

EFFECTO DE TRES ENMIENDAS ORGÁNICAS Y DE LA CAL SOBRE LA DISPONIBILIDAD Y LA ADSORCIÓN DE FÓSFORO EN UN SUELO ÁCIDO

Carmen Rosa Gómez Laverde*, Carlos Eduardo Narváez Cuenca**

Recibido Junio 11/99 – Aprobado Febrero 4/2000

Keywords: Organic materials, acid soils, P availability and P sorption.

RESUMEN

Para observar el efecto de materiales orgánicos y de la cal sobre la disponibilidad y la adsorción de fósforo en un suelo fuertemente ácido (*Inceptic Hapludox*), pobre en P, se efectuaron un ensayo de incubación en invernadero y un estudio de adsorción de P. Se utilizaron macetas que contenían 400 g de suelo, a los cuales se les dio una fertilización básica con aplicaciones de 90 kg P₂O₅/ha. Se aplicó gallinaza, compost o caupí (*Vigna unguiculata*) en dosis de 0,0; 0,8 y 2,4 g M.O./100 g suelo. En muestras separadas se aplicó cal dolomítica en dosis de 1,5 ton/ha. Los suelos se incubaron por tres tiempos: 2, 14 y 54 días, al cabo de los cuales se determinó el pH, el Al-intercambiable y el P-disponible del suelo. Se evaluó la adsorción de fósforo mediante isotermas en los suelos tratados e incubados 54 días. Se correlacionó la adsorción de fósforo con el P-disponible.

Los tratamientos incrementaron el P-disponible. La gallinaza dejó niveles entre 25 y 120 mg P/kg suelo, el compost entre 12 y 37, el caupí entre 6 y 15 y la cal entre 3 y 8 mg P/kg suelo. La disponibilidad del fósforo se incrementó al aumentar la dosis de materia orgánica y disminuyó al transcurrir el tiempo de incubación. Los tratamientos redujeron drásticamente el Al-intercambiable lo cual está en relación con el incremento del P-disponible. El comportamiento en la adsorción de P se ajustó al modelo de Freundlich. La fertilización básica no modificó la adsorción de P mientras que los materiales orgánicos y la cal la disminuyeron en diferente grado. El valor de k, de la expresión de las isotermas, muestra reducción importante de la adsorción de P al aplicar la gallinaza en su dosis alta. Se observó una relación inversa entre el P-disponible y el valor de k.

ABSTRACT

To observe the effects of the organic materials and lime on the availability and sorption of phosphorus in a strongly acid soil (*Inceptic Hapludox*),

* Químico M. Sc. Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. A.A. 14490 Santafé de Bogotá, Colombia.

** Químico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. A.A. 14490 Santafé de Bogotá, Colombia.

poor in P, a greenhouse experiment and a laboratory study were conducted. Plastic pots were filled with 400 g of soil to which was given a basic N, P, K, S fertilization with applications of 90 kg P_2O_5 hectare⁻¹. Chicken manure, compost or cowpea (*Vigna unguiculata*) were added to soil at the rates of 0,0; 0,8 and 2,4 g O. M. 100 g⁻¹; separate soil samples were amended with 1,5 ton $CaCO_3$ hectare⁻¹. Soils were incubated for periods of 2, 14 and 54 days; after each period, pH, exchangeable Al and available P were determined. In soils incubated 54 days, the P sorption was evaluated through isotherms and it was interrelated the available P with the P sorption.

Either, organic materials or lime increased the available P. Chicken manure let levels between 25 and 120 mg P kg⁻¹, the compost between 12 and 37, the cowpea between 6 and 15 and the lime between 3 and 8 mg P kg⁻¹. The availability of phosphorus increase with increasing rates of the organics materials but is reduced upon elapsing the incubated period. The treatments decreased drastically exchangeable Al and this had relationship to the increase of the available P. The behavior in the P sorption was fitted to Freundlich equation. The basic fertilization did not modify the P sorption while the organic amendments and the lime reduced it in different degree. The value of k, in the expression of the isotherms, shows an important reduction of the P sorption capacity in soil, caused by the chicken manure. An inverse relationship was observed between the P - available and the value of k.

