

Efecto del encalado sobre las cargas eléctricas y otras propiedades químicas de tres inceptisoles de Costa Rica^{*1/}—

A M DE ALMEIDA**, E BORNEMISZA***

ABSTRACT

The effects of liming on three surface soils from the Atlantic region of Costa Rica, two typic Dystrypepts (Colorado and Instituto series) and a typic Humitropept (Paraiso series) was studied in the greenhouse. The effects of five levels of liming on pH, exchange acidity, ZPC, soil electric charges, dry matter production and P absorption was determined.

The soils were incubated with the lime treatments for 30 days. The indicator plant was sorghum and it was cut after 25 days and twice again after 4 week periods. The dry matter produced and the P. absorbed were determined for each harvest.

The plants received a complete fertilizer treatment before planting. Nitrogen was applied after the first harvest and a complete fertilizer treatment but half the original amount, after the second harvest.

The soils were sampled and analysed before liming, after the incubation period and at the end of the experiment.

It was found that all lime applications resulted in significant pH increases, in highly significant decreases of exchange acidity, a small increase in the ZPC and of the net electric charges of the soil. The positive charges decreased and the negative charges increased. There was also an increase of dry matter production with the first levels of liming and of P absorption.

The most adequate liming level in conditions of the present experiment was three times exchangeable Al.

The pH level corresponding to maximum production and P absorption was between 5.2 and 5.4. This shows that it might not be necessary to reach pH 5.5, as usually suggested, for optimum results. However, pH 5.5 should not be surpassed.

For the inceptisols studied the ZPC values are in a range where liming practices as suggested above do not affect it adversely, as long as liming is practiced in accordance to exchangeable Al levels.

Introducción

MUCHOS suelos del trópico húmedo se caracterizan por un complejo de cambio dominado por cargas dependientes del pH, hecho poco común en suelos de regiones templadas cuyos coloides tienen principalmente cargas permanentes (14, 24, 25, 26).

* Recibido para la publicación el 29 de agosto de 1977.

^{1/} Este trabajo contiene parte de la tesis de MS del primer autor, presentado al Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas UCR-CATIE.

** Prof. Escola de Agronomia de Univ. Fed. de Paraíba, Areia, Pb. Brasil.

*** Catedrático Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria, San José, Costa Rica.

La carga variable o dependiente de pH en la fracción inorgánica de suelo se debe a los óxidos e hidróxidos amorfos de Fe, Al y Si; la superficie de estos minerales contiene iones no completamente coordinados y por esto la superficie está cargada eléctricamente (18). Además de estos minerales, otros materiales se comportan en forma similar debido a mecanismos de formación de cargas semejantes (arcillas tipo 1:1, alofana y otros materiales amorfos) (25).

Como estas cargas regulan el intercambio de iones en los suelos su conocimiento es importante ya que influyen sobre los procesos pedológicos y el manejo adecuado del suelo. Por este motivo se debe conocer la magnitud y el signo de las cargas variables para asegurar el manejo adecuado del suelo (14, 25, 26).

Se conoce que la capacidad de intercambio catiónica (CIC) medida al pH del medio edáfico puede diferir de la capacidad de intercambio medida a pH constante y está sujeta a fluctuaciones considerables. Sin embargo la CIC determina en un momento dado la totalidad de cationes retenidos.

Según Van Raij y Peech (26) y Summer (23), los métodos comunes para determinar la CIC no representan la condición de suelos con cargas variables por dos razones; primero, se determina usualmente a un valor arbitrario de pH que no se relaciona con el valor natural de pH encontrado en condiciones de campo; segundo, el uso de alcohol o agua para remover el exceso del electrolito saturante, que también es común en los métodos, causa un desprendimiento de cationes, falsificando así los datos.

Uehara y Keng (25) mencionan que el conocimiento del punto de carga cero (ZPC) o punto isoeléctrico y de las cargas netas del suelo es importante para el manejo del mismo. Estos autores indican que los métodos descritos por Van Raij y Peech (26) son adecuados para la determinación de estas variables en suelos que contienen cantidades apreciables de minerales con cargas dependientes del pH.

Según Lyklema, citado por Uehara y Keng (25), la aplicación de cal a los suelos oxidicos, puede resultar en la floculación o dispersión, dependiendo de si el encalamiento cambia la carga superficial efectiva de positiva a cero (floculación), o de cero a negativa (dispersión). En general, la cal no dispersa los suelos cao-liníticos-oxidicos, porque, aunque permite el desarrollo de cargas superficiales, ella no crea necesariamente cargas efectivas, especialmente a pH-s bajos.

Con miras a obtener datos sobre suelos con diferentes contenidos de materiales amorfos de Costa Rica se realizó el presente trabajo.

Materiales y métodos

Suelos

Los suelos utilizados en el ensayo corresponden a los horizontes superficiales (0-15 cm) de tres series de suelos de la Vertiente Atlántica de Costa Rica: Colorado (Typic Dystropept, muy fino, mixto, isohyper-térmico), Instituto (Typic Dystropept, fino, mixto, isohyper-térmico) y Paraíso (Typic Humitropept, muy fino, mixto, isotérmico) (2,16).

Las características químicas de los tres suelos antes del encalado se presentan en el Cuadro 1.

Estudio de Invernadero

Se estableció un experimento de invernadero utilizando macetas con capacidad de tres kilogramos. Los suelos fueron previamente incubados con cal, según las dosis presentadas en el Cuadro 2, por un período de 30 días.

