

FRACCIONES DE FÓSFORO ÓRGANICO EN SUELOS DE PANAMÁ

José E. Villarreal¹; Santander Jaramillo²; Benjamín Name³

RESUMEN

Con el propósito de determinar la biodisponibilidad de las fracciones de fósforo orgánico presente en suelos de diferentes clases taxonómicas, se realizó un estudio en muestras de suelos que representan áreas de importancia agrícola en Panamá. Se utilizaron 10 suelos pertenecientes a las órdenes: Ultisoles, Mollisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Andisoles. Se realizó extracción secuencial con NaHCO_3 0.5 M; H_2SO_4 1.0 M y NaOH 0.5 M para obtener fracciones de fósforo orgánico lábil, moderadamente lábil y moderadamente resistente, respectivamente. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos del IDIAP en Divisa, utilizando un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. El contenido de fósforo orgánico total extraído fue muy variado, con un promedio de 37.3 mg/kg en los 10 suelos estudiados. Sin embargo, en suelos con mayor grado de intemperismo la fracción de fósforo orgánico lábil fue la más importante, demostrando que en éstos la fracción orgánica representa una reserva importante de nutrimentos que contribuye al aumento de su fertilidad. Se observó correlación positiva y significativa entre las fracciones de fósforo orgánico total y fósforo total (0.70); fósforo orgánico lábil y fósforo lábil total (0.53); carbono orgánico y fósforo orgánico lábil (0.40). Se recomienda realizar ensayos de campo para verificar el comportamiento del fósforo orgánico a mediano y largo plazo y el efecto del manejo sobre sus transformaciones.

PALABRAS CLAVES: Suelo y fertilizantes; fósforo; tipos de suelos.

ORGANIC PHOSPHORUS FRACTIONS IN SOILS OF PANAMA

With the purpose of determining the bioavailability of the organic phosphorus fractions present in different taxonomic classes, it was carried out a study in soil samples which represent important agricultural areas of Panama. It was used 10 soils belonging to ultisols, mollisols, inceptisol, alfisols and andisols order. It was carried out sequential extractions

¹ Licdo. en Química, M.Sc. Ciencias del Suelo. Investigador, IDIAP, CIAC.

² Ing. Agrónomo, M.Sc. Edafología. Investigador, IDIAP, CIAC. (+q.e.p.d.)

³ Ing. Agrónomo, M.Sc. Edafología. Investigador, IDIAP, CIAC.

with NaHCO_3 0.5 M; H_2SO_4 1.0 M and NaOH 0.5 M to obtain organic phosphorus fractions such as "labil", moderate "labil" and moderate resistance, respectively. The analysis was conducted at IDIAP Soil Laboratory in Divisa. A completely randomized block design with four repetitions was utilized. The extracted organic phosphorus content was very variable with an average of 37.3 mg/kg of the 10 soils. However in soils with high degree of intemperism, the organic phosphorus fraction "labil" was the most important, showing that in these soils organic fraction represents the most important nutrient reserve that contribute to increase its fertility. It was observed positive correlation and significant among total organic phosphorus fractions and total phosphorus (0.70); "labil" organic phosphorus and "labil" total phosphorus (0.53); organic carbon and "labil" organic phosphorus (0.40). It was recommended carry out field trials to verify the organic phosphorus performance at medium and long term and the effect of handling on its transformations.

INTRODUCCIÓN

A pesar de la importancia del fósforo (P) unido a componentes orgánicos, existen pocos trabajos que se dedican al estudio de esta fracción en suelos de América Latina (Bornemisza e Igue, 1967; Condrón, 1990; Guerra, 1996).

En suelos altamente intemperizados como los ultisoles, que representan alrededor del 40% del total de los suelos del territorio de la República de Panamá (Comisión de Reforma Agraria, 1979) la función del fósforo orgánico (Po) en la nutrición de las plantas es de particular importancia.

De acuerdo con Bowman y Cole (1978b), el Po constituye una reserva que es utilizada de acuerdo con el equilibrio del elemento en el suelo. Según Guerra y col. (1996), la disponibilidad biológica del elemento sería controlada no únicamente por el equilibrio entre fósforo inorgánico (Pi) - solución

- fase sólida del suelo, sino también por los factores que afectan el equilibrio entre Po - solución - fase sólida del suelo.

Los métodos utilizados para la determinación del Po son de dos tipos: a) extracción por vía húmeda (química) y b) por vía seca (ignición). El método de ignición se fundamenta en la descomposición del Po a 550 °C; sin embargo, a pesar de su sencillez, pueden ocurrir pérdidas de Po por volatilización (Tiessen, 1989). Las técnicas analíticas de extracción por vía húmeda comprenden el tratamiento del suelo con ácidos y bases fuertes; de esta forma, el efecto de hidrólisis causado por las soluciones alcalinas puede llevar a una superestimación de los contenidos de Po (Tiessen y col., 1984).

