

RETENCION DE FOSFATOS EN ANDEPTS DE COSTA RICA. I. RELACIONES
ENTRE LA RETENCION DE FOSFATOS, EL pH EN NaF Y EL ALUMINIO ACTIVO¹ /

J. CANESSA*
F. SANCHO*
A. ALVARADO*

Summary

The relationship between retained P, pH in sodium fluoride and active aluminium content was studied in fifteen soils classified as Vitrandepts, Dystrandeps and Hydrandepts from the Central Volcanic Range of Costa Rica

Hydrandepts showed the highest average values for the three parameters (retained P, 92%, pH in sodium fluoride, 11.2, active aluminium, 3.90%). The values for the Dystrandeps were retained P, 84%; pH in sodium fluoride, 9.8%; active aluminium, 1.88%. For the Vitrandepts, values were retained P, 71%; pH in sodium fluoride, 9.4, active aluminium, 0.74%.

Retained P correlated positively and significantly with pH in sodium fluoride and active aluminium. A correlation between pH in sodium fluoride and active aluminium was found, showing that both parameters are efficient indicators of phosphate retention.

Active aluminium values higher than 2% and pH in sodium fluoride greater than 10.2 correspond to retained P values higher than 82%. Such levels could separate two soil populations (1) Those that retain P proportionally to increasing active aluminium contents, including soils with vitric properties or with a greater degree of crystallization (Vytrandeps and some Dystrandeps), and (2) Those soils in which retained phosphorus is not proportional with active aluminium contents, including soils with andic properties and predominantly amorphous mineralogy, chiefly Hydrandepts

Introducción

La alta retención de fosfatos es el mayor problema para el crecimiento de los cultivos en Andepts Bertsch *et al.* (3) en Dystrandeps demostraron que la deficiencia de fósforo fue el problema limitante esencial y prácticamente único en más de un 40% de los suelos

El problema de la retención de fosfatos con relación a otros suelos se demuestra en los estudios realizados por Fassbender (7) en Costa Rica, quien indica que

el promedio de retención de fosfatos fue de 42% , 58.2% y 86.4% para suelos aluviales, latosoles y andosoles respectivamente. Alvarado (1) trabajando con suelos de Costa Rica y Guatemala encontró valores de retención de fosfatos que fluctuaron desde 25.1% hasta 99.6% para suelos clasificados como Vitrandepts, Dystrandeps e Hydrandepts.

Mizota (15) encontró los valores más altos de capacidad de retención de fosfatos en suelos donde la alofaña y la imogolita son dominantes, mientras que suelos de mineralogía silico-opalina mostraron los valores más bajos

Según Kanehiro y Mikami (12) la presencia dominante de materiales amorfos en el suelo, está determinada por las condiciones ambientales en las cuales éste se ha formado. Aquí se menciona principalmente a la lluvia, debido a que la pérdida de sílice por lixiviación es el principal proceso activo que da origen

¹ Recibido para publicación el 4 de junio de 1986
Este trabajo constituye parte de la tesis de Licenciatura en Fitotecnia presentada por el primer autor a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica

* Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

a un ambiente ácido, rico en aluminio. Por el contrario en regiones secas existe un enriquecimiento de la solución con ese elemento y los cationes hidroxialumínicos tienden a cristalizar

Wada y Gunjigake (25) proponen que el complejo de cambio de **Andepts** sea definido en términos de la abundancia de aluminio activo, el cual es definido como:

- a Aluminosilicatos no cristalinos o paracristalinos tales como: alofana, constituyentes similares a la alofana e imogolita
- b Iones hidroxialumínicos interlaminares en silicatos integrados 2:1 y 2:1:1
- c Al-humus
- d Iones Al-intercambiable en silicatos laminares 2:1 y 1:1

La fracción aluminio activo contribuye en tal grado a la retención de fosfatos que se le ha considerado como criterio de clasificación por el ICOMAND (11). Varios investigadores han encontrado que la retención de fosfatos correlaciona mejor con el contenido de aluminio activo que con los contenidos de alofana (1, 2, 20, 22, 23).