INTRODUCCIÓN

Los oxisoles y ultisoles de sabanas y bosques húmedos de América Tropical presentan, en su estado natural, deficiencia de fósforo disponible para las plantas (1), estos suelos se caracterizan además, por su alta capacidad para fijar las formas solubles del fósforo. El fósforo soluble adicionado como fertilizante, puede ser fuertemente adsorbido en la superficie de óxidos e hidróxidos de hierro o aluminio o puede reaccionar con el aluminio intercambiable, generalmente alto, o en solución formando compuestos de muy baja solubilidad. Según Anjos y Rowell (2) se espera que la adsorción de fósforo decrezca al incrementarse el pH, como resultado de la competencia de los grupos hidroxilo por los sitios de adsorción, sin embargo, en la presencia de Al-intercambiable un aumento de pH puede dar lugar a la formación de hidróxidos de aluminio con gran área superficial, los cuales tienen elevada afinidad por el fósforo por lo que, el efecto del aumento del pH sobre la adsorción de P depende del balance entre los dos fenómenos mencionados.

Kardos (3) considera que sobre la fijación del fósforo juegan un papel importante los compuestos orgánicos, pues al ser de carácter predominantemente aniónico pueden competir con el fosfato en los fenómenos de adsorción polar y por lo tanto disminuir la fijación. Por otra parte, los ácidos formados en la transformación de la materia orgánica pueden decrecer el pH y aumentar la fijación al solubilizar ciertas cantidades de Fe y Al pero, los hidroxilácidos como tartárico, cítrico, málico y málico, que se forman en los suelos, pueden producir quelación del Fe y del Al limitando su reacción con el fosfa-

to para formar precipitados. Distintos autores, Ribeiro, citado por Kiehl (4), Estrada y col. (5) y Abad (6), han comprobado, en distintos suelos, un aumento del fósforo disponible al adicionar materia orgánica como torta de filtros (subproducto de la obtención de alcohol a partir de caña de azúcar), hojas de soja o compost de residuos sólidos urbanos, respectivamente.

Easterwood y Sartain, citados por Iyamuremye y col. (7) informan que una de las técnicas corrientes para disminuir la fijación de fósforo es la incorporación de residuos orgánicos. Hue (8) observó que el fósforo inorgánico aplicado como fertilizante fue más eficientemente utilizado por los cultivos cuando se usó en conjunto con materiales orgánicos como estiércoles o abonos verdes. Iyamuremye y col. (7) al utilizar estiércol de becerros, alfalfa o tamo de trigo en suelos muy fijadores de fósforo, observan incremento del pH, disminución del Al-intercambiable y de la capacidad de sorción de fósforo así como decrecimiento de la constante de afinidad y de la adsorción máxima, observadas en las isothermas de adsorción en el modelo de Langmuir. Este trabajo se efectuó con el fin de evaluar el efecto de la aplicación de tres materiales orgánicos a un suelo ácido con alto Al-intercambiable sobre el P-disponible en distintos periodos de incubación y sobre las isothermas de adsorción de fósforo mostradas por el suelo tratado con los materiales orgánicos.

METODOLOGÍA

Suelo. Se usó un suelo fuertemente ácido procedente de la granja experimental "La Libertad" de Corpoica en el De-

partamento del Meta, clasificado como *Inceptic Hapludox*, del que se muestrearon los primeros 20 cm del perfil. Las principales características fisicoquímicas de este suelo son: pH (agua 1:1) 4,3; C orgánico (Walkley-Black) 0,19%; P-disponible (Bray II) menor de 3 mg/kg; Al-intercambiable (KCl 1 N) 3,81 cmol+/kg; % Saturación de Al 80,04%; CIC (acetato de amonio 1 N, pH 7) 13,04 cmol+/kg; Ca, Mg, Na y K intercambiables (acetato de amonio 1 N, pH 7) 0,42; 0,12; 0,25 y 0,16 cmol+/kg, respectivamente.

Materiales. Cal dolomítica (57% CaCO_3 , 33% MgCO_3). Cauquí (raíces, tallos y hojas) procedente de un cultivo en los Llanos Orientales. Gallinaza, producto comercial, sin mezcla de fertilizantes ni viruta de madera o cascarilla de arroz, procedente de gallineros en Cajicá (Cundinamarca). Compost de residuos celulósicos de rosas, producido a partir de cultivos en la sabana de Bogotá con un tiempo de compostaje de 17 semanas.