El método de Mehta y col. (1954) es el más utilizado, aunque sólo permite estimar el contenido de Po total. Bowman y Cole (1978a,b) desarrollaron un mé-

todo de extracción que permite determinar las diferentes fracciones de Po, las cuales se supone, permitiría definir las formas de equilibrio del P del suelo en un sistema agrícola.

Por medio de esta metodología, es posible definir el siguiente esquema de fraccionamiento:

- ❖ Po lábil o disponible para las plantas, extraído con NaHCO_3 0.5 M
- ❖ Po moderadamente lábil, extraído con H_2SO_4 1.0 M
- ❖ Po moderadamente resistente unido a los ácidos húmicos, extraído con NaOH 0.5 M

Se han realizado diversos trabajos para estudiar la cantidad y la naturaleza del Po (Guerra, 1993; Henríquez y col., 1992; Condrón y col., 1990; Dalal, 1977; Boenemisz y Igue, 1967). A pesar de ello, su papel en el suelo generalmente es subestimado, debido a que la mayor parte del P total en los suelos frecuentemente cultivados, se encuentra en forma inorgánica.

Según Thien y Myers (1992) esto se debe, probablemente, a que el cultivo incrementa la aireación y humedad del suelo, aumentando la actividad microbiana y consecuentemente, la descomposición de la materia orgánica. Estos mismos autores, constataron que la disminución en el contenido de Po, como resultado de cultivos sucesivos,

se debió principalmente a la reducción del nivel de fosfato-inositol, que es la forma más importante de Po en el suelo.

Debido a la escasa información sobre el Po que existe en los suelos de Panamá, se realizó este estudio bajo condiciones de laboratorio para determinar la biodisponibilidad de las fracciones de Po presentes en suelos de diferentes clases taxonómicas que representan áreas de importancia agrícola en Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Cuadro 1 se presenta la localización, orden, suborden y textura de los 10 suelos utilizados en el estudio, los cuales representan áreas de importancia agrícola en la República de Panamá. De acuerdo con el sistema de clasificación Soil Survey Staff (1990) pertenecen a los órdenes más comunes en el país: Ultisoles, Inceptisoles, Alfisoles, Mollisoles y Andisoles.

Las muestras fueron colectadas de los primeros 20 cm de la superficie (horizonte Ap).

Las muestras fueron secadas al aire, trituradas, homogeneizadas y cernidas utilizando un tamiz con una malla de 2 mm de abertura. El análisis químico de los suelos se realizó siguiendo la

CUADRO 1. LOCALIZACIÓN, ORDEN, SUBORDEN Y TEXTURA DE 10 SUELOS DE PANAMÁ.

Localización	Orden	Suborden	Textura (%)			Clase
			Arena	Limo	Arcilla	
Sajalices, Chorrera	Inceptisol 1	Tropepts	52	30	18	FA
Quirá, Barú	Inceptisol 2	Aquepts	44	48	8	F
Santa Fé, Darién	Inceptisol 3	Tropepts	32	36	32	FARC
El Coco, Penonomé	Alfisol 1	Aquepts	66	16	18	FA
Cocobola, Las Tablas	Alfisol 2	Ustalfs	30	24	46	FARC
Calabacito, Santiago	Ultisol 1	Udults	38	10	52	ARC
Los Carates, Ocu	Ultisol 2	Ustuls	50	34	16	F
Alanje, Chiriquí	Andisol 1	Andepts	64	32	4	FA
Boquete, Chiriquí	Andisol 2	Andepts	78	14	8	AF
Chichebre, Chepo	Mollisol	Udolls	46	24	30	FARA

*FA= Franco Arenoso; F= Franco; FARC= Franco Arcilloso; ARC= Arcilloso; AF= Arenoso Franco; FARA= Franco Arcilloso Arenoso

metodología propuesta por Díaz-Romeu y Hunter (1978). Los resultados se muestran en el Cuadro 2.

Extracción y Determinación del Fósforo Orgánico

La metodología utilizada fue de fraccionamiento del P_o propuesta por Bowman y Cole (1978 a, b) que consiste en la extracción secuencial de la muestra de suelo con NaHCO_3 0.5 M; H_2SO_4 1.0 M y NaOH 0.5 M, obteniéndose en cada extracto las fracciones de P_o lábil, moderadamente lábil y moderadamente resistente con cada solución extractora, respectivamente.

Las extracciones fueron realizadas siguiendo los pasos presentados en la Figura 1. El P_o fue cuantificado indi-

rectamente substrayendo el P_i del P_{total} (P_t), así: $P_o = P_t - P_i$.

Para el desarrollo del color en el extracto se utilizó la metodología propuesta por Díaz-Romeu y Hunter (1978), determinando el contenido de P por espectrofotometría en una longitud de onda de 680 nm.