El oxalato de amonio en medio ácido disuelve la alofana, algo de imogolita, óxidos de hierro pobremente estructurados, y complejos de Al y Fe-humus, liberando cantidades apreciables de Al, Fe y Si (18).

La alta correlación obtenida entre el aluminio extraíble en oxalato de amonio y el porcentaje de retención de fosfatos comprueba que el "aluminio amorfo" es uno de los principales compuestos que reacciona con el fosfato para aumentar la retención (13).

Cuando el fluoruro es adicionado al suelo se produce un gran desplazamiento de OH^- a partir de la reacción con los materiales amorfos. Este desplazamiento es proporcional al pH de la solución supernatante. Fieldes y Claridge, Romo y Roy (9, 21). El pH en NaF está mejor correlacionado con los contenidos de aluminio extraído con ditionito citrato que con la alofana en sí misma; de esto se desprende que la reacción al fluoruro no es específica para alofanas, sino que puede reaccionar con cualquier aluminio activo que pudiera estar presente (16, 22).

Alvarado (1) encontró una correlación positiva y significativa, entre el pH en NaF y la retención de fosfatos, obteniendo los menores valores de pH en suelos con bajos contenidos de arcillas o con alto grado de cristalización. El mismo autor, encontró

que suelos con más de 2.41% de aluminio extraíble en oxalato de amonio o con un pH en NaF después de 2 minutos mayor que 10.7, poseen una mineralogía de arcillas de tipo "amorfo" y capacidades de retención de fosfatos superiores al 85%.

El objetivo del presente trabajo fue determinar las relaciones existentes entre el pH en NaF 1N, el contenido de aluminio activo y la retención de fosfatos en suelos volcánicos de Costa Rica.

Materiales y métodos

La zona en estudio se encuentra en la denominada Cordillera Volcánica Central de Costa Rica (Fig 1). Se tomaron muestras de los primeros 30 cm de profundidad en 15 sitios previamente establecidos según estudios realizados por Alvarado (1).

Con el fin de ilustrar mejor las propiedades y comportamiento de los suelos derivados de cenizas volcánicas se trató de cubrir un amplio ámbito de características de suelo disponibles. La ubicación y otras características de los suelos se describen en el Cuadro 1.

Las muestras de suelo una vez traídas del campo, fueron pasadas a través de una malla de 2 mm de diámetro y almacenadas en bolsas de polietileno para

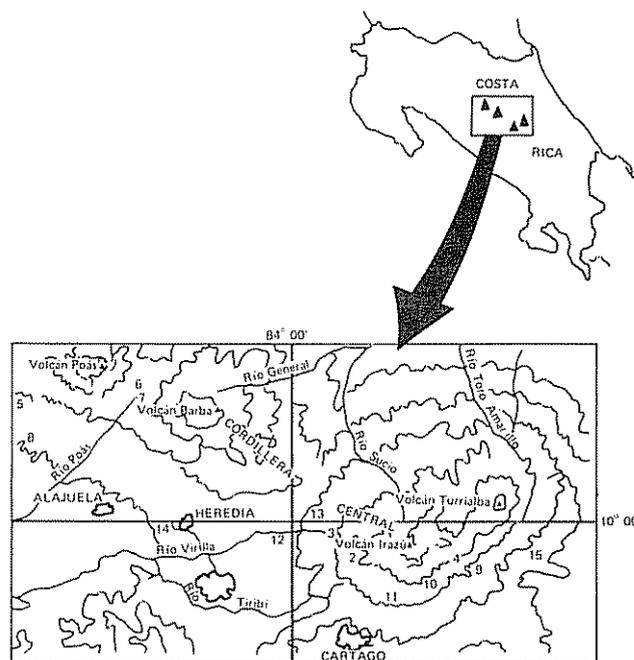


Fig 1 Ubicación geográfica de los suelos estudiados. 1. Altura; 2. Rancho Rendido; 3. La Nubes; 4. Estación Coliblanco; 5. La Luisa; 6. Poasito A; 7. Poasito B; 8. Grecia; 9. Capellades; 10. Hotel de Montaña; 11. Tierra Blanca; 12. Virilla Coronado; 13. Tanque San Rafael; 14. Barreal y 15. Santa Cruz.