Cuadro 1.—Características químicas de los suelos antes del encalado

Determinación	Suelo		
	Colorado	Instituto	Paraíso
pH en H ₂ O	4.9	5.1	4.8
pH en KCl N	4.0	4.3	4.0
M. O. %	5.4	7.4	8.4
C I C meq/100 g	23.4	26.8	30.6
Ca meq/100 g	1.90	2.47	3.08
Mg meq/100 g	1.32	1.40	2.32
K meq/100 g	0.83	0.69	0.45
Na meq/100 g	0.15	0.15	0.19
Acidez interc. meq/100 g	1.63	0.72	1.31
Ca/Mg	1.44	1.76	1.33
Ca/K	2.29	3.58	6.81
Ca + Mg/K	3.88	5.61	12.00

Se aplicó uniformemente antes de la siembra una fertilización básica de N, P, K y elementos menores. Después del primer corte se aplicó una fertilización nitrogenada y después del segundo corte se aplicó una fertilización completa, con la mitad de la dosis de la primera fertilización.

Se utilizaron diez plantas por maceta de sorgo (*Sorghum bicolor*) como planta indicadora. Se efectuaron tres cortes de la parte aérea de las plantas; el primero a los 35 días después de la siembra, el segundo y tercero cortes espaciados 28 días respectivamente. Se determinó la producción de materia seca y absorción de fósforo por las plantas.

Para evaluar los cambios químicos ocurridos en los suelos, por el encalado, se realizaron dos muestreos del suelo, retirando muestras en todas las macetas: el primero después del período de incubación con cal y el segundo al finalizar el experimento.

Requerimiento de cal

Los requerimientos de cal fueron determinados usando dos métodos; curva de titulación de Abruña y Vicente-Chandler (1) y acidez intercambiable de Kamprath (13).

Cuadro 2—Cantidad de Ca en meq/100 g de suelo, correspondiente a los diferentes tratamientos

Tratamiento	Colorado	Instituto	Paraíso
	Meq de Ca/100 g suelo		
0	—	—	—
1 Acidez interc. x 1,5	2,5	1,0	2,0
2 Acidez interc. x 3,0	5,0	2,0	4,0
3 Promedio de 2 y 4	6,5	4,0	6,5
4 Dosis para pH 6,5	8,0	6,0	9,0

Diseño experimental y tratamientos

Las macetas se arreglaron en el invernadero de acuerdo a un diseño irrestrictamente al azar con cinco repeticiones.

Análisis químicos de suelos

Los análisis químicos se efectuaron en muestras secas al aire y tamizadas al tamaño requerido por cada método.

Reacción del suelo (pH)

Se efectuó por la técnica descrita por Saiz del Río y Bornemisza (19). Se determinó en agua y en KCl 1 N, usando la relación suelo-agua 1 : 2,5.

Acidez intercambiable

Se determinó por el método descrito por Kamprath (13). Se usó KCl 1N para la extracción y se tituló con hidróxido de sodio 0,01 N.

Punto de carga cero (ZPC) o punto isoelectrico

Esta determinación se hizo según el método descrito por Van Raij y Peech (26), modificado por Uehara y Keng (25). El ZPC se determina por el punto de intersección de las curvas de titulación obtenidas con muestras suspendidas de suelos en cuatro diferentes concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) con adiciones de diferentes concentraciones de ácido clorhídrico o hidróxido de sodio.

Cargas eléctricas del suelo

Se utilizó para esta determinación la técnica descrita por Van Raij y Peech (26). Este método se basa en la determinación de las cargas positivas y negativas del suelo por retención directa de iones. Estas cargas fueron determinadas en soluciones de NaCl, CaCl₂ y MgSO₄ en diferentes concentraciones. La carga neta se calculó por la suma algebraica de las cargas positivas con las negativas.

Análisis de los tejidos vegetales

Las muestras de materia seca fueron molidas en un molino tipo Wiley, y se les pasó por un tamiz de 20 mallas. La digestión de la materia seca se efectuó con una mezcla de ácido nítrico y perclórico en relación 5 : 1, según las recomendaciones descritas por Jackson (12). El fósforo se determinó colorimétricamente usando la mezcla sulfomolibdica indicada por Jackson (12).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en el experimento fueron sometidos a análisis de varianza y análisis de regresión para determinar la relación causa-efecto entre las variables estudiadas. Además se probaron contrastes ortogonales para observar los efectos del encalado en los diferentes tratamientos.

*Resultados y discusión**Estudios de encalado**Efecto en el pH y en la acidez intercambiable*

En las figuras 1 y 2 se representan los efectos de las diferentes dosis de cal aplicadas y los valores de pH y acidez intercambiable para las dos épocas de muestreo. En ellas, se observa un aumento lineal del pH con dosis creciente de cal en forma similar como lo observaron Soares *et al* para suelos en Brasil (21).

Se observó que el encalado calculado para elevar el pH a 6,5 solamente provocó un ligero cambio; en el suelo Colorado de 4,8 a 5,6; en el suelo Instituto de 4,9 a 5,7 y en el suelo Paraíso de 4,7 a 5,4. Este hecho se explica por el alto poder amortiguador que los Inceptisoles presentan como lo encontraron otros autores (5, 11).