El fósforo inorgánico fue determinado directamente de la solución en cada etapa de la extracción, mientras que el fósforo total de cada fracción se determinó luego de digerir una alícuota del extracto con una mezcla de ácido perclórico, nitrato de magnesio y ácido sulfúrico. Para la determinación del P_t a partir del extracto digerido, se neutralizó el exceso de ácido con NaOH 0.5 M, utilizando p-nitrofenol como indica-

CUADRO 2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS ESTUDIADOS.

Suelo	P -mg/kg-	K	- cmol/kg-			C org. - %-	- mg/kg-				pH
			Ca	Mg	Al		Fe	Cu	Mn	Zn	
Inceptisol 1	5.5	3.6	11.2	2.4	1.2	1.8	5.7	0.2	10.9	Tr	5.2
Inceptisol 2	120.0	9.3	2.7	0.7	1.2	3.1	242.0	13.0	27.0	0.2	5.7
Inceptisol 3	12.0	2.6	2.2	0.9	1.8	1.6	67.0	10.0	148.0	2.0	6.0
Alfisol 1	17.0	2.6	0.6	0.2	0.5	1.3	84.0	1.0	89.0	Tr	5.4
Alfisol 2	8.7	6.3	11.6	1.7	0.2	1.7	3.7	1.1	7.9	0.2	5.7
Ultisol 1	1.7	1.0	0.6	0.2	3.8	0.6	70.0	4.0	47.0	Tr	4.7
Ultisol 2	2.7	1.3	0.9	0.3	3.5	0.9	38.0	6.0	50.0	Tr	5.1
Andisol 1	13.5	4.1	2.6	0.7	1.0	3.8	31.0	4.0	12.0	12.0	5.4
Andisol 2	7.5	1.8	2.3	0.8	0.5	3.6	15.0	6.0	30.0	17.0	5.5
Mollisol	13.5	3.0	3.0	0.8	0.3	2.3	94.0	5.0	27.0	1.0	6.0

dor. En todos los casos, se preparó un blanco para detectar cualquier tipo de contaminación.

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Suelos del IDIAP, en Divisa, entre los meses de mayo a diciembre de 1996, empleándose un diseño experimental completamente al azar, con 10 tratamientos (muestras de suelo) y cuatro repeticiones. Se efectuaron análisis de correlación simple entre el nivel de carbono orgánico con el Po total de los suelos. De igual forma, se correlacionó el contenido de Po lábil y Po total con la concentración de P total del suelo, considerando las muestras de suelo en conjunto.

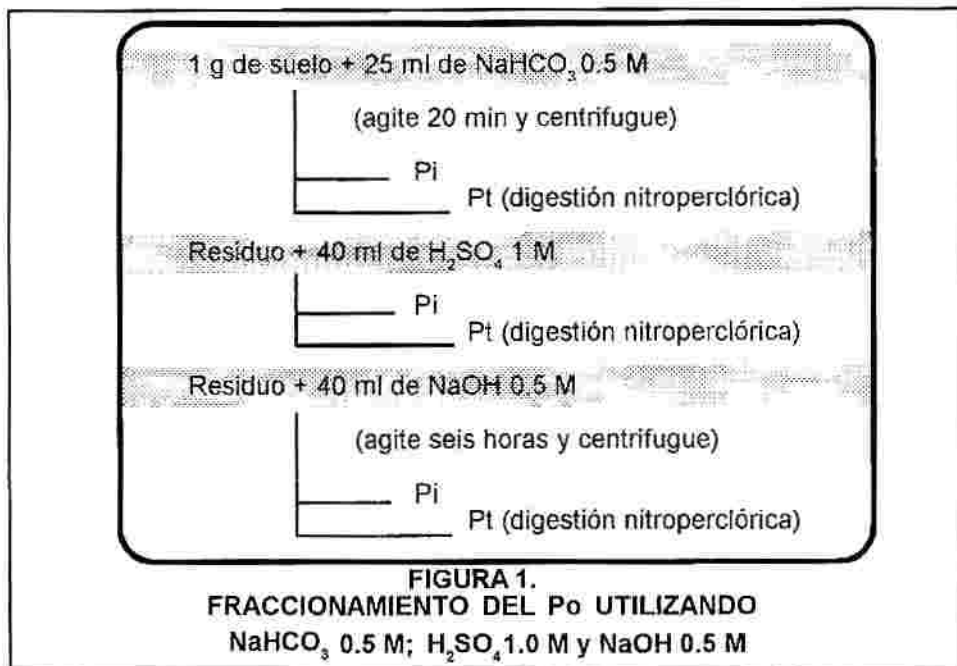
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El total de las fracciones de fósforo extraídas con las tres soluciones extractoras se encuentra en el Cuadro 3. Se constata que el contenido de Po total se presenta muy variado en los diferentes tipos de suelo, mostrando un valor promedio de 37.3 mg/kg, variando desde 6.5 mg/kg en el Ultisol 1 hasta 61.4 mg/kg en el Alfisol 2. También se constata que estos mismos suelos presentaron el menor y mayor contenido de Pt, demostrando la capacidad diferencial en la acumulación de P orgánicamente combinado en los diferentes tipos de suelo.