Ensayo de incubación de suelos. Se emplearon macetas plásticas que contenían 400 g de suelo seco al aire previamente tamizado a 4 mm. Los tratamientos consistieron en la aplicación de cal, en dosis equivalente a 1,5 ton/ha, o de los tres materiales orgánicos en dosis de 0; 0,8 y 2,4 g materia orgánica/100 g suelo, lo que equivale a: 0, 20 y 60 ton/ha de cauquí; 0, 29 y 87 ton/ha de gallinaza y 0, 24 y 72 ton/ha de compost. Los tres materiales orgánicos se incorporaron secos al aire y tamizados a 4 mm. Todos los suelos recibieron una fertilización básica con N, P, K y S en 75, 90, 60 y 86 kg/ha de N, P_2O_5 , K_2O y S en la forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y KH_2PO_4 en las macetas enca-ladas y en las restantes a partir de

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, KCl y CaSO_4 . Se procedió así para tener aportes de calcio similares a los que recibieron los suelos tratados con cal. Los suelos se humedecieron a capacidad de campo y se incubaron por periodos de 2, 14 y 54 días contados a partir de la adición de los materiales orgánicos. Se dispusieron 72 macetas en total con el fin de analizar 24 de ellas al finalizar cada periodo en cuanto a pH, Al-intercambiable y P-disponible.

El diseño estadístico fue completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos con un factor A tiempos de incubación y un factor B aplicación de distintos materiales (ninguno, cal en una dosis, caupí, gallinaza y compost, en dos dosis cada uno) y tres replicaciones. Se efectuaron comparaciones de promedios por medio de la prueba de Duncan.

Ensayo de adsorción de fósforo. Se siguió el procedimiento de Fox y Kamprath (9). Las determinaciones se hicieron sobre los suelos tratados con los materiales orgánicos y con la cal e incubados 54 días. Tales determinaciones se efectuaron por duplicado, utilizando dos de las tres réplicas de cada tratamiento, escogidas al azar. Se incluyó el suelo sin fertilizar, sin ningún tratamiento y no incubado. Se pesaron 3,00 g de suelo y se mezclaron con 30,0 ml de soluciones de

fósforo de concentraciones 0,00; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00; 12,00 y 16,00 mmol P/L, preparadas a partir de KH_2PO_4 en CaCl_2 0,01 M, el pH de éstas se ajustó inicialmente a un valor de 4,40. Se adicionaron 3 gotas de tolueno por recipiente para disminuir la actividad microbiana. Las mezclas se incubaron por 6 días a 20 °C con agitación por 30 min 2 veces cada día. Al finalizar la incubación las muestras se filtraron (papel Whatman No 5) y en una alícuota se midió la concentración de fósforo en equilibrio, por colorimetría a 880 nm (10). El P adsorbido se encontró por diferencia entre el aportado inicialmente y el de equilibrio. Se comparó el efecto de los tratamientos sobre la adsorción de fósforo a través de los valores de k y $1/n$, de la ecuación de Freundlich, y de sus límites de confianza (11).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los materiales orgánicos. Los materiales caupí, gallinaza y compost utilizados en este estudio, fueron caracterizados en un trabajo previo (12) pero las propiedades de interés en este trabajo se anotan en la tabla 1. Se destacan los altos valores de fósforo total, fósforo hidrosoluble y carbonatos, expresados como CaCO_3 , en la gallinaza. Aun-

Tabla 1. Características de los materiales orgánicos.

Material orgánico	pH	Ptotal (%)	P-hs ^a (mg/g)	M.O. (%)	R. fijo (%)	R.I. HCl ^b (%)	CaCO ₃ (%)
Caupí	6,87	0,30	0,05	91,15	8,85	3,44	1,90
Gallinaza	7,77	2,00	0,31	64,46	35,54	4,83	17,48
Compost	6,30	0,39	0,08	82,94	17,06	8,07	1,64

Valores expresados en base seca a 105 °C. ^aP hidrosoluble ^bResiduo insoluble en HCl

que este material muestra un residuo fijo bastante alto, una alta proporción de éste es soluble en ácido, lo que acuerda con el contenido de carbonatos.