Cuadro 1. Ubicación, altitud y clasificación de los suelos estudiados.

Suelo No.	Ubicación	Altitud msnm	Clasificación
1	Altura	2 226	Typic Hydrandept
2	Rancho Redondo	2 256	Typic Vitrandept
3	Las Nubes Coronado	1 716	Typic Vitrandept
4	Coliblanco de Cartago	3 079	Typic Vitrandept
5	La Luisa de Grecia	1 286	Typic Dystrandept
6	Poasito A	1 966	Typic Hydrandept
7	Poasito B	1 966	Typic Hydrandept
8	Grecia	579	Typic Dystrandept
9	Capellades	1 920	Typic Hydrandept
10	Hotel de Montaña	2 957	Typic Vitrandept
11	Tierra Blanca	2 226	Typic Dystrandept
12	Virilla-Coronado	1 426	Typic Dystrandept
13	Tanque de San Rafael	1 619	Typic Vitrandept
14	Barreal de Heredia	1 021	Typic Dystrandept
15	Santa Cruz de Turrialba	1 472	Typic Hydrandept

evitar cambios en las propiedades químicas del suelo debidas a la pérdida de humedad. Todos los análisis se hicieron en húmedo y se registraron con base en el peso seco después de haber obtenido la humedad gravimétrica.

Los procedimientos de análisis de rutina se desarrollaron con base en la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter (5).

El análisis granulométrico se realizó con base a los procedimientos sugeridos por el Servicio de Conservación de Suelos del USDA (22).

El aluminio activo se extrajo a partir de una muestra de suelo de 0.5 g a la cual se le adicionó 10 ml de una solución 0.2 M de oxalato ácido de amonio, ajustado a pH 3. La mezcla suelo: solución se agitó en la oscuridad durante dos horas y luego se centrifugó. Los contenidos de aluminio se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica (16).

También se midió el pH en NaF 1N en una relación 1:50 después de 2 minutos de reacción según lo describen Fieldes y Perrott (8). El porcentaje de retención de fosfatos se calculó como $(100(1-b))$, donde b es la pendiente de la regresión lineal de P-adicionado sobre P-extraído para cada suelo, según lo sugiere Alvarado (1).

Resultados y discusión

Caracterización físico-química de los suelos

Los promedios para cada uno de los elementos analizados se muestran en el Cuadro 2. En términos

generales se observa una tendencia del pH a disminuir conforme se avanza de **Vitrandoepts** hasta **Hydrandoepts**, lo que concuerda con las afirmaciones de Egawa (6), quien considera que los suelos derivados de cenizas volcánicas recientes presentan valores de pH neutro, producto de un contenido bajo de materia orgánica y una reducida lixiviación de las bases intercambiables. Los valores de pH ácido son el resultado de una mayor actividad del Al-intercambiable, contenidos elevados de materia orgánica y una baja saturación de bases intercambiables (14).

Las fluctuaciones en los niveles de Ca, Mg y K son el resultado de diferencias en el material parental y la precipitación pluvial (14), y en el presente estudio se encontró que los **Dystrandoepts** presentaron el mayor contenido de bases, los **Vitrandoepts** cantidades medias y los **Hydrandoepts** las menores cantidades.

El P, S y B mostraron una tendencia similar ya que, disminuyeron sus contenidos desde **Vitrandoepts** hasta **Hydrandoepts**, lo cual es explicado por cuanto la mineralogía de cenizas y el grado de meteorización del suelo determinan la magnitud de la capacidad de retención de estos elementos (6, 10). Los menores contenidos de S y B en **Hydrandoepts** se explican no sólo por la retención sino también por la lixiviación de dichos elementos (10).

El Cu y el Zn no mostraron tendencias marcadas entre los Grandes Grupos de Suelos. Los contenidos de materia orgánica aumentaron con el grado de meteorización de los suelos, siendo máximo en **Hydrandoepts**, lo cual se atribuye a la formación de complejos Al-humus y Fe-humus (6).

Cuadro 2. Propiedades físico-químicas de los suelos estudiados.

