

# FOSFORO ORGANICO EN ANDOSOLES Y SU RELACION CON OTROS PARAMETROS DEL SUELO

por

J. A. PEREZ MENDEZ, F. GUTIERREZ JEREZ, E. FERNANDEZ CALDAS  
e I. TRUJILLO JACINTO DEL CASTILLO



PUBLICADO EN  
ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA  
Tomo XXXVIII, Núms. 7-8 — MADRID, 1979

# FOSFORO ORGANICO EN ANDOSOLES Y SU RELACION CON OTROS PARAMETROS DEL SUELO

por

J. A. PEREZ MENDEZ, F. GUTIERREZ JEREZ, E. FERNANDEZ CALDAS  
e I. TRUJILLO JACINTO DEL CASTILLO

## SUMMARY

### ORGANIC PHOSPHORUS IN ANDOSOILS AND THEIR RELATIONSHIP WITH OTHER SOIL PARAMETERS

Organic phosphorus is determined on several andosols of the Canary Islands, studying their redistribution through of profil, so as their relation with the evolution of the soils. Relationship between organic phosphorus contain and % C, % N, inorganic phosphates,  $Al/Al + Si$ ,  $C/P_o$ ,  $C/P_{inorg}$  are showed.

## INTRODUCCIÓN

El porcentaje de fósforo orgánico, en relación con el contenido en fósforo total, que presentan los suelos naturales varía entre límites muy amplios: desde un 0,3 por 100 (Patel y Mehta, 1961) a un 95 por 100 (Kaila, 1956).

Esta fracción del fósforo del suelo es de particular importancia en suelos tropicales (Bornemisza, 1966; Ipinmidun, 1972; Uriyo y Keseba, 1975), en especial en lo que se refiere al suministro de fósforo a las plantas (Mortensen y Hines, 1964). Dichos suelos presentan en general un gran poder de fijación por los fosfatos y de ahí un bajo contenido en fósforo fácilmente asimilable. Esta característica de baja disponibilidad del fósforo es enormemente acusada en los andosoles, suelos objeto de nuestro estudio, y de los que no se dispone de gran información a este respecto.

En el presente trabajo analizamos el contenido en fósforo orgánico de una serie de andosoles desarrollados en condiciones bioclimáticas, topográficas y cronológicas diferentes, en relación con el grado de alteración que presentan y con una serie de parámetros característicos de dichos suelos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los suelos seleccionados para este estudio corresponden, como hemos indicado anteriormente, a una serie de andosoles que forman una cronosecuencia formada por:

Vitrandepts: Zabagu y Chinyero.

Vitrandepts evolucionados: Izaña y Portillo.

Dystrandepts: Aguamansa I y Aguamansa II.

Intergrados Andosol-Tierra parda oligotrófica: Manantiales y Pico del Inglés.

Estos suelos han sido descritos por Fernández Caldas y Tejedor Salguero (1975) y Cabezas Viaño (1975).

Se utiliza el método de Steward-Oades para la determinación del fósforo orgánico. Este método proporcionó los resultados más satisfactorios en un estudio comparativo entre diversos métodos (Pérez Méndez, J. A., 1976).

Los métodos y datos utilizados en el estudio estadístico se reseñan en publicaciones anteriores de Pérez Méndez (1976).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido en fósforo orgánico que presentan los suelos estudiados oscilan entre 1.455 y 176 ppm, siendo frecuentes los valores de aproximadamente 1.000 ppm, no detectándose en los horizontes (B)/C de Aguamansa I y (B)<sub>22</sub> del Pico del Inglés, y con un valor muy pequeño (55 ppm) en el horizonte (B)<sub>21</sub> de este mismo perfil.

En cuanto a los porcentajes con respecto al fósforo total, los valores de fósforo orgánico oscilan entre el 26,8 y el 55,3 por 100 en los horizontes superiores y entre el 8 y el 28,1 por 100 en los inferiores, exceptuando entre estos últimos aquellos horizontes en los que no se detecta fósforo orgánico y el (B)<sub>21</sub> del Pico del Inglés que sólo representa un 2,9 por 100 (tabla I).