Guerra y col. (1996), en suelos tropicales de Brasil, encontraron resultados semejantes donde el valor promedio del Po era de 50 mg/kg de suelo. Condron y col. (1990) determinaron valores de 88 mg/kg en muestras de suelos de África y del Noreste de Brasil. Por otro lado, Bornemisza e Igue (1967), en suelos de Costa Rica, encontraron valores promedios de 405 mg/kg de Po utilizando el método de extracción de Mehta y col. (1954). Según estos autores, probablemente esta metodología extrae mayor cantidad de Po porque presenta menos problemas de hidrólisis.

La variabilidad en las diferentes determinaciones realizadas en suelos tropicales demuestra que los resultados, posiblemente, son superestimados en función de la metodología de análisis utilizada y que seguramente otros factores como la fertilización fosfatada (mineral), intensidad en el uso del suelo, contenido de materia orgánica y naturaleza de las arcillas, deben tener una gran influencia sobre esta fracción en los suelos tropicales.

El Ultisol 2 presentó el menor porcentaje relativo de Po (Figura 2), coincidiendo este resultado con el bajo contenido de carbono orgánico encontrado en este suelo (Cuadro 2). También se observa el predominio de la fracción inorgánica, representando más del 50%



CUADRO 3. CONTENIDO DE P TOTAL, P INORGÁNICO Y P ORGÁNICO DETERMINADOS EN LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELO.

TIPO DE SUELO	P total	P inorgánico	P orgánico
	_____ mg/kg		
Inceptisol 1	98.8	42.1	56.7
Inceptisol 2	79.9	45.2	34.7
Inceptisol 3	83.8	43.9	39.9
Afisol 1	92.3	53.2	39.1
Afisol 2	125.5	64.1	61.4
Andisol 1	66.4	29.8	36.7
Andisol 2	112.4	54.1	57.7
Ultisol 1	22.1	15.6	6.5
Ultisol 2	29.9	23.0	6.9
Mollisol	86.0	52.9	33.1