No.	pH		cmol (+)-l-1										ugm.l suelo					%	
	H ₂ O	KCl	Acid	K	Ca	Mg	S.B.	P	S	B	Cu	Zn	M.O.	Are	Fr.F				
	VITRANDEPT																		
02	6.2	4.8	0.21	0.38	2.53	0.58	3.49	38.8	13.2	0.31	14.9	2.8	2.3	69.8	30.2				
03	5.8	4.7	0.64	0.45	2.10	0.77	3.32	28.3	36.5	0.49	18.9	7.4	6.7	60.5	39.5				
04	6.2	4.5	0.70	0.13	1.84	0.33	2.30	32.4	34.5	0.48	25.3	7.4	7.1	62.2	37.8				
10	6.1	4.7	1.01	0.45	1.84	0.36	2.65	120.0	15.4	0.30	15.4	2.6	3.4	65.6	34.4				
13	5.7	5.0	0.64	0.58	3.00	1.43	5.01	7.8	23.4	0.31	23.3	15.0	9.9	54.7	45.3				
X	6.0	4.7	0.64	0.40	2.26	0.69	3.35	45.5	24.6	0.38	19.6	7.2	5.9	62.6	37.4				
	DYSTRANDEPT																		
05	5.2	4.4	0.78	0.48	1.84	0.33	2.65	6.5	6.1	0.44	18.8	6.1	8.8	15.6	84.4				
08	5.8	4.4	0.37	1.03	8.70	1.52	11.30	17.4	13.3	0.61	22.8	5.2	9.6	12.0	88.0				
11	5.8	4.7	0.37	0.90	5.74	1.90	8.54	5.2	14.0	0.16	23.9	2.2	7.6	34.1	65.9				
12	5.9	5.0	0.27	1.15	7.01	1.50	9.66	50.7	17.8	0.18	24.5	8.0	8.8	47.8	52.2				
14	5.5	4.5	1.30	0.51	2.53	0.81	3.85	94.0	14.4	0.41	19.9	6.6	7.5	32.3	67.7				
X	5.6	4.6	0.62	0.81	5.20	1.21	7.20	34.8	13.1	0.36	22.0	5.6	8.5	28.4	71.6				
	HYDRANDEPT																		
01	5.5	4.5	0.59	0.32	1.60	0.68	2.60	6.5	7.5	0.45	13.6	9.1	18.1	27.3	72.7				
06	5.6	4.9	0.32	0.40	2.10	0.55	3.05	7.4	14.5	0.31	18.5	9.1	10.1	30.1	69.9				
07	5.5	4.6	0.64	0.78	3.22	0.79	4.79	6.3	11.2	0.31	12.5	12.4	17.9	30.0	70.0				
09	5.7	4.5	0.78	0.33	1.39	0.83	2.55	28.4	8.2	0.51	18.5	9.6	15.6	22.0	78.0				
15	5.5	4.2	1.40	0.27	1.84	0.24	2.35	10.9	5.7	0.45	25.2	4.6	15.3	48.4	51.6				
X	5.6	4.5	0.75	0.42	2.03	0.62	3.07	11.9	9.4	0.33	17.7	8.9	15.4	31.6	68.4				

Por su parte, el contenido de arenas disminuyó y la fracción fina aumentó conforme se desplazó de **Vitrandepts** hasta **Hydrandepts**. Esto se atribuyó a las diferencias en el grado de meteorización de los suelos

Fósforo retenido, pH en NaF y aluminio activo

Como se muestra en el Cuadro 3, existe una tendencia del fósforo retenido, el pH en NaF y el aluminio activo a aumentar en la medida en que se desplaza del Gran Grupo **Vitrandepts** hasta **Hydrandepts**. Este comportamiento ya ha sido descrito por otros investigadores (1, 7).

Dichas diferencias son atribuibles al grado de meteorización de estos suelos, ya que los **Vitrandepts** son suelos poco meteorizados que presentan abundancia de minerales primarios. En el presente estudio se mostró que al aumentar el contenido de arenas el porcentaje de retención de fosfatos disminuyó significativamente ($r = 0.604$, $p > 0.05$)

Los menores contenidos de aluminio activo en estos suelos ($x = 0.74\%$) explican también los bajos valores de retención de fosfatos, habida cuenta del papel preponderante de esta fracción en la retención del mismo (13).