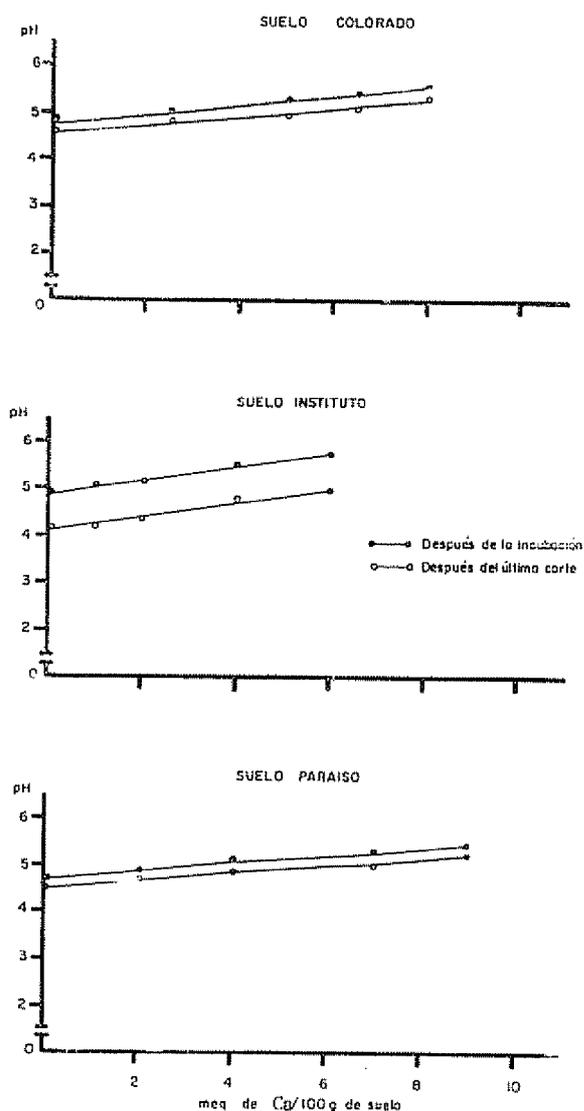


Fig. 1.—Influencia de encalado en la reacción del suelo (pH) correspondiente a los dos muestreos

Uehara y Keng (25) y Van Raij y Peech (26) afirman que esto ocurre porque parte de la cal añadida al suelo se utilizó en el desarrollo de cargas negativas que luego absorben más cal. Este hecho explica la capacidad amortiguadora sumamente alta observada aquí y en general en los suelos de carga variable (5).

Se notó que la dosis correspondiente a tres veces la acidez intercambiable (tratamiento 2) prácticamente neutraliza la acidez de intercambio en el suelo (Fig 2). Esta cantidad, según Kamprath (13), sería la dosis más adecuada para encalado de algunos suelos en los trópicos, principalmente Oxisoles y Ultisoles.

Por otra parte, Amadee y Peech (3, 4) informan que las cantidades de Al extraíble por KCl 1N no re-

presenten las propiedades intrínsecas de todos los suelos ácidos de los trópicos, de modo que la necesidad de cal basada en esta metodología no es la más adecuada para algunos suelos, lo que no coincide con lo encontrado en este trabajo, probablemente debido a que los citados autores trabajaron con suelos muchos más meteorizados que los usados en el trabajo presente.

En los resultados del muestreo final se observa que hubo una disminución del pH y un aumento de la acidez intercambiable, con relación al muestreo después del período de incubación con cal (Fig 2). Según varios autores (6, 17, 25) esto puede ser ocasionado por el uso de fertilizantes de carácter ácido o por la capacidad de reemplazo de Al intercambiable, siendo posiblemente este último el factor principal.

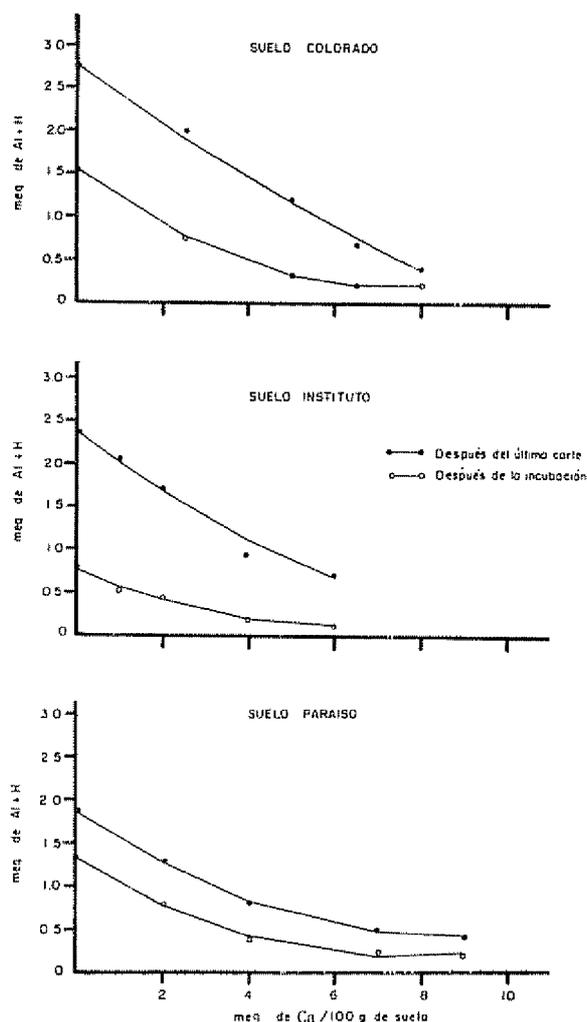


Fig. 2.—Influencia del encalado en la acidez del suelo correspondiente a los dos muestreos