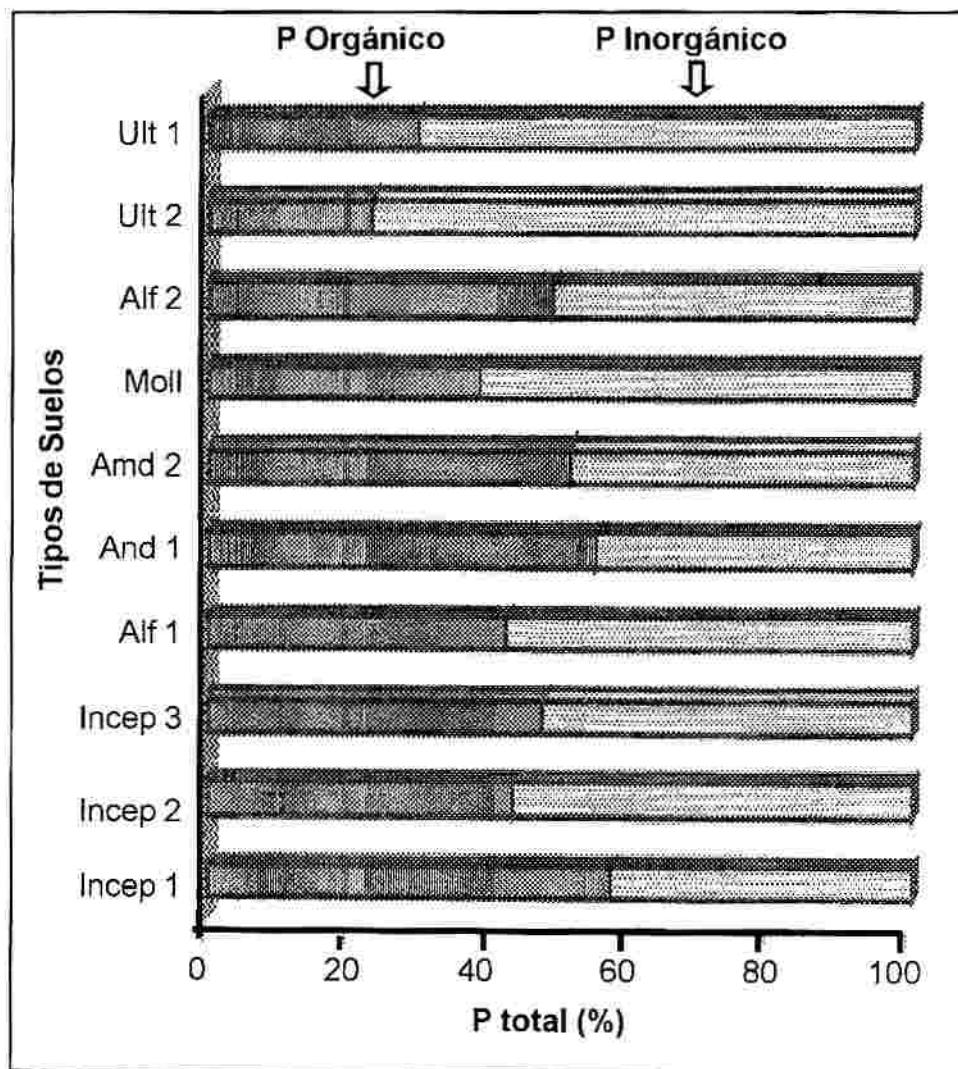


FIGURA 2
REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS FRACCIONES DE FÓSFORO
ORGÁNICO EXTRAÍDAS EN 10 SUELOS DE PANAMÁ

del P total en la mayoría de los suelos (promedio de 56.3%) sobre la fracción orgánica (promedio de 43.7%). La fracción orgánica varió con límites entre 23.1% y 57.4% en los diferentes tipos de suelo, mostrando mayor porcentaje los Andisoles, Inceptisoles y los Alfisoles.

En general, el predominio del P_i sobre el P_o ha sido encontrado en suelos tropicales genéticamente evolucionados (Bornemisza e Igue, 1967; Soltanpour y col., 1987; Condron y col., 1990; Guerra y col., 1996).

Resultados de Walker y Adams (1959) sobre el proceso de acumulación de P durante la pedogénesis del suelo, llevan a considerar que las cantidades de P_o serían pequeñas al inicio de su formación, aumentarían en suelos ligeramente intemperizados y declinarían en suelos fuertemente intemperizados.

En la Figura 3 se observa que la fracción de P_o "moderadamente lábil" es la más importante en los Andisoles e Inceptisoles, con un aporte entre 43.0 y 52.0% del P_o total extraído por las tres soluciones extractoras. Mientras que, en los Ultisoles y Alfisoles, las fracciones de P_o más notables fueron las formas lábil y moderadamente resistente.

Los resultados demostraron que posiblemente en estos suelos, la fracción orgánica "lábil" podría aportar una can-

tidad de P lábil muy importante y que generalmente no se toma en cuenta. Siendo así, cuando esta fracción es agotada, la restitución rápida del P disponible dependerá de una fracción "moderadamente resistente" que estará envuelta en las transformaciones a largo plazo (Tiessen y col., 1984). De esta forma, el manejo de la materia orgánica en estos suelos es de vital importancia.

Considerando las muestras en conjunto, con relación al P_o total determinado, el P_o lábil es una fracción que tiene una importante contribución en los suelos tropicales, registrándose un promedio de 27.5% de P_o lábil en los suelos de las 10 áreas estudiadas, variando desde 6.6% en el Andisol 2 hasta 60.6% en el Ultisol 1. Se comprueba de esta forma la importancia de darle un manejo adecuado a la materia orgánica en estos suelos.

La fracción de P_o "moderadamente resistente" fue muy variable en los diferentes suelos, aunque el porcentaje obtenido fue mayor en los Andisoles, coincidiendo con los elevados valores de carbono orgánico encontrados (Cuadro 2). Seguramente, esta fracción se encuentra asociada con los materiales que presentan una pobre organización cristalina (antiguamente conocidos como amorfos).

