUTHION, C. El potasio en el suelo. Revista de la Potasa 4:1-21, 1968.

16. FASSBENDER, H. W. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. Libros y materiales educativos no. 24. 1978. 398 p.

17. GREENE, H. Soil formation and water movement in the tropics. Soils and Fertilizers 10: 253-256. 1947.

18. GREENLAND, D. J. Interactions between clays and organic compounds in soils. I. Mechanisms of reteractions between clays and defined organic compounds. Soils and Fertilizers 28 (5): 413-425. 1965.

19. GUZMAN, P. L. Estudio Agrológico de la finca de la cooperativa Río Cañas. Tesis Ing. Agr. Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1974. 126 p. 5 mapas.

20. JIMENEZ, A. L. Efecto del N-P-K en el rendimiento del algodón sembrado en el Valle del Río Tempisque. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1967. 52 p.

21. KEMLER, G. Potassium deficiency in soils of the tropics as a constraint to food production. *In:* International Rice Research Institute. Soil related constraints to food production in the tropics. Manila, Philippines, IRRI, 1980. pp. 253-275.

22. MATA, R. Variaciones pedogenéticas de tres secuencias topográficas del bosque tropical seco de Costa Rica (Pacífico Norte). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1982, 120 p.

23. MOLINA, G. A. Estudio de fertilidad de cinco suelos de Guanacaste. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1973, 88 p.

24. MORISON, C. G. The catena concept and the classification of tropical soil. Commowealth Bureau Soil Science. Technical Communication no. 46. 1949. pp. 1-84.

25. PEREZ, R. S. Reporte de suelos de la zona norte de Guanacaste, Costa Rica. Proyecto de Desarrollo Forestal, Zonas Selectas. 1967. 40 p. Informe No. 4.

26. RAMIREZ, M. G. Efecto de diferentes fuentes y niveles de azufre en la composición y crecimiento del algodonero. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1971. 81 p.

27. RHOADES, J.D. INGVALSON, R.D. y HATCHER, J.T. Adsorption of boron by ferro magnesium minerals and magnesium hidroxide. Soil Sciencie Society America Proccedings 34: 934-941. 1970.

28. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, Departamento de Energía Nuclear, CATIE/IICA-OEA, 2da. ed., 1962. 197 p.

29. UDO, E. J. Forms and distribution of phosphorus in three Nigerian soil profiles along a toposequence. Tropical Agriculture 54 (2): 149-156. 1977.

30. WALKEY, A. y BLACK, C. A. An examination of the Degtajareff's method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38. 1938.

31. WIKLANDER, L. Forms of potassium in soil. *In.* Potassium Symposium. Zurich, 1954, pp. 109-121.

32. YOUNG, A. Tropical soils and surveys. London, England, Cambridge University Press, 1976. 648 p.