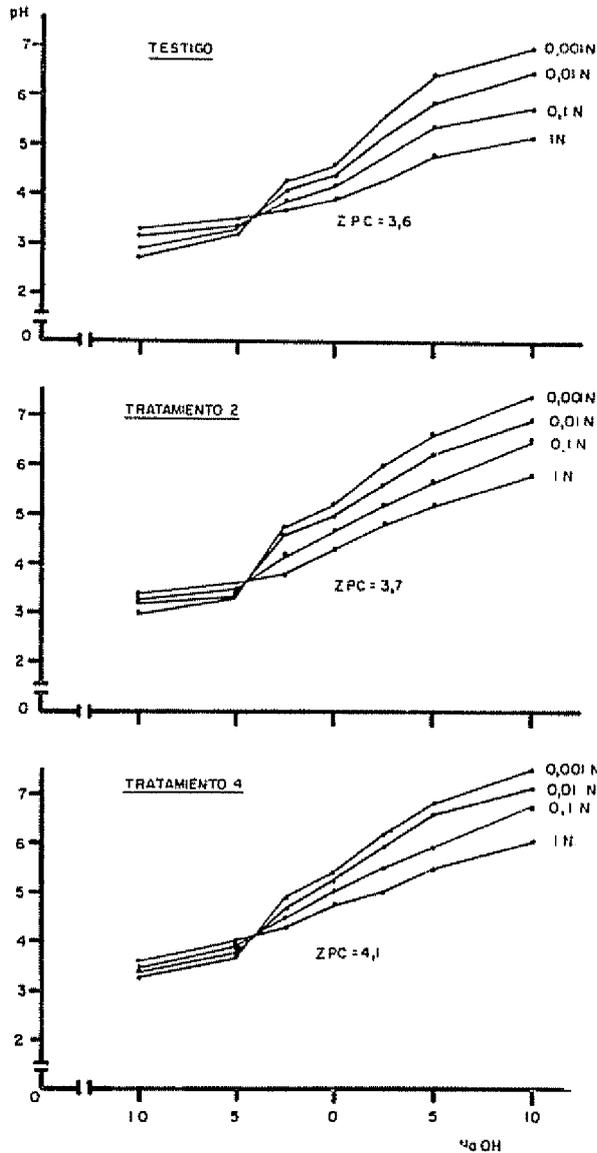


Fig 3.—Curva de titulación potenciométrica en diferentes concentraciones de NaCl y determinación del ZPC, suelo Colorado

Efecto sobre el punto de carga cero (ZPC)

En las Figuras 3,4 y 5 se representan las curvas de titulación potenciométrica y el valor del ZPC para los tres suelos estudiados. En ellas se puede observar que el pH correspondiente al ZPC cambia muy poco con las dosis de cal, siendo estos cambios de 0,7 unidades para Colorado y 0,4 unidades para Instituto y Paraiso.

Para algunos tratamientos, existe una incertidumbre en la posición exacta del ZPC, dentro de décimos de pH. Como se nota en la Figura 5, lo mismo fue observado por Keng y Uehara (14) y Van Raij y Peech (26) en Oxisoles y Ultisoles en los trópicos. Según los últimos autores, las curvas no interceptan en el cero de titulación debido al Al intercambiable en

las muestras equilibradas del suelo. Para evitar este problema algunos autores recomiendan lavar el suelo con una solución de ácido clorhídrico, lo que no está de acuerdo con Uehara y Keng (25) y no fue practicado aquí ya que representa un cambio del sistema en estudio.

De acuerdo con los valores obtenidos para el ZPC se puede afirmar que para todos los tratamientos, su valor se encuentra por debajo del pH de suelo en H₂O, y por lo tanto el pH en KCl 1N será más bajo que el pH en agua. Esto coincide con los resultados encontrados por Van Raij y Peech (26), Keng y Uehara (14) y El-Swaify y Sayegh (8) (ver datos en Cuadro N° 1). En esta condición se puede aconsejar las prácticas de encalado, con miras a aumentar las cargas eléctricas negativas del suelo y así disminuir la lixiviación de bases, además de precipitar los iones Al.