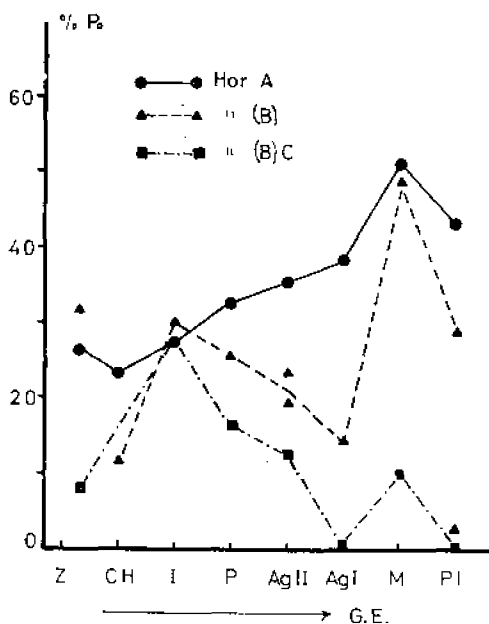
Estos suelos presentan, en general, contenidos elevados de fósforo orgánico. Esto es debido, por una parte, a la riqueza en fósforo del material de origen (Walker y Adams, 1958; Barrow, 1961), y por otra, a la acumulación notable de fósforo orgánico que se produce en suelos alofánicos en comparación con suelos desarrollados en condiciones similares, pero que no contienen alofanos, debido a la formación de complejos organominerales estables que hace difícil su mineralización (Jackman, 1955; Broadbent y otros, 1964; Bornemisza, 1966). Los contenidos de fósforo total y fósforo orgánico de los perfiles presentan un coeficiente de correlación de 0,5831, significativo al 0,1 por 100.

Dentro de un mismo perfil, la tendencia general es a disminuir el contenido en fósforo orgánico con la profundidad, tanto si se consideran los valores de P en ppm como en %. En los horizontes (B) de Zabagu y Manantiales se produce una pequeña acumulación de fósforo

orgánico. En el perfil Izaña, si bien el contenido absoluto disminuye netamente con la profundidad, los porcentajes se mantienen más o menos constantes.

Los porcentajes relativamente altos de fósforo orgánico en los horizontes inferiores pueden reflejar la eluviación desde los horizontes superiores o una acumulación gradual en la profundidad del perfil como consecuencia de la descomposición «in situ» de las raíces de las plantas (Walker y Syers, 1976).

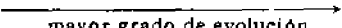
En relación con el grado de alteración que presentan los suelos estudiados, se observa un aumento de los valores del % de fósforo orgánico en los horizontes A, alcanzando un máximo en el perfil Manantiales (51,4 por 100) para decrecer en el Pico del Inglés. Esta tendencia concuerda con la expuesta por Walker y Syers, 1976, en el sentido de que tras una acumulación rápida de fósforo orgánico en las primeras etapas del desarrollo de los suelos, la proporción de fósforo orgánico va aumentando más lentamente hasta alcanzar un máximo en suelos bien desarrollados, para comenzar a disminuir a continuación en suelos muy evolucionados por la formación de fosfatos ocluidos (gráfica 1).



Gráfica 1

Este aumento del % de fósforo orgánico con el grado de evolución es más evidente si se consideran sólo los perfiles Zabagu, Aguamar-sa II y Manantiales, que presentan, a pesar de su diferente grado de evolución, unas condiciones ecológicas bastante similares.

Hor.	Zabagu	Ag. II	Manantiales
A	26.8	35.7	51.4
(B)	31.9	21.7	49.1
(B)/C	8.0	12.7	10.1


  
 mayor grado de evolución

Los horizontes que no contienen fósforo orgánico —(B)/C de Aguamansa I y (B)<sub>22</sub> del Pico del Inglés— son muy arcillosos (50 y 59 por 100) a la vez que relativamente pobres en materia orgánica (0,6 y 1,03 por 100 de C), condiciones éstas que dificultan la acumulación de fósforo orgánico (Williams y Saunders, 1956; Barrow, 1961; Bornemisza e Igue, 1966; Ipinmidun, 1972), mientras que un horizonte como el (B) de Manantiales, arcilloso (54,3 por 100) y rico en materia orgánica (5,29 por 100 de C) presenta un alto contenido en fósforo orgánico (1.109 ppm, 49,1 por 100 del P.) (tabla I), lo que evidencia el efecto favorable de la interacción arcilla-materia orgánica, en impedir la mineralización de los fosfatos orgánicos (Williams y Saunders, 1956; Bornemisza, 1966).