En los **Vitrandepts** el pH en NaF alcanzó el valor promedio más bajo ($x = 9.4$) en comparación con los otros dos Grandes Grupos, debido al menor desplazamiento de iones OH^- a partir de los materiales amorfos. Estos al encontrarse en menores cantidades producen un incremento de menor magnitud en el pH de la solución supernatante (8, 21).

Por otro lado, el Gran Grupo de los **Hydrandepts** presentó los mayores valores de retención de fosfatos, lo cual es atribuible a la predominancia de la fracción de aluminio activo en el suelo ($x = 3.9\%$). Dicha fracción posee una gran superficie específica y al presentarse en forma hidratada mantiene la condición hidrogel, lo que aumenta la capacidad de retención de fosfatos según lo ha demostrado Colwell (4).

Los **Hydrandepts** presentaron el pH en NaF más alto ($x = 11.2$), como consecuencia de los mayores contenidos de aluminio activo. Estos resultados permiten separar a los **Hydrandepts** como los suelos volcánicos más problemáticos en cuanto a la retención de fosfatos

Los **Dystrandepts** ocuparon una posición medial con respecto a los dos Grandes Grupos anteriores. En estos suelos el contenido de materiales amorfos es menor que en los **Hydrandepts** como consecuencia del papel determinante que tienen las condiciones ambientales. Los ciclos de humedecimiento y seca-

miento alternos, característicos de los regímenes ústicos, hacen que los iones hidroxialumínicos tiendan a cristalizar reduciendo así la retención de fosfatos, el pH en NaF y el contenido de aluminio activo

Retención de fosfatos y pH en NaF

La retención de fosfatos correlacionó en forma positiva y significativa con el pH en NaF (Fig. 2), similares resultados fueron obtenidos por Alvarado (1) trabajando con **Andepts** de Guatemala y Costa Rica

La adición de fluoruro al suelo produjo el desplazamiento de iones hidroxilo a partir de la reacción con los materiales amorfos, el cual fue menor en los **Vitrandepts**, que son suelos poco meteorizados, de ahí que ocuparon la posición basal en el modelo de regresión que se ilustra en la Fig. 2. Los **Dystrandepts** se situaron en una posición medial y los **Hydrandepts** ocuparon la posición distal, en correspondencia con los mayores contenidos de aluminio activo que reaccionan con el ion fluoruro adicionado y provocan un mayor desplazamiento de iones hidroxilo (22).

También el comportamiento de estas dos variables se puede atribuir a que la liberación de iones hidroxilo es proporcional a la relación molar $\text{Al}/\text{Al}+\text{Si}$. Los

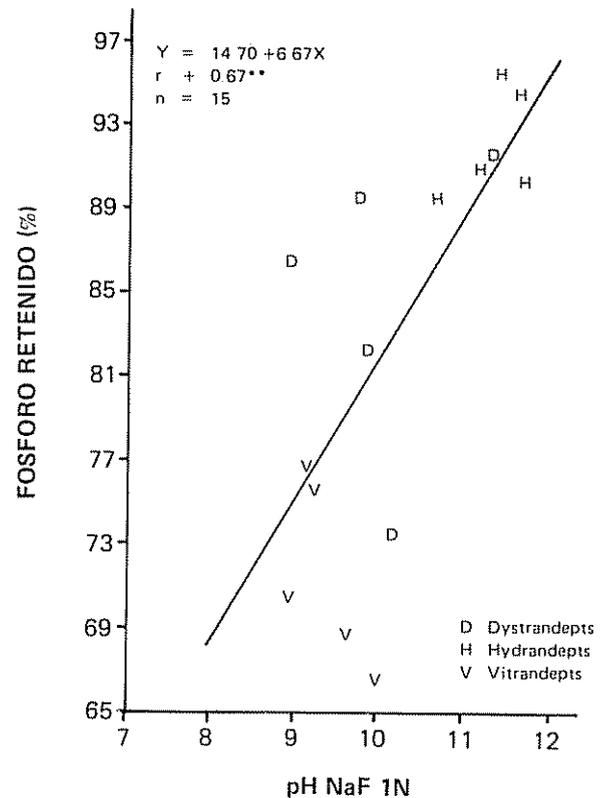


Fig. 2 pH en NaF y fósforo retenido en suelos volcánicos de Costa Rica

suelos poco meteorizados como los **Vitrandepts** presentan una relación molar baja, por lo que existe una menor liberación de iones hidroxilo, un pH en NaF más bajo y en consecuencia una menor capacidad de retener fosfatos (19).