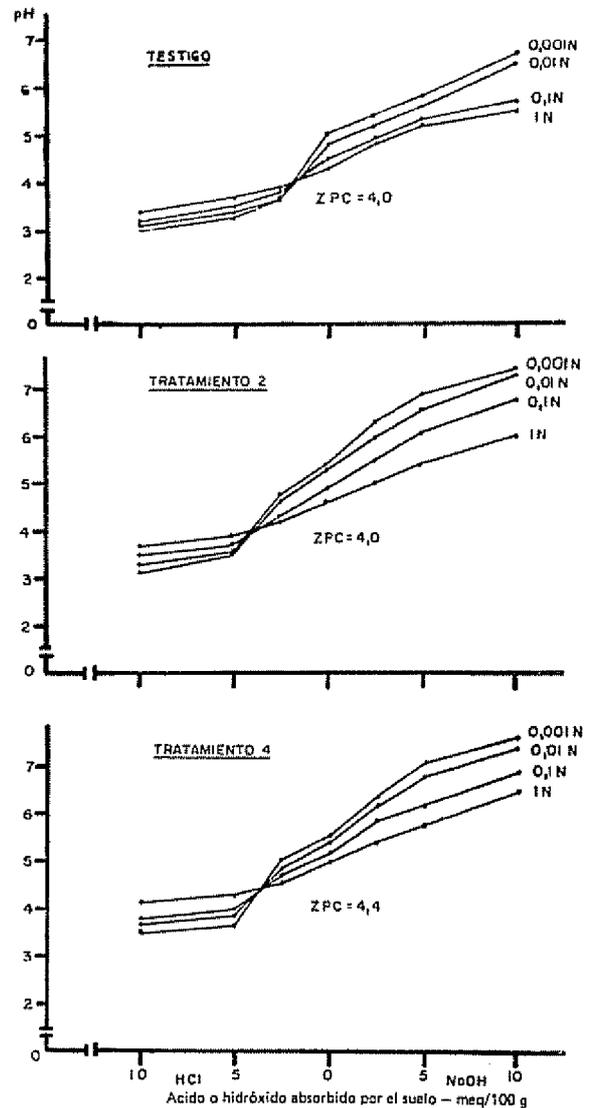


Fig 4.—Curva de titulación potenciométrica en diferentes concentraciones de NaCl y determinación de ZPC, suelo Instituto

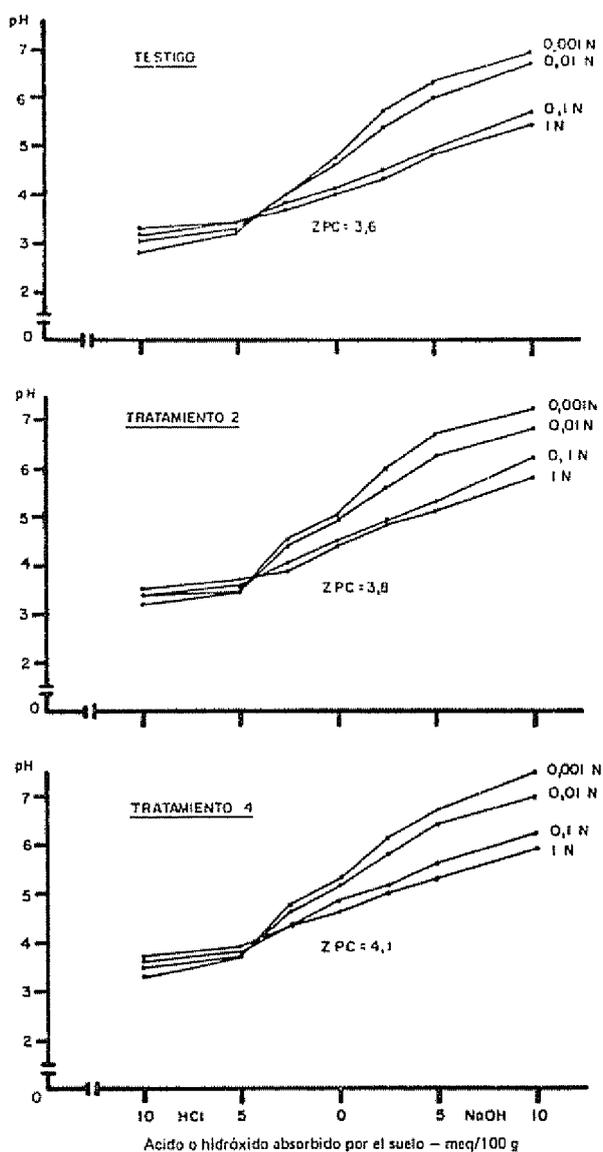


Fig. 5.—Curva de titulación potenciométrica en diferentes concentraciones de NaCl y determinación del ZPC, suelo Panalzo.

Efecto en las cargas eléctricas del suelo

En los cuadros 3, 4 y 5 se presentan los valores y los signos de las cargas eléctricas de los suelos determinadas por absorción directa de iones en diferentes concentraciones de NaCl, CaCl₂ y MgSO₄, respectivamente.

Los resultados muestran que ambas cargas positivas y negativas coexisten en estos suelos y que las negativas aumentan a medida que se elevan las dosis de encalado. Se observa que al disminuir la concentración del electrolito desplazante, disminuye la magnitud de

ambas cargas en el sistema coloidal del suelo. Esto concuerda con lo reportado en los trabajos de El Swaify y Sayegh (8), Sumner y Davidtz (24) y Van Raij y Peech (26).

Se observó que para el testigo de los tres suelos hay predominio de cargas positivas, pero que los encalados resultan en predominio de cargas negativas. De esta manera, se explica el gasto de la cal en el desarrollo de cargas negativas, su movilidad reducida y su efecto reducido sobre el pH de los suelos.

Uehara y Keng (25) mencionan que las cargas negativas son balanceadas por los iones de calcio en el sitio donde la cal fue aplicada y por esta razón muy poca cal aplicada va al subsuelo. Al mismo tiempo, el aumento de carga negativa explica la mejor retención de cationes observada como resultados del encalado.