Respuestas en el suelo a la aplicación de los materiales. La tabla 2 resume los resultados del ensayo de incubación. Se puede ver que aunque las dosis de materia orgánica ofrecidas con los materiales orgánicos fueron las mismas, la respuesta en el suelo fue diferente. Los datos sugieren que la composición de la parte orgánica y las fracciones no asociadas a materia

orgánica, tales como carbonatos, inciden sobre las respuestas de las variables estudiadas. El pH muestra tendencia a aumentar con el tiempo, independiente del material aplicado. La gallinaza genera los mayores incrementos de esta variable, seguida por la cal; el caupí y el compost modifican el pH en forma similar y en menor proporción que los otros materiales, con relación al testigo. Todos los tratamientos reducen el Al-intercambiable con tendencia a valores más bajos al incrementar el tiempo de incubación. La gallinaza, nuevamente, es la más efectiva y en su dosis

Tabla 2. Respuesta del suelo a la incorporación de cal y de materiales orgánicos en dos dosis y en tres tiempos de incubación.

	Testigo	Cal	Caupí		Gallinaza		Compost		Promedio
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	
pH (agua, 1:1, m/v)									
T1	4,01	4,82	4,09	4,29	4,88	6,14	4,18	4,23	4,58 _c
T2	4,28	4,88	4,33	4,59	5,37	6,76	4,35	4,45	4,88 _b
T3	4,36	4,76	4,59	4,80	5,35	6,27	4,61	4,63	4,92 _a
Promedio	4,22 _f	4,82 _c	4,34 _e	4,56 _d	5,20 _b	6,39 _a	4,38 _e	4,43 _e	
Al intercambiable (cmol(+)/kg)									
T1	2,59	1,79	2,36	1,14	0,39	0,06	1,93	1,15	1,43 _a
T2	2,36	1,22	1,55	0,96	0,09	0,00	1,66	0,77	1,08 _b
T3	2,49	1,25	1,25	0,74	0,47	0,00	1,06	0,66	0,99 _b
Promedio	2,48 _a	1,42 _c	1,72 _b	0,95 _d	0,32 _e	0,02 _f	1,55 _{bc}	0,86 _d	
P disponible (mg P/kg)									
T1	3,7	7,9	8,8	15,3	57,7	120,6	18,1	37,2	33,9 _a
T2	5,5	5,7	7,7	12,2	50,5	84,2	13,6	19,3	24,8 _b
T3	3,2	3,3	6,4	12,3	24,8	50,3	11,6	22,1	16,8 _c
Promedio	4,8 _f	5,6 _f	7,6 _{ef}	13,3 _{de}	44,3 _b	85,0 _a	14,4 _d	26,2 _c	

Los anteriores valores representan el promedio de tres repeticiones y están expresados en base seca a 105 °C. D1 y D2 representan las dosis del material orgánico adicionado: 0,8 y 2,4 g materia orgánica/100 g suelo, respectivamente.

T1, T2 y T3 representan los tiempos de incubación: 2, 14 y 54 días, respectivamente.

Las letras en subíndice corresponden a la prueba de Duncan.

D2 reduce el Al-intercambiable a valores no detectables.

La fertilización básica no incrementó apreciablemente el P-disponible en el suelo testigo, posiblemente por precipitación del fosfato aplicado, en la forma de fosfatos de aluminio. Los tratamientos dan valores de P-disponible mayores que los del testigo en cada tiempo, con tendencia a disminuir al aumentar su incubación. Los materiales orgánicos tuvieron mayor efecto al aumentar la dosis y diferente dependiendo del tipo de material. Se destaca la gallinaza que en su dosis alta genera un valor 33 veces mayor que el del suelo testigo a los 2 días y 16 veces mayor a los 54 días. Los valores de P-disponible encontrados al incorporar la gallinaza, en todos los tiempos de incubación y dosis son altos; por el contrario, en los tratamientos testigo, aplicación de cal y aplicación de caupí, los niveles de P-disponible son bajos; cuando se hace tratamiento con el compost, los valores son medios.

La tendencia general en cada tiempo de incubación muestra que al disminuir el Al-intercambiable del suelo se incrementa el P-disponible ($r = -0,860^{***}$; $-0,816^{**}$; $-0,798^{**}$, en cada tiempo). los incrementos registrados en el P-disponible pueden ser el resultado de una disminución de la fijación del P inorgánico adicionado debido a la presencia de los materiales orgánicos y de los aportes de fósforo, muy importantes, que hacen tales materiales. Por ejemplo, la gallinaza, en su dosis baja, aporta el equivalente a 1328 kg P_2O_5 /ha, calculado con base en su contenido de P-total. La disminución del P-disponible con el tiempo puede estar asociada con una inmovilización microbiológica temporal, al producirse un incremento en la población de

microorganismos por adición de la materia orgánica.