La medición de la reacción con el fluoruro de sodio, así como la retención de fosfatos indican la dominancia del aluminio activo. En consecuencia, los anteriores parámetros pueden ser usados como criterios útiles para definir la clasificación de los suelos volcánicos.

Retención de fosfatos y aluminio activo

Se obtuvo una correlación positiva y significativa entre la retención de fosfatos y el contenido de aluminio activo (Fig. 3). Comportamientos similares han sido descritos por otros investigadores (12, 13).

La adición de oxalato ácido produjo una disolución del aluminio asociado con la alofana, la imogolita, y los óxidos de hierro y aluminio (18). La alta correlación obtenida entre estas dos variables comprobó que el aluminio activo es uno de las principales formas del elemento que reaccionan con el ion fosfato para aumentar la retención.

Considerando los criterios de Icomand (11), un contenido igual o superior al 2% de aluminio activo define al suelo como ándico, es decir, con una predominancia de materiales amorfos en el complejo de cambio. De acuerdo a las regresiones obtenidas entre el pH en NaF, el % P-retenido y el % Aluminio activo ese valor sugerido por el ICOMAND corresponde según el presente estudio, a una retención de fosfatos superior al 82% y un pH en NaF mayor de 10.2. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Kawai (13) y Alvarado (1).

Un valor de retención de fosfatos mayor de 82% y un pH mayor de 10.2 podrían utilizarse para separar dos grupos de suelos:

1. Suelos con propiedades vitricas (**Vitrandepts**) o mayor grado de cristalización de minerales (**Dystrandepts**), que retienen fosfatos en proporción a los aumentos en los contenidos de aluminio activo (segmento lineal de la regresión)
2. Suelos con propiedades ándicas en los cuales el fósforo es retenido sin guardar proporción con los aumentos en el contenido de aluminio activo (segmento cuadrático), que incluye principalmente a los **Hydrandepts**.

La pendiente del modelo cuadrático que se muestra en la Fig. 3 podría entonces indicar incrementos

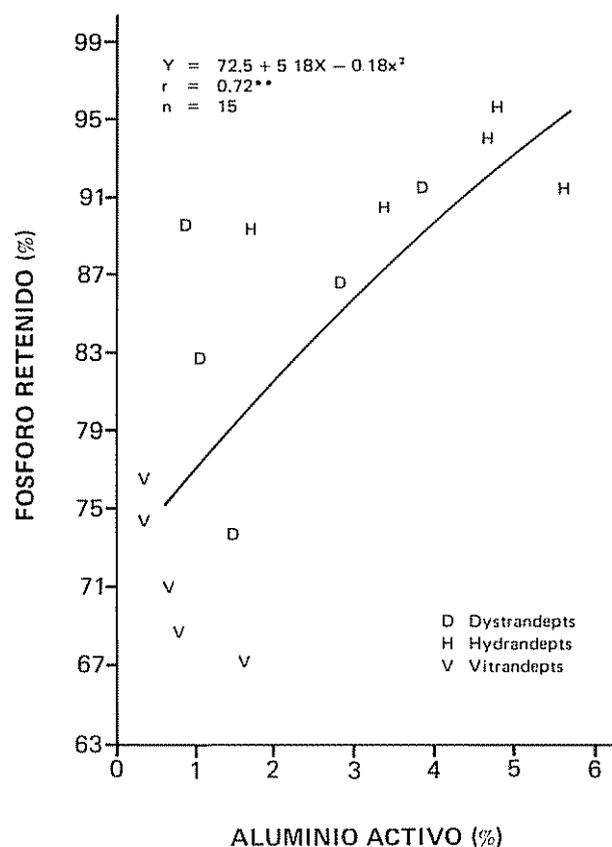


Fig. 3 Aluminio activo y fósforo retenido en suelos volcánicos de Costa Rica.

en la cantidad relativa de arcillas no cristalinas con respecto a la fracción cristalina (12).