No obstante, no se encontró correlación significativa entre el % de arcilla y el contenido en fósforo orgánico cuando se consideró la totalidad de los valores obtenidos. Tampoco se encontró relación significativa entre el pH y el contenido en fósforo orgánico, lo que concuerda con lo establecido por otros autores para suelos de pH ácido (Jackman, 1955; Bornemisza, 1966).

Si era de esperar una correlación altamente significativa entre el contenido en materia orgánica y el fósforo orgánico, ya que ha sido encontrada por otros autores (Kaila, 1963; Acquaye, 1963; Enwezor, 1967; Uriyo y Kesseba, 1975), si bien no por todos los que han intentado establecerla (Friend y Birch, 1960).

Un nivel de significación al 0.1 por 100 se encontró tanto al considerar, frente al % C, los valores de fósforo orgánico en ppm como en porcentaje respecto al P, cuando se eliminaba el horizonte A de Izaña, pero las mismas correlaciones eran sólo significativas al 1 por 100 cuando se consideraban todos los valores (tabla II).

El horizonte A de Izaña es muy rico en materia orgánica (17,47 por 100 de C) y el hecho de que al mismo tiempo no lo sea en igual proporción en fósforo orgánico nos indica que no existe una íntima relación entre ambos parámetros (tabla I).

Los coeficientes de correlación entre los contenidos de materia orgánica y fósforo orgánico son ligeramente superiores cuando este último se considera en porcentaje con respecto al P<sub>t</sub>. Unas relaciones similares se establecen entre el % N y el contenido en fósforo orgánico, siendo en este caso los coeficientes de correlación ligeramente inferiores (tabla II).

La capacidad de fijación de los elementos amorfos por los fosfatos no se reduce simplemente a las formas inorgánicas de estos últimos sino que incluye además al fósforo relacionado con la materia orgánica en

T A B L A I

Perfil	Horizonte	Fósforo orgánico		C/P <sub>0</sub>	C : N : P <sub>0</sub>
		p.p.m.	% P <sub>t</sub>		
Zabagu . . . . .	A	1.199	26,8	40,8	98:10:2,4
	(B)	1.455	31,9	19,0	120:10:6,3
	(B)/C	269	8,0	34,5	155:10:4,5
Chinyero . . . . .	A	993	23,4	95,2	255:10:2,7
	(B)	271	12,0	41,3	280:10:2,7
Izaña . . . . .	A	754	27,4	232,9	113:10:0,5
	(B)	503	30,0	75,1	99:10:1,3
	(B)/C	230	28,1	38,5	83:10:2,2
Portillo . . . . .	A <sub>0</sub>	1.407	55,3	38,8	103:10:2,6
	A <sub>1</sub>	893	33,1	47,6	101:10:2,1
	(B)	578	26,0	52,7	98:10:1,8
	(B)/C	176	16,4	63,0	85:10:1,3
Aguamansa I . . .	A	1.024	38,5	78,1	154:10:1,9
	(B)	348	14,5	47,1	126:10:2,6
	(B)/C	—	—	—	126:10:—
Aguamansa II . . .	A	834	35,7	80,1	167:10:1,6
	(B) <sub>1</sub>	449	19,6	59,2	147:10:2,5
	(B) <sub>2</sub>	563	23,8	39,2	116:10:2,9
	(B)/C	408	12,7	34,8	129:10:3,7
Manantiales . . . .	A	963	51,4	73,0	81:10:1,1
	(B)	1.109	49,1	47,7	102:10:2,1
	(B)/C	226	10,1	84,5	106:10:1,2
Pico del inglés . .	A <sub>11</sub>	635	43,5	134,5	105:10:0,8
	A <sub>12</sub>	398	29,4	85,2	97:10:1,1
	B <sub>11</sub>	55	2,9	298,2	25:10:0,1
	B <sub>23</sub>	—	—	—	147:10:—

los complejos órgano-minerales donde los iones fosfato deben desempeñar un importante papel como puentes de unión entre ambas fases, y de ahí la correlación existente entre el grado de silificación de los amorfos (directamente relacionado con la capacidad para «fijar» fosfatos) y el contenido en fósforo orgánico de estos suelos ( $r = 0,6300$ ,  $s = 0,1$  por 100) (tabla II).

Una correlación altamente significativa ( $r = 0,72$ ,  $s = 0,1$  por 100) se observa entre el contenido en fósforo orgánico y los fosfatos inorgánicos activos (fósforo unido al calcio y fosfatos de hierro y aluminio no ocluidos), lo que evidencia la influencia mutua que existe entre estas



parada oligotrófica debido al bajo contenido de estas últimas formas de fósforo en dichos suelos.