Los datos obtenidos para la magnitud de las cargas eléctricas del suelo, con el uso de diferentes concentraciones de electrolitos, indican que los valores obtenidos con solución de CaCl₂ 0,1 N sin lavado del exceso del electrolito, indican la capacidad de intercambio de los suelos estudiados. De esta manera, el método anterior podría sustituir las técnicas tradicionales para determinar la capacidad de intercambio catiónico.

En general, la cantidad de cargas positivas y negativas determinadas con electrolitos divalentes es más alta que aquella obtenida con los monovalentes (NaCl), aún cuando en ambos, el cation y el anión son divalentes. Según Fassbender (10) estas observaciones son consistentes con la teoría de aumento de diámetro del ión y la disminución de su agua de hidratación.

Efecto del encalado sobre la biomasa y la absorción de fósforo

En las Figuras 6 y 7 se presentan la producción de materia seca y absorción de fósforo por las plantas para cada uno de los tres cortes. Se observa en ellas una tendencia semejante para los tres suelos, tanto en lo que se refiere a biomasa como cantidad de fósforo absorbido. Esto evidencia en estos suelos el papel esencial del fósforo y resalta la importancia del encalado como factor que influye en el proceso en forma positiva a los primeros niveles de aplicación. Se notó también un efecto adverso de la dosis de cal más altas.

Estas observaciones confirman la necesidad de encalado a niveles moderados para los tres suelos estudiados y advierten el peligro de un sobreencalado. Este hecho concuerda con el observado por varios autores en condiciones tropicales (5, 11, 15, 21, 22).

Considerando conjuntamente los tres suelos, se puede indicar que la máxima producción de materia seca y la absorción de fósforo se obtiene a un pH entre 5,2 y 5,4. Estos valores difieren muy poco de los encontrados por Fassbender y Molina (11) en Inceptisoles de Costa Rica.

Cuadro 3.—Adsorción de sodio, cloruro y carga neta de los suelos.

Suelo	Trat.	pH*	Cargas, meq/100 g de suelo					
			Positiva		Negativa		Total	
			(Cl adsorbido)		(Na adsorbido)		(cargas netas)	
			0.1 N	0.2 N	0.1 N	0.2 N	0.1 N	0.2 N
Colorado	0	4,8	15,4	23,1	13,9	21,1	+1,5	+2,0
	2	5,2	14,5	20,1	15,0	23,5	-0,5	-3,4
	4	5,6	13,2	18,8	17,1	24,3	-1,2	-5,5
Instituto	0	4,9	15,0	22,8	13,2	20,4	+1,8	+2,4
	2	5,1	14,1	20,6	13,7	21,1	+0,4	-0,5
	4	5,7	12,6	19,5	16,5	24,3	-3,9	-4,8
Paraíso	0	4,7	17,2	24,4	15,3	22,3	+1,9	+2,1
	2	5,0	15,6	23,8	17,6	26,3	-2,0	-2,5
	4	5,4	15,1	21,8	19,9	28,0	-4,8	-6,2

* pH de equilibrio

Cuadro 4.—Adsorción de calcio, cloruro y carga neta de los suelos.

Suelo	Trat	pH*	Cargas, meq/100 g de suelo					
			Positiva		Negativa		Total	
			(Cl adsorbido)		(Ca adsorbido)		(cargas netas)	
			0.01 N	0.1 N	0.01 N	0.1 N	0.01 N	0.1 N
Colorado	0	4,8	6,4	15,8	6,0	12,4	+0,4	+3,4
	2	5,2	5,9	13,1	7,6	15,6	-1,7	-2,5
	4	5,6	5,7	11,4	8,6	16,0	-3,9	-4,6
Instituto	0	4,9	6,9	15,2	5,8	12,1	+1,1	+3,1
	2	5,1	6,2	14,3	7,8	16,2	-1,6	-1,9
	4	5,7	5,0	12,8	9,2	18,2	-4,2	-5,4
Paraíso	0	4,7	6,3	15,8	5,6	14,2	+1,6	+3,2
	2	5,0	5,7	15,2	8,9	20,0	-3,2	-4,8
	4	5,4	5,4	14,7	10,7	21,3	-5,3	-6,8

* pH de equilibrio

Cuadro 5.—Adsorción de magnesio, sulfato y carga neta de los suelos

Suelo	Trat	pH*	Cargas, meq/100 g de suelo					
			Positiva		Negativa		Total	
			(SO ₄ adsorbido)		(Mg adsorbido)		(cargas netas)	
			0.001 N	0.01 N	0.001 N	0.01 N	0.001 N	0.01 N
Colorado	0	4,8	4,7	11,3	7,7	8,3	+3,0	+3,0
	2	5,2	3,9	8,1	9,2	14,7	-5,3	-6,6
	4	5,6	3,0	7,8	10,2	15,6	-7,2	-7,8
Instituto	0	4,9	4,4	10,3	5,9	8,4	+1,5	+1,9
	2	5,1	3,9	9,7	8,3	14,8	-4,4	-5,1
	4	5,7	3,1	8,8	9,8	16,0	-6,6	-7,2
Paraiso	0	4,7	4,7	12,9	10,0	8,7	+1,9	+4,2
	2	5,0	3,9	11,4	12,0	17,7	-5,1	-6,3
	4	5,1	2,5	11,0	13,5	19,0	-7,8	-8,0

* pH de equilibrio

Se concluye que la máxima producción de materia seca y absorción de fósforo coinciden con la dosis intermedias de encalado equivalente a tres veces la acidez intercambiable, que han sido las dosis necesarias para alcanzar estos pH-s. Se observa también que encalados que eleven el pH a valores superiores a 5,5, punto en el cual no se encuentra Al intercambiable, no contribuyen a mejores rendimientos. Se vuelve de esta manera a confirmar que para suelos del tipo de los estudiados aquí, al igual que para muchos otros suelos del trópico, es suficiente y adecuado llegar a pH-s ligeramente inferiores a 5,5 y que no se debe sobrepasar este valor.