Algunos de los suelos evaluados, como los Ultisoles, presentaron nive-

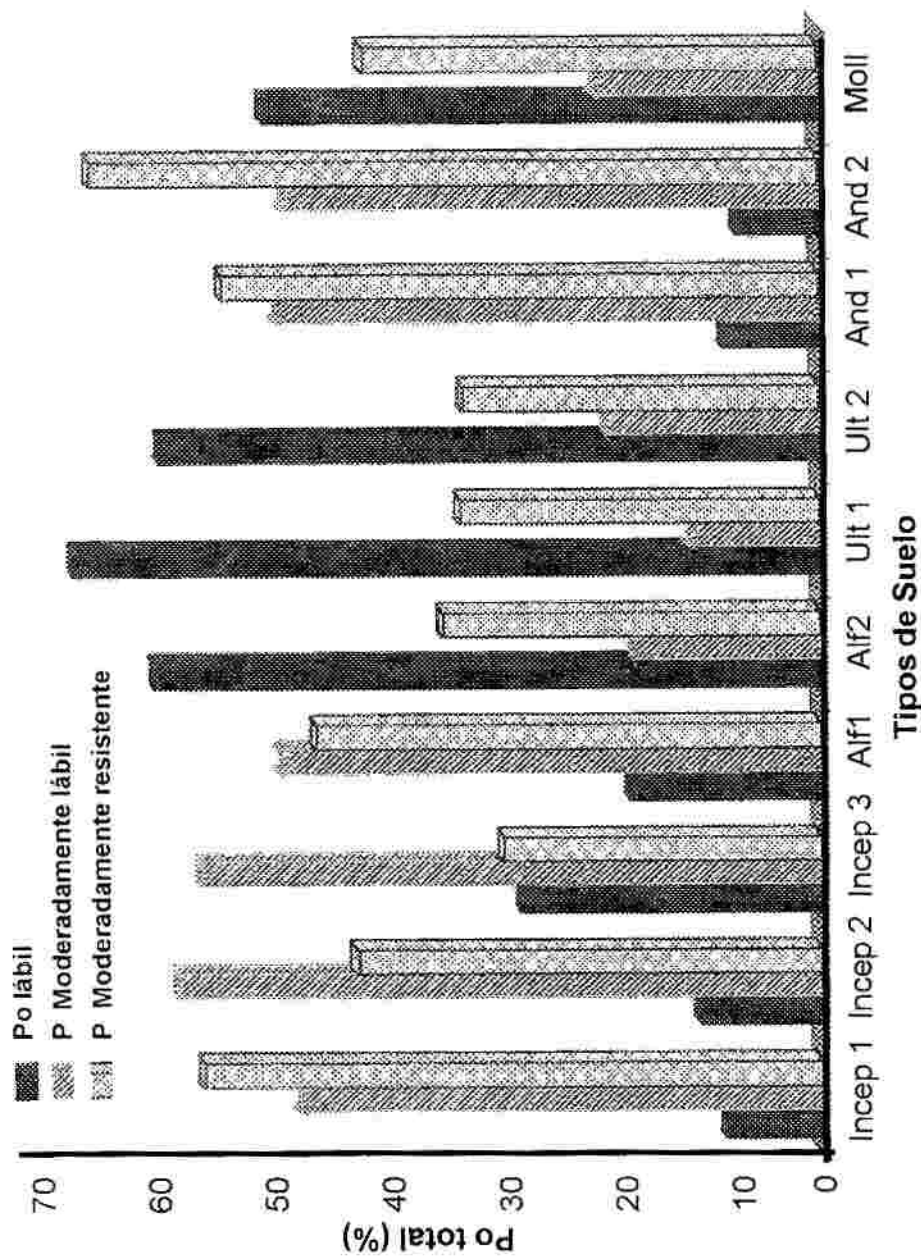
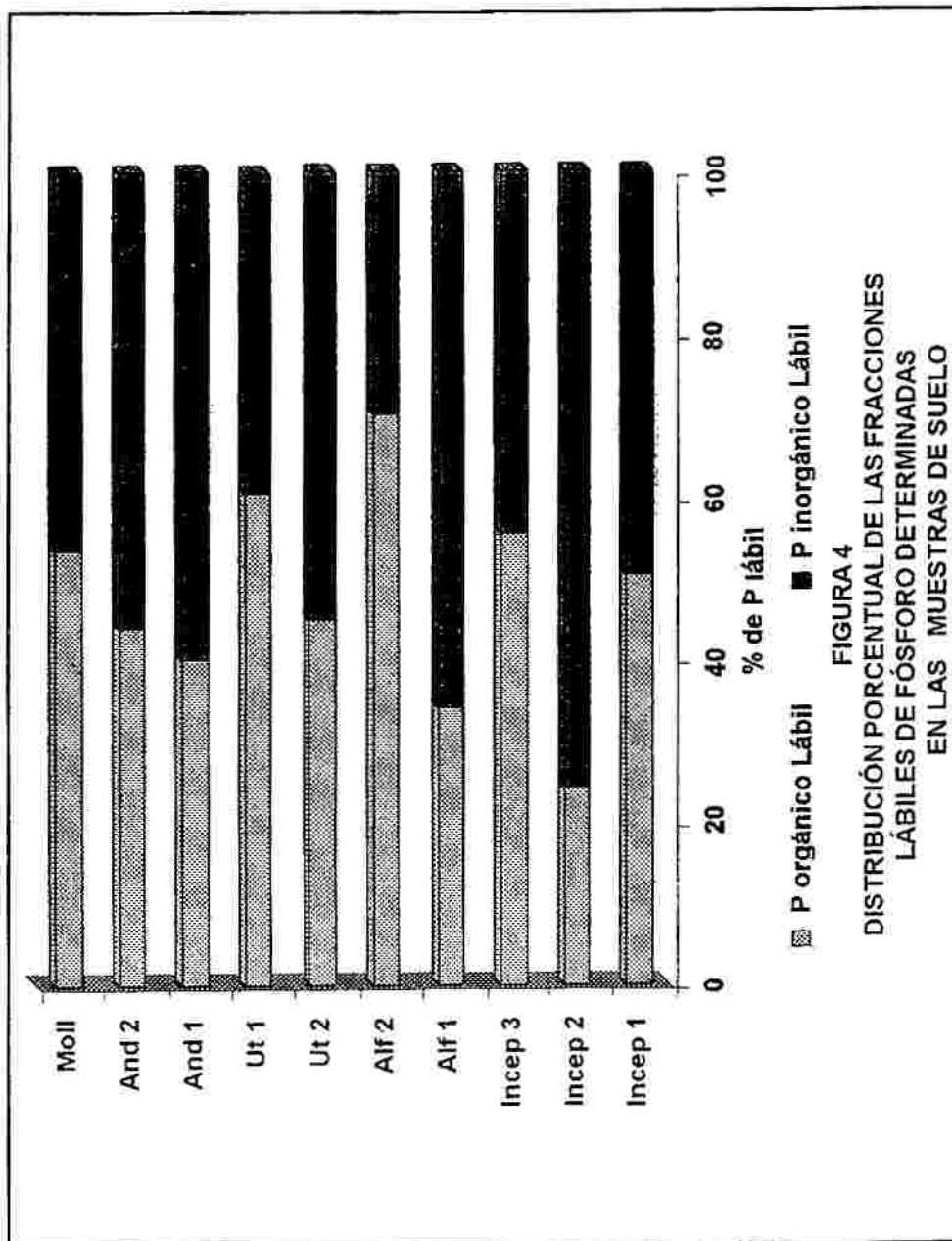