Isotermas de adsorción de fósforo.

La figura 1 presenta las isotermas de adsorción de P de los suelos tratados. Para los materiales orgánicos sólo se muestran las curvas correspondientes a los suelos que recibieron la dosis alta, si bien se observó que al aumentar la dosis disminuye la adsorción de fósforo. El comportamiento de estas isotermas se ajustó al modelo de Freundlich.

$$P_{ads} = kP_{eq}^{1/n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\log P_{ads} = \log k + (1/n) \log P_{eq}$$

(Ecuación 2) donde,

P_{ads} = fósforo adsorbido (mmol P/kg suelo)

P_{eq} = fósforo en equilibrio (mmol P/L solución)

k = fósforo adsorbido cuando el fósforo en equilibrio es 1 mmol P/L

$1/n$ = constante que refleja el grado con el cual la adsorción es función de la concentración (13).

En ninguno de los tratamientos se observó desorción de fósforo cuando a los suelos no se aportó fósforo en la solución. En el suelo testigo, sin o con fertilización básica, el P-equilibrio se mantuvo en niveles no detectables cuando se ofreció menos de 1 mmol P/L, equivalente a adicionar 1420 kg P_2O_5 /ha. Cuando se adicionaron 2 mmol P/L estos suelos adsorbieron el 99,4% del fósforo, lo que muestra que el suelo en estudio tiene una alta capacidad de fijación de fósforo.

En la figura 1 se aprecia que las curvas se superponen a valores de P-equilibrio menores de 0,5 mmol P/L (los requerimientos de P por las plantas están por debajo de este nivel (14)). En el intervalo

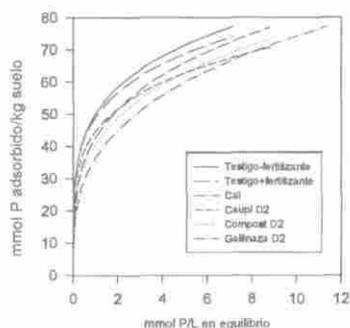


Figura 1. Isotermas de adsorción de fósforo

Figura 1. Isotermas de adsorción de fósforo.

mmol P/L se observa una mayor adsorción de fósforo en los suelos testigo sin y con fertilización básica. A pesar de que en esta zona las curvas se entrecruzan se hace evidente que el suelo, en este experimento, adsorbe menos fósforo soluble cuando se ha tratado con la gallinaza.

Al aplicar la ecuación 2 a los datos experimentales se obtienen en todos los casos valores de r altamente significativos. En la figura 2 se muestran algunas de las rectas halladas, pues para los tratamientos con los materiales orgánicos sólo se indica la correspondiente a la dosis alta. En este tipo de gráfica se puede evaluar de una mejor manera el P-adsorbido por los suelos en las zonas de concentraciones bajas de P en equilibrio. Es de notar que el suelo tratado con la gallinaza es el menos fijador.

En la tabla 3 se muestran las constantes k y $1/n$ obtenidas al aplicar la ecuación 2 a las isotermas como también los intervalos de confianza respectivos.

Valor de k . Una comparación del efecto de los materiales sobre la fijación del fósforo se puede apreciar mejor a tra-

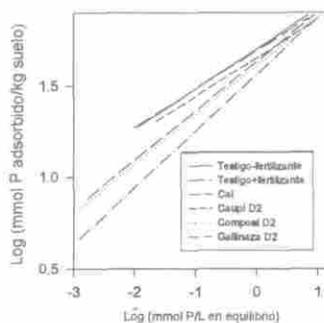


Figura 2. Linealización de las isotermas

Figura 2. Linealización de las isotermas.

vés del valor de k . De acuerdo con este valor la fertilización básica no modifica la adsorción de fósforo; la aplicación de los materiales orgánicos y de la cal sí lo hacen en diferente grado, disminuyéndola con relación al testigo. Sin embargo, se observa en la tabla 3 que los intervalos de confianza de $\log k$ se superponen total o parcialmente para varios de los tratamientos con relación al del testigo, lo cual sugiere que no hay diferencia en la adsorción. Por el contrario, la gallinaza en su dosis alta se manifiesta como el tratamiento más efectivo en la disminución de la adsorción de fósforo.