Por ser muy difícil de determinar la cantidad absoluta de fósforo presente en la materia orgánica de un suelo, éste generalmente se expresa en relación al carbono y al nitrógeno. Realmente es complicado decidir cuál de estos dos constituyentes de la materia orgánica es el más apropiado para utilizarlo como referencia, ya que, en los horizontes superficiales y húmicos, que poseen gran cantidad de carbono orgánico, parece aconsejable tomar al nitrógeno como referencia, mientras que en los horizontes profundos y minerales, en los cuales pudiera acumularse  $\text{NH}_4^+$  por fijación, sería más aconsejable tomar el carbono.

La relación  $\text{C}/\text{P}_o$  ha sido considerada por muchos autores como un índice de la incorporación del fósforo a la materia orgánica. Dicha relación varía entre valores muy amplios (500-300 y 1) (Barrow, 1961; Bornemisza, 1966) indicando dichos autores que para valores inferiores a 200 se produce la mineralización del fósforo orgánico, mientras que para valores superiores a 300 se produce una inmovilización inicial (Black y Goring, 1953).

En nuestro caso, la mayoría de los valores están comprendidos entre 34,5 y 134 (tabla I), lo que indicaría una buena mineralización del fósforo orgánico. Sin embargo, Martini y Palencia (1975) establecen, de acuerdo con Bornemisza (1966), una baja mineralización del fósforo orgánico en Andepts, y Enwezor (1967), en suelos de Nigeria, encontró que en dichos suelos la mineralización del fósforo orgánico dependía más del % de éste con respecto al fósforo total, que de las relaciones  $\text{C}_o/\text{P}_o$ . Es muy importante el tipo de mineral de arcilla predominante, siendo especialmente acusado el efecto de la alofana, la cual forma complejos estables con la materia orgánica haciendo difícil su mineralización (Bornemisza, 1966).

En los suelos objeto de nuestro estudio existe, para la relación  $\text{C}/\text{P}_o$ , un valor relativamente bajo (19) —esto es, de gran riqueza en fósforo orgánico— para el horizonte (B) de Zabagu, y un valor muy alto (298,2) para el horizonte (B)<sub>21</sub> del Pico del Inglés, lo que puede significar, en este último horizonte, que la pequeña cantidad de fósforo orgánico presente, está parcialmente inmovilizada.

No se encuentran diferencias apreciables de esta relación entre los distintos tipos de suelos considerados, aunque sí se observa, en general, una disminución de dicha relación con la profundidad, lo que, unido al hecho de que tanto la materia orgánica como el fósforo orgánico también disminuyen en el mismo sentido, nos indica que en los horizontes inferiores la mineralización del fósforo es más lenta que la de la materia orgánica en general (Barrow, 1961; Bornemisza, 1966) y que por tanto, los compuestos de fósforo orgánico de los horizontes inferiores son más estables que los que se encuentran en los horizontes superficiales.

Hemos visto que, en nuestro caso, existe una relación mayor entre las diferentes formas activas de fósforo inorgánico y el fósforo orgánico que entre éste y el % C. Por otra parte, existe una relación estrecha entre el % C y el P-Al ( $r = 0,73$ ,  $s 0,1$  por 100) y una correlación



menor del % C con las fracciones P-Al, Fe ( $r = 0,55$ ,  $s$  5 por 100) y P-activo ( $r = 0,4898$ ,  $s$  5 por 100) (tabla II).

Con objeto de encontrar una posible relación entre todos estos parámetros, estudiamos las correlaciones entre la relación C/P<sub>o</sub> con las diferentes formas de fosfatos inorgánicos activos y con las relaciones C/P-Al, C/P-Fe; C/P-activo.

En los primeros casos no encontramos relaciones significativas, pero entre los últimos, los coeficientes encontrados fueron, respectivamente, de 0,59, 0,84 y 0,87, significativos al 1 por 100, el primero y al 0,1 por 100 los dos últimos (tabla II).