Aluminio activo y pH en NaF

Los valores de pH en NaF mostraron una estrecha correlación positiva y significancia (Fig. 4) con el contenido de aluminio activo. La correlación entre ambas variables se explica por el modo de acción del ión fluoruro que reacciona con cualquier aluminio activo presente en el suelo (16).

Resumen

En 15 suelos ubicados en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, clasificados como **Andepts**, y pertenecientes a los Grandes Grupos **Vitrandepts**, **Dystrandepts** e **Hydrandepts**, se estudió la relación entre el porcentaje de P-retenido, el pH en NaF y el contenido de aluminio activo.

Los **Hydrandepts** presentaron en promedio los mayores valores para las tres variables evaluadas (P-retenido: 92%, pH NaF 11.2 y Al-activo 3.90%), los

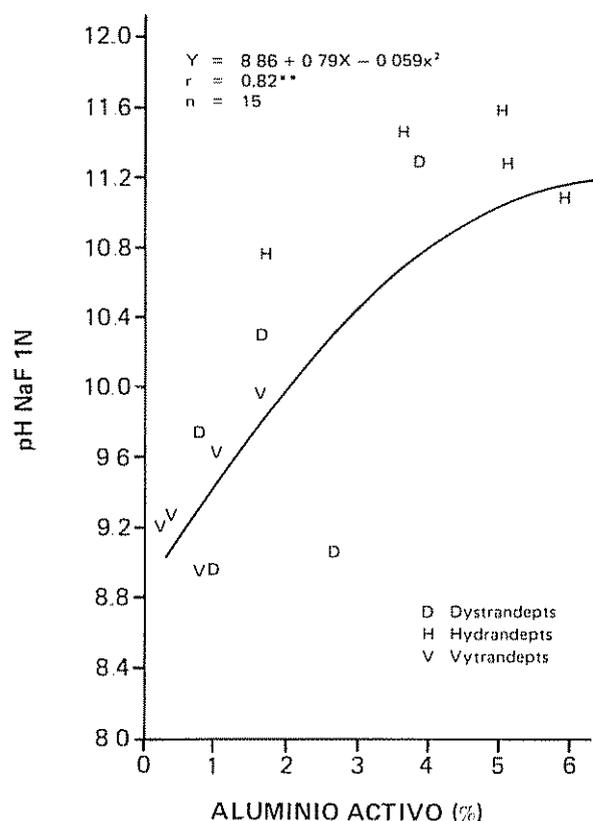


Fig 4 Aluminio activo y pH en NaF en suelos volcánicos de Costa Rica

Dystrandeps ocuparon una posición intermedia (P-retenido 84% , pH NaF 9.8 y Al-activo 1.88%) y los menores valores se presentaron en el Gran Grupo de los **Vitrandeps** (P-retenido 71% , pH NaF 9.4 y Al-activo 0.74%).

El porcentaje de P-retenido correlacionó en forma positiva y significativa con los valores de pH en NaF y % Al-activo. Así mismo, el pH en NaF y el Al-activo correlacionó entre sí demostrando que ambos son eficientes indicadores de la retención de fosfatos.

Los valores de pH en NaF mayores de 10.2 y de Al-activo superiores al 2.0% corresponden con valores de P-retenido mayores del 82%. Dichos niveles podrían separar dos poblaciones de suelos: 1. Los que retienen fósforo en proporción a los aumentos en los contenidos de aluminio activo y que incluye principalmente a suelos con propiedades vítricas o con mayor grado de cristalización (**Vitrandeps** y algunos **Dystrandeps**); y 2. Aquéllos en los cuales el fósforo retenido no guarda proporción con los aumentos en el contenido de aluminio activo, y que incluye suelos con propiedades ácidas y de mineralogía predominante "amorfa", principalmente el Gran Grupo de los **Hydrandeps**.