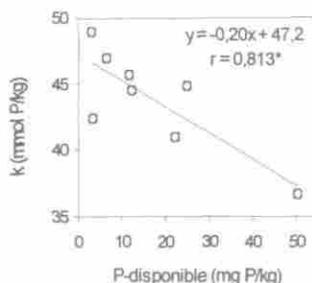
Figura 3. P-disponible del suelo vs k Figura 3. P-disponible del suelo vs k .

Tabla 3. Parámetros de adsorción de fósforo calculados por la ecuación de Freundlich.

Tratamiento	k (mmol P/kg)	log k ± IC ^a	1/n ± IC ^a	r
Testigo-fertilizante	50,1	1,70 ± 0,07	0,22 ± 0,07	0,994**
Testigo+fertilizante	49,0	1,69 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,983**
Caupí D1	46,8	1,67 ± 0,05	0,22 ± 0,06	0,952**
Compost D1	45,7	1,66 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,993**
Caupí D2	44,7	1,65 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,992**
Gallinaza D1	44,7	1,65 ± 0,06	0,24 ± 0,04	0,978**
Cal	42,7	1,63 ± 0,07	0,27 ± 0,05	0,966**
Compost D2	40,7	1,61 ± 0,06	0,27 ± 0,04	0,981**
Gallinaza D2	36,3	1,56 ± 0,05	0,31 ± 0,04	0,978**

^aIC: Intervalos de confianza para un nivel de significancia de 0,05.

Relación entre el P-disponible del suelo y el valor de k obtenido de las isothermas de adsorción de fósforo. La figura 3 permite apreciar la tendencia general del P-disponible (Bray II), medido a los 54 días de incubación de los suelos, en relación con el valor de k obtenido en las isothermas de adsorción (tabla 3). La correlación lineal negativa entre las dos variables mostró un r significativo indicando que el valor de k, característico de las curvas de adsorción, está relacionado con el P-disponible de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Sánchez, P. A.; Salinas, J. G. *Suelos ácidos: Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical*, 1972, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo: Bogotá, pp 55-72.
- Anjos, J. T.; Rowell, D. L. (1987), The effect of lime on phosphorus adsorption and barley growth in three acid soils. *Plant Soil*. **103**, 75-82.
- Kardos, T. 1967. Soil fixation of plant nutrients, in: *Chemistry of the soil*. 2 edition. (Ed: Bear, F. E.) American Chemical Society, Reinhold Publishing Corporation, New York, pp 369-382.
- Kiehl, E. J. *Fertilizantes organominerales*, 1993, Editado por el autor: Piracicaba, pp 68-70.
- Estrada, G.; Díaz, A.; Figueiredo, A. (1995), Efecto de la adición de hojas de soya sobre algunas características químicas de un Oxisol. *Suelos Ecuatoriales*, **25**, 57-60.
- Abad, M. 1996. Influencia de las aplicaciones de compost de residuos sólidos urbanos sobre las propiedades físico-químicas y químicas de los suelos cultivados, in: *Memorias curso Master Internacional Aprovechamiento de Residuos Orgánicos*, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. cap. 7, pp 1-15.
- Iyamuremye, F.; Dick, R. P.; Baham, J. (1996), Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Science*. **161** (7), 426-435.

8. Hue, N. V. (1990), Interactions of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ applied to an oxisol and previous sludge amendment. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **21**, 61-73.
9. Fox, R. L.; Kamprath, E. J. (1970), Phosphorus isotherm for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **34**, 902-906.
10. Anderson, J. M.; Ingram, J. S., *Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods*, 1989, C. A. B. International.
11. Miller, J. C.; Miller, J. N. *Estadística para química analítica*, 1993, Addison-Wesley Iberoamericana: U.S.A., pp 87-121.
12. Narváez, C. C. E. Retención de aluminio por materiales orgánicos y efectos de éstos sobre un suelo ácido y sobre un cultivo de maíz (*Zea mays*), Trabajo de Grado, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, 1998, Santa Fe de Bogotá, D.C. pp 29-39.
13. González, P. E.; Villafranca, S. M.; Fernández, P. M.; Socías, V. M. (1996), Sorption of diuron, atrazine, MCPA and paraquat on bentonite, humic acid and peat. *Fresenius Envir Bull.* **5**, 178-184.
14. Fox, R. L.; Benavides, S. T. 1974. El fósforo de los oxisoles, in: *Suelos Ecuatoriales: el fósforo en zonas tropicales*, Tercer coloquio sobre suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Santafé de Bogotá, 137-175.