Estos resultados los hemos interpretado en el sentido de que la incorporación o riqueza de fósforo en la materia orgánica depende más que del contenido en ésta o de la riqueza en fosfatos inorgánicos activos, de la relación que exista entre ambos parámetros, esto es, de la relación C/P-activo. Esto significaría que un alto contenido en materia orgánica no implica necesariamente una mayor riqueza en fósforo orgánico (como sucede, por ejemplo, en el caso del horizonte A de Izaña y lo que explicaría además la falta de relación estrecha entre el % C y el fósforo orgánico que han encontrado varios autores (Friend y Birch, 1960) y que todas las formas inorgánicas activas intervienen en la incorporación de fósforo a la materia orgánica, lo que puede deducirse del hecho de que la significación aumente al pasar de las relaciones C/P-Al, C/P-Fe a C/P-activo, si bien es el P-Al quien parece tener la mayor influencia, según vimos anteriormente (relaciones fósforo orgánico y materia orgánica con la fracción P-Al).

Puesto que los factores que afectan a la mineralización del fósforo orgánico son similares en muchos aspectos a aquellos que influyen en la mineralización del nitrógeno y carbono orgánicos, como evidencian las correlaciones positivas entre las cantidades de fósforo orgánico y de nitrógeno y carbono mineralizadas durante la incubación de los suelos, es por lo que creemos interesante estudiar la relación C:N:P<sub>o</sub> que nos da una idea clara de la mineralización del carbono y del fósforo con relación al nitrógeno, que según la recopilación bibliográfica hecha por Black y Goring es de 122:10:1.1 para el caso del fósforo orgánico. Trabajos más recientes han indicado considerables desviaciones de esta relación.

Con algunas excepciones, que citaremos más adelante, se observan en general las mismas tendencias para todos los suelos: un aumento de la mineralización del carbono con la profundidad a la inversa del fósforo que disminuye.

En los vitrandepts (Zabagu y Chinyero), la mineralización del carbono disminuye con la profundidad, tendencia opuesta al resto de los suelos estudiados.

En Portillo (vitrandept evolucionado) se observa una ligera disminución en lo que se refiere al fósforo orgánico con la profundidad. Esto se debe posiblemente a que el perfil está bajo vegetación de leguminosas, muy ricas en alcaloides, que ponen en juego, durante los procesos de descomposición, gran cantidad de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, que como apunta Stevenson, por lavado puede ser fijado en forma no cambiante en los horizontes minerales, haciendo descender la relación del carbono y fósforo con respecto al nitrógeno.

Por último tenemos que hacer notar la discontinuidad edafológica presentada por los horizontes (B)<sub>11</sub> y (B)<sub>22</sub> del perfil Pico del Inglés en lo que respecta al carbono, lo que evidencia una vez más la existencia de un Paleosuelo en profundidad, mientras que los horizontes A<sub>11</sub> y A<sub>12</sub> poseen un comportamiento análogo al presentado por los Dystrandeps. Por otro lado se observa una ligera disminución del fósforo orgánico con la profundidad en los intergrados, lo que podría ser justificado por las condiciones climáticas reinantes (humedad casi permanente y no muy elevadas temperaturas) y de elevada acidez, que no permiten una síntesis rápida de fósforo orgánico, siendo además estos suelos los que se encuentran en la zona de mayor pluviometría de los estudiados (Las Mercedes y Cedro), y según Walker y Adams (1958), a mayor pluviometría menor proporción de fósforo orgánico.

Los aumentos de fósforo orgánico con relación al nitrógeno en profundidad son más notorios en los vitrandeps y dystrandeps. En los primeros se debe muy posiblemente a condiciones climáticas y pH adecuados para la síntesis de compuestos orgánicos de fósforo, y en los segundos a la retención de que es objeto el fósforo orgánico por las alofanas, retrasando la mineralización del mismo.

Las relaciones C:N:P<sub>o</sub> (tabla I) nos dan valores próximos a los reseñados por Barrow (1961) en su artículo de revisión bibliográfica de los estudios de fósforo orgánico, que comprende a suelos de muy diferentes características, así como a los encontrados por Syers y Walker (1969) en suelos de Nueva Zelanda.