Figura 3. Representación porcentual de las fracciones de fósforo orgánico extraídas en 10 suelos de Panamá.



CUADRO 4. FRACCIONES DE FÓSFORO DETERMINADAS CON TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS EN DIEZ SUELOS DE PANAMÁ Y SU APORTE PORCENTUAL AL TOTAL.

SUELO	P total	P inorgánico		P orgánico	Relación	
		Mg/kg	Mg/kg		PI/PT*100	PO/PT*100
Solución extractora: NaHCO ₃ 0.5M						
Inceptisol 1	8.7	4.3	4.4	48.6	50.4	
Inceptisol 2	3.4	10.6	3.4	75.9	24.1	
Inceptisol 3	17.5	7.8	9.7	44.4	55.6	
Alfisol 1	17.6	11.6	6.0	65.9	34.1	
Alfisol 2	47.2	14.0	33.2	29.7	70.3	
Ultisol 1	6.5	2.5	3.9	39.2	60.7	
Ultisol 2	8.2	4.5	3.7	54.9	45.1	
Andisol 1	7.1	4.2	2.8	59.9	40.1	
Andisol 2	8.7	4.9	3.8	56.0	44.0	
Mollisol	27.8	12.9	14.9	46.4	53.6	
Solución extractora: H ₂ SO ₄						
Inceptisol 1	46.4	22.6	23.9	48.6	51.4	
Inceptisol 2	34.9	16.7	19.2	47.8	52.2	
Inceptisol 3	29.6	9.5	20.1	72.5	27.4	
Alfisol 1	40.8	23.7	17.0	58.2	41.8	
Alfisol 2	37.4	28.0	9.3	75.0	25.0	
Ultisol 1	8.9	8.2	0.7	92.6	7.4	
Ultisol 2	14.4	13.2	1.2	91.7	8.3	
Andisol 1	32.3	16.2	16.1	50.3	49.7	
Andisol 2	56.6	31.6	25.0	55.9	44.1	
Mollisol	28.6	22.8	6.0	79.3	20.7	
Solución extractora: NaOH						
Inceptisol 1	43.7	15.3	28.5	34.9	65.1	
Inceptisol 2	31.0	17.9	13.1	57.8	42.2	
Inceptisol 3	36.7	26.6	10.1	72.6	27.4	
Alfisol 1	33.9	17.9	16.0	52.7	47.3	
Alfisol 2	40.9	22.1	18.8	53.9	46.0	
Ultisol 1	6.7	4.8	1.9	71.7	28.3	
Ultisol 2	7.3	5.3	2.0	72.6	27.4	
Andisol 1	27.1	9.3	17.8	34.3	65.7	
Andisol 2	47.1	18.2	28.9	38.6	61.4	
Mollisol	28.4	17.2	12.3	58.3	41.7	

les muy bajos de P_i lábil, pero en compensación, en estos mismos suelos la fracción orgánica lábil fue muy elevada comparada con la inorgánica (Figura 4 y Cuadro 4) representando en el Ultisol 1 más del 60% y en el Ultisol 2 el 45.1% del P total extraído con NH_4CO_3 . Estos resultados concuerdan con los encontrados por Guerra y col., (1996) en suelos de Brasil; Henríquez y col. (1992), en Ultisoles de Costa Rica, presentando bajos contenidos de P_i lábil; Bowman y Cole (1978a,b) y Thien y Myers (1992); donde los niveles de P disponibles eran claramente bajos, sugiriendo que la contribución potencial de la fracción orgánica podría estar subestimada en determinadas situaciones de clima, suelo y cobertura vegetal. Tiessen y col. (1984) estudiando diferentes tipos de suelos tropicales, concluyeron que en suelos altamente intemperizados, el P disponible estaría íntimamente asociado a las fracciones de P_o .