Resumen

Se estudió el efecto del encalado en el pH, acidez intercambiable, punto de carga cero (ZPC) o punto isoelectrico, cargas eléctricas, producción de materia seca y absorción de P en tres suelos de la Vertiente Atlántica de Costa Rica: Colorado e Instituto (Typic Dystropepts) y Paraiso (Typic Humitropept)

Las muestras de suelos correspondientes a la parte superficial (0 - 15 cm), se sometieron a incubación previa con cal por un período de 30 días. Se estableció un experimento de invernadero, utilizando como planta indicadora el sorgo (*Sorghum bicolor*) y se efectuaron tres cortes de la parte aérea de las plantas, el primero a los 35 días después de la siembra, el segundo y tercero espaciados por 28 días respectivamente, evaluándose la producción de materia seca y la absorción de P

Se hizo una fertilización básica de N-P-K y elementos menores antes de la siembra, una nitrogenada

después del primer corte y otra completa pero usando la mitad de la dosis iniciales, después del segundo corte

Para evaluar los cambios químicos ocurridos en el suelo durante el experimento se efectuaron tres muestreos, el primero antes del encalado, el segundo después del período de incubación con cal y el tercero al finalizar el experimento.

Los resultados indican que el uso del encalado provocó un aumento altamente significativo del pH; una disminución altamente significativa de la acidez intercambiable; un ligero aumento del ZPC; un cambio en las cargas eléctricas netas del suelo, disminuyendo las cargas positivas y aumentando las cargas negativas; un incremento en la producción de materia seca y en la absorción de fósforo por las plantas, los últimos correspondiendo a los niveles bajos de encalado.

La cantidad más adecuada de cal aplicada bajo las condiciones de este experimento equivale a la concentración de Al intercambiable multiplicada por el factor tres.

El ámbito de pH que corresponde a la máxima producción y absorción de fósforo varía entre 5,2 y 5,4 lo que indica que el pH recomendable no necesariamente tiene que alcanzar el valor de 5,5 como comúnmente se sugiere.

Para los Inceptisoles estudiados los valores del ZPC se encuentran en un ámbito donde su determinación no es crítica para las prácticas de encalado, la cual se puede realizar en base a las cantidades de Al intercambiable presente

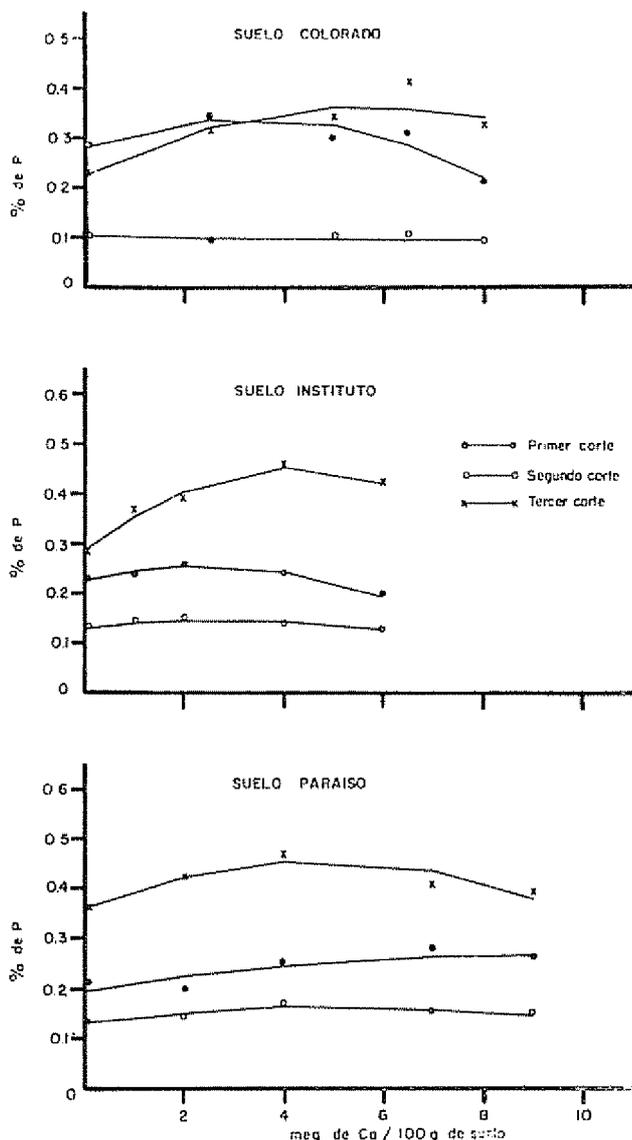


Fig 6—Influencia del encalado en la producción de materia seca correspondiente a la suma de las tres cortes del cultivo