#### RESUMEN

Se determina el fósforo orgánico en diversos suelos ándicos de las Islas Canarias, estudiándose su distribución a través del perfil, así como su posible relación con el grado de evolución. Se establecen relaciones entre el contenido de fósforo orgánico y el % C, % N, fosfatos inorgánicos activos, relaciones Al/Al + Si, C/P<sub>o</sub> y C/P<sub>inorg</sub>.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.*

#### BIBLIOGRAFÍA

- ACQUAYE, D. K. (1963). Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. *Plant and Soil*, **19**, 65-80.
- BARROW, N. J. (1961). Phosphorus in soil organic matter. *Soils and Fertilizers*, **24** (3), 169-173.
- BLACK, C. A., GORING, C. A. I. (1953). Organic phosphorus in soil. *Agronomy Monograph*, Vol. IV, 123-152. Academic Press., New-York.
- BORNEMISZA, E. (1966). Fósforo orgánico en suelos tropicales. *Turrialba*, **16**, 33-38.
- BORNEMISZA, E., IGUE, K. (1967). Comparison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rica soils. *Soil Sci.*, **103**, 347-353.
- BROADBENT, F. E., JACKMAN, R. H., MC NICOLL, J. (1964). Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soil. *Soil Sci.*, **98** (2), 118-128.
- CABEZAS VIAÑO, O. (1975). Estudio mineralógico de Andosoles de las Islas Canarias. Tesis doctoral, Universidad de La Laguna.
- ENWEZOR, W. (1967). Significance of C:Organic P ratio in the mineralization of soil organic phosphorus. *Soil Sci.*, **103**.
- FERNÁNDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M. L. (1975). Andosoles de las Islas Canarias. Caja General de Ahorros. Santa Cruz de Tenerife.

- FIFE, C. V. (1963). An evolution of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminium-bound soil phosphate. IV. *Soil Sci.*, **96**, 112-120.
- FRIEND, M. T., BIRCH, J. F. (1960). Phosphate responses in relation to soil taste and organic phosphorus. *J. Agr. Sc.*, **54**, 341-347.
- IPINMIDUM, W. B. (1972). Organic phosphorus in some Northern Nigerian soils in relation to soil organic carbon and as influenced by parent rock and vegetation. *J. Sci. Fd. Agric.*, **23**, 1099-1105.
- JACKMAN, R. H. (1955). Organic phosphorus in New Zealand soils under pasture. II. *Soil Sc.*, **79**, 293-299.
- KAILA, A. (1956). Phosphorus in various depths of some virgin peat lands. *Maataloust. Aikak.*, **28**, 90-104.
- KAILA, A. (1963). Organic phosphorus in Finnish soils. *Soil Sci.*, **95**, 38-44.
- MARTÍNEZ PANCORBO, A., LUCENA CONDE, F. (1959). Determinación y formas del fósforo en los suelos de la provincia de Salamanca. *Anales Edaf.*, XVIII (2), 81-95.
- MARTINI, J. A., PALENCIA, J. A. (1975). Soil deliver from volcanic ash in Central America. I. *Andepts. Soil Sci.*, **120** (4), 278-287.
- MORTENSEN, J. L., HINES, F. L. (1964). Soil organic matter. Chemistry of the soil Bear F. E. editor. Renihold Publ. Corp. N. Y., pág. 206-241.
- PATEL, J. M., MEHTA, B. V. (1961). Soil phosphorus fraction studies. *Soil Sci. Soc. Ame. Proc.*, **25** (3), 190-192.
- STEWART, J. H., OADES, J. M. (1972). The determination of organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.*, **23** (1), 38-49.
- SYERS, J. K., WALKER, T. W. (1969). Phosphorus transformations in a chronosequence of soils developed on wind-blown sand in New Zealand. I y II. *J. Soil Sci.*, **20**, 57-60 y 318-324.
- URIYO, A. P., KESEHA, A. (1975). Amounts and distribution of organic phosphorus in some profiles of Tanzania. *Geoderma*, **13**, 201-210.
- WALKER, T. W., ADAMS, A. F. R. (1958). Studies on soil organic matter. I. Influence of P content of parent material on accumulation of C, N, S, and organic phosphorus in grasslands soils. *Soil Sci.*, **85**, 307-318.
- WALKER, T. W., SYERS, J. K. (1976). The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, **16**, 1-19.
- WILLIAMS, E. G., SAUNDERS, W. M. H. (1956). Distribution of phosphorus in profiles and particle size fractions of some Scottish soils. *J. Soil Sci.*, **7**, 90-108.
- WILLIAMS, E. G., SCOTT, N. M., McDONALD, M. J. (1958). Soil properties and phosphate sorption. *J. Sci. Food Agr.*, **8**, 551-559.
- WILLIAMS, J. D. H., WALKER, T. W. (1969). Fractionation of phosphate in a maturity sequence of New Zealand basaltic soils profiles. II. *Soil Sci.*, **107**, 213-219.

Recibido para publicación: 28 XI 77