Literatura citada

- 1 ALVARADO, A. 1982. Phosphate adsorption in **Andepts** from Guatemala and Costa Rica as related to other soil properties. Ph.D. Thesis. Raleigh, North Carolina State University. 82 p.
- 2 ALVARADO, A. 1984. Aluminio activo en suelos de cenizas volcánicas de Costa Rica y Guatemala. *Turrialba (Costa Rica)* 34(3): 396-398.
- 3 BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1984. Fertilidad de **Typic Dystrandeps** de Costa Rica. II. Aniones (N, P, B, S, Mo), materia orgánica y textura. *Turrialba (Costa Rica)* 34(2):199-205.
- 4 COLWELL, J.D. 1959. Phosphate sorption by iron and aluminium oxides. *Australian Journal of Applied Science* 10:95-103.
- 5 DIAZ-ROMEY, R., HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones de invernadero. *Turrialba, Costa Rica, CATIE*. 61 p.
- 6 EGAWA, T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón*. Ed. por Y. Ishizoka y C.A. Black. México, CYMMYT. p. 14-67.
- 7 FASSBENDER, H.W. 1969. Estudio del fósforo en suelos de América Central IV. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. *Turrialba (Costa Rica)* 19(1):497-505.
- 8 FIELDS, M.; PERROTT, K.W. 1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. *N.Z. Journal Science* 9:623-629.
- 9 FIELDS, M.; PERROTT, K.W., CLARIDGE, G.B. 1975. Allophane. In *Soil components; inorganic components*. Ed. by J.E. Gieseking. New York, Springer Verlag. p. 351-393.
- 10 FOX, R.L. 1974. Chemistry and management of soils dominated by amorphous colloids. *Soil and Crop Science Society Florida* 33:112.
- 11 ICOMAND 1983. (International Committee on the Classification of Andisols). Circular Letter No. 5. p. 7.

- 12 KANEHIRO, Y., MIKAMI, D.T. 1972. Some exchange adsorption and fixation properties of amorphous volcanic ash soils of Hawaii. In Panel sobre suelos volcánicos de América. 2, 1972, Pasto, Colombia. IICA-OEA. 34 p.
- 13 KAWAI, K. 1980. The relationship of phosphorus adsorption to amorphous aluminium for characterizing andosols. *Soil Science* 129:186-189.
- 14 MARTINI, J.A. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Centro América. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. 1969, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. IICA. p. A-5.
- 15 MIZOTA, CH. 1977. Phosphate fixation by ando soils: difference in their clay mineral composition. *Soil Science Plantarum Nature* 23(3): 311-318.
- 16 MIZOTA, CH., WADA, K. 1980. Implications of clay mineralogy to the weathering and chemistry of Ap horizons of ando soils in Japan. *Geoderma* 23(1):49-63.
- 17 McKEAGUE, J.A., DAY, J.H. 1966. Dithionate and oxalate-extractable Fe and Al as in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal of Soil Science* 46:13-22.
- 18 PARFITT, R.L., HENMI, T. 1982. Comparison of an oxalate-extraction method and an infrared spectroscopic method for determining allophane in soil clays. *Soil Science Plant Nutrition* 28(2):183-190.
- 19 PERROTTI, K.W., SMITH, B.F.L., INKSON, R.E.H. 1976. The reaction of fluoride with soils and soil minerals. *Journal Soil Science* 27:58-67.
- 20 PRASAD, S., MOTTO, H.L. 1982. Retention of applied P by volcanic ash soil: influence on available P and soluble Al. *Commun. in Soil Plant Analysis* 13(6):441-452.
- 21 ROMO, L.A., ROY, R. 1957. The substitution of OH⁻ by F⁻ in various hydroxide minerals. *American Mineralogist* 42:165-177.
- 22 SHOJI, S., FUJIWARA, Y. 1984. Active aluminium and iron in the humus horizons of ando soils from northeastern Japan; their forms, properties and significance in clay weathering. *Soil Science* 137(4):216-226.
- 23 TANDON, H.L.S. 1968. Fluoride-extractable aluminium in soils II. As an index of phosphate retention by soils. *Soil Science* 109(1):13-18.
- 24 U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1972. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Washington, D.C., Soil Conservation Service. 63 p.
- 25 WADA, K., GUNJIGAKE, N. 1979. Active aluminium and iron and phosphate adsorption in ando soils. *Soil Science* 128(6):331-336.