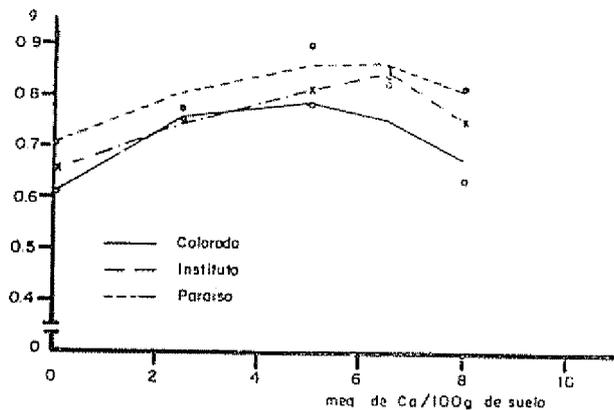


Fig 7—Influencia del encalado en la absorción de fósforo por las plantas correspondientes a la suma de las tres cortes de cultivo

Literatura citada

- 1 ABRUÑA, F R. y VICENTE CHANDLER, J Refinement of quantitative method for determining the lime requirements of soils Journal of Agriculture of Puerto Rico 39 (1): 41-45 1955.
- 2 AGUIRRE, A V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971 138 p
- 3 AMEDEE, G y PEECH, M Liming of highly weathered soil of the humid tropics Soil Science 121 (5): 259-266 1976.
- 4 ———, y PEECH, M. The significance of KCl extractable Al (III) as an index to lime requirement of soils of the humid tropics. Soil Science 121 (4): 227-233 1976
- 5 BORNEMISZA, E, IAROCHE, F A y FASSBENDER H W Effects of liming on some chemical characteristics of a Costa Rican latosol Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings, 27: 219-226 1967
- 6 COLEMAN N T y THOMAS, G W The basic chemistry of soil acidity and liming In Pearson, R. W y Adams, F, eds Soil acidity and liming Madison, Wise, America Society of Agronomy, 1967 pp 1-41 (Series Agronomy, N° 12)
- 7 EL-SWIFY, S A. Structural changes in tropical soil due to anions in irrigation water Soil Science 115(1): 64-72 1973
- 8 ———, y SAYECH, A H Charges characteristics of an oxisol and an inceptisol from Hawaii. Soil Science 120 (1): 49-56 1975
- 9 ESPINOZA, W, GAST, R G y ADAMS, R S, Jr Charge characteristics and nitrate retention by two andepts form south Central Chile. Soil Science Society of America Proceedings 39(5): 842-846 1975
- 10 FASSBENDER, H W Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina Turrialba, Costa Rica, IICA, 1975 pp 168-208
- 11 ——— y MOJINA, R Influencia de enmiendas calcáreas y silicatada: sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica In Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1969, pp c 21 - c 2-12
- 12 JACKSON, M L Análisis químico de suelos Traducido por José Beltrán Martínez Barcelona, Omega, 1964 662 p
- 13 KAMPRATH, E J Acidez del suelo y su respuesta al encalado Raleigh, N C., Estación Experimental Agrícola, Proyecto Internacional de Análisis de Suelos Boletín N° 4 1967. 22 p
- 14 KENG, J y UEHARA, G Chemistry, mineralogy, and taxonomy of oxisols and ultisols. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 33: 119-126 1974
- 15 IAROCHE, F A Efeitos da calagem sobre o complexo de troca de um latosolo tropical e os teores de cation: absorvidos pelo tomate Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, IICA, 1966 76 p

16. MACIAS, M. V. Propiedades morfológicas, físicas, químicas y clasificación de ocho "Latosoles" de Costa Rica. Tesis Mag. Sc Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969 193 p.
17. MARTIN, J. A. *et al* Response of soybeans to liming as related to soil acidity, Al and Mn toxicities and P in some oxisols of Brasil Soil Science Society of America Proceedings 38(4):616-620. 1974
18. PARKS, G. A. The isoelectric points of solid oxides, solid hydroxides, and aqueous hydroxo complex systems. Chemical Review 65:177-198. 1965
19. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961 107 p.
20. SCHOFIELD, R. K. Effect of pM on electric charges carried by clay particles. Journal of Soil Science 1(1): 1-18. 1949.
21. SOARES, W. B. *et al*. Encalado de los suelos del Ceará Brasileño. In Bornemisza, E. y Alvarado, A. eds Manejo de suelos en la América Latina Tropical Raleigh, North Carolina States University, 1975 pp 287-302.
22. SPAIN, J. M. *et al*. Diferencias entre especies y variedades de cultivos y partos tropicales en su tolerancia a la acidez del suelo. In Bornemisza, E. y Alvarado, A., eds. Manejo de suelos en la América Tropical Raleigh, North Carolina State University, 1975 pp 313-335
23. SUMNER, M. E. Effect of alcohol washing and pH value of leaching solution on positive and negative charges in ferruginous soils. Nature 198 (8): 1018-1019. 1963.
24. ————— y DAVIDTZ, J. C. Positive and negative charges in some Natal soils. South African Journal of Agricultural Science 8:1045-1050. 1965.
25. UEHARA, G. y KENG, J. Relaciones entre la mineralogía y el manejo de suelos en la América Latina. In Bornemisza, E. y Alvarado, A., eds. Manejo de suelos en la América Tropical Raleigh, North Carolina State University, 1975 pp 357-369
26. VAN RAIJ, B. y PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Ultisols of the tropics. Soil Science Society of America Proceedings 36(4): 587-593. 1972.