Se obtuvieron coeficientes significativos de correlación simple ($r = 0.70$) entre P_o total y P total, independientemente de la clase taxonómica; evidenciando, como sugirió Walker y Adams (1958), que la actividad de la biomasa microbiana del suelo tiene una poderosa influencia sobre la acumulación de P_o en el suelo y que está íntimamente relacionada con la producción de materia orgánica y la liberación de fósforo.

También se observó correlación significativa entre P_o lábil y el contenido de carbono orgánico ($r = 0.40$) entre P_o lábil y P total lábil ($r = 0.53$) y entre carbono orgánico del suelo y el contenido de P_o total ($r = 0.21$). Los resultados encontrados indican que la disponibilidad de sustrato podría ser un factor regulador importante en la síntesis de P_o por parte de la microbiota del suelo y que una buena fertilización fosfórica, junto con el manejo adecuado de los residuos orgánicos, atenuaría a corto y largo plazo los problemas relacionados con la baja eficiencia de recuperación del P del fertilizante, pasando de P_i para P_o lábil.

Por estar débilmente asociada a la fase sólida del suelo, la fracción orgánica lábil es fácilmente mineralizada, por lo tanto, la relación positiva con el P disponible ($r = 0.53$) sugiere que el reservorio lábil debe ocupar un papel de mayor importancia en la fertilidad del suelo, especialmente, en aquellos altamente intemperizados de las regiones tropicales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El contenido de fósforo orgánico total fue muy variado, dependiendo de la clase taxonómica del suelo y representó en promedio 37.3 mg/kg del fósforo total determinado.

- Tomando el conjunto de todas las muestras de suelos analizadas, el fósforo orgánico lábil se correlacionó positivamente con el fósforo total y el fósforo lábil total, indicando la importante contribución de la fracción orgánica en los suelos tropicales.
- El fósforo orgánico lábil predominó sobre la fracción inorgánica, especialmente, en aquellos suelos con mayor grado de intemperismo.
- El conocimiento del comportamiento de las fracciones del fósforo orgánico del suelo aportará información importante en cuanto al manejo de la materia orgánica y en la nutrición fosfórica de los cultivos.
- Puesto que el presente trabajo fue realizado en condiciones de laboratorio, se recomienda realizar investigación en el nivel de campo, bajo diferentes condiciones de suelo y clima, buscando confirmar los resultados de disponibilidad de P_o encontrados, evaluar sus transformaciones a corto y largo plazo y el efecto que tiene el uso continuo del suelo sobre este ciclo.

BIBLIOGRAFÍA

- BORNEMISZA, E.; IGUE, K. 1967. Comparison of three methods for determining phosphorus in Costa Rica soils. *Soil Science* 103: 347-353.
- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. 1978a. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by extraction. *Soil Science* 125: 49-54.
- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. 1978b. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science* 125: 95-101.
- COMISION DE REFORMA AGRARIA. MIDA. 1979. Dirección General de Planificación y Administración. Departamento de Planificación. Evaluación de los recursos agrofísicos de la República de Panamá, Panamá. 102 p.
- CONDRON, L. M.; MOIR, J. O.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1261-1266.
- DALAL, R.C. 1977. Soil organic phosphorus. *Adv. Agron.* 29: 85-117.
- DIAZ - ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.

- GUERRA, J. G. M. 1993. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Itaguaí, Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro. 234 p. (Tesis de doctorao).
- GUERRA, J.G.M.; DE ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; FERNÁNDEZ, M.S. 1996. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solo. *Pesq. Agropec. Bras.* 31: 291-299.
- HENRIQUEZ, C.; BRICEÑO, J.; MOLINA, E. 1992. Fraccionamiento de fósforo orgânico en cuatro órdenes de suelo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 16: 195-201.
- MEHTA, N.C.; LEGG, J.O.; GORING, C.A.I.; BLACK, C.A. 1954. Determination of organic phosphorus in soils. I. Extraction method. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 18: 443-449.
- SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil taxonomy. 4 ed. Blacksburg. SMSS Technical Monograph Nº 19. 422 p.
- SOLTANPOUR, P.N.; FOX, R.L.; JONES, R.C. 1987. A quick method to extract organic phosphorus from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 255-256.
- THIEN, S.J.; MYERS, R. 1992. Determination of bioavailable phosphorus in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 814-818.
- TIESSEN, H. 1989. Methods for characterizing soil phosphorus. In ANDERSON, J. M. y J. S. INGRAN, eds. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.* C.A.B. Wallingford. pp. 113-126.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 853-858.
- WALKER, T.W.; ADAMS, A.F.R. 1959. Studies on soil organic matter. 3. Influence of increased leaching at various stages of weathering on levels of carbon, nitrogen, sulfur, organic and inorganic phosphorus. *Soil Science* 87: 1-10.
- WALKER, T.W.; ADAMS, A.F.R. 1958. Studies on soil organic. I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in grassland soils. *Soil Science* 85: 307-318.