

FRACCIONAMIENTO DE FOSFORO ORGANICO EN CUATRO ORDENES DE SUELO DE COSTA RICA¹

Carlos Henríquez *
Jorge Briceño *
Eloy Molina *

ABSTRACT

Fractionation of organic phosphorus in four orders of soils from Costa Rica. Methodology for organic phosphorus fractionation proposed by Bowman and Cole, was used to analyze eight samples belonging to four soil groups of Costa Rica. Soil samples were treated with 0.5M NaHCO₃, 1.0M H₂SO₄ and 0.5M NaOH in order to extract the labile, moderately labile and moderately resistant organic phosphorus forms, respectively. The organic fraction represented from 22 to 60 percent of the total phosphorus extracted by these three solutions. The higher values of organic phosphorus were found in Andisols (1068 mg P/kg), while Ultisols and Vertisols showed the lowest values (71 and 72 mg P/kg, respectively). The moderately labile fraction was the highest for Andisols and Inceptisols (47 to 89% of the total organic phosphorus), while in Ultisols and Vertisols the three fractions showed a more equitable distribution. It was also found a significant correlations between soil organic matter values and both the labile fraction ($r=0.78^*$) and moderately resistant fraction ($r=0.81^{**}$).

INTRODUCCION

La importancia del P ligado a componentes orgánicos ha sido debidamente considerada conforme se conoce más sobre su cantidad, grado de disponibilidad en el suelo y su posterior aprovechamiento en la planta (Martel y Paul, 1974; Cole, *et al.*, 1977).

En suelos altamente meteorizados, el papel del P orgánico en la nutrición de las plantas es de particular importancia (Adepu y Corey, 1976; Tiessen, *et al.*, 1984). Estudios realizados por Cole y colaboradores (1977) indican la importancia de la tasa de mineralización del P orgánico en la regulación del suplemento de P rápidamente disponible para la planta. Otros estudios demuestran la importancia de esta fracción orgánica en el

suplemento del P a largo plazo (Martel y Paul, 1974). Bowman y Cole (1978b) señalan que el P orgánico constituye una reserva que es gradualmente utilizada de acuerdo al equilibrio del elemento en el suelo.

Los métodos utilizados para la determinación de P orgánico son básicamente de 2 tipos, de extracción y de ignición, aunque existe controversia respecto a la eficiencia de uno u otro método.

El método de ignición se fundamenta en la descomposición del P orgánico por tratamiento calórico a 550°C, determinando la cantidad de P inorgánico liberado después del tratamiento (Saunders y William, 1955; Olsen y Sommers, 1982; Bowman, 1989). Aunque resulta mucho más sencillo que los métodos de extracción, la ignición puede causar pérdidas de P orgánico por volatilización (Tiessen, 1989). Los métodos de extracción involucran el tratamiento del suelo con ácidos y bases fuertes, por lo que pueden sobrestimar la cantidad de P orgánico debido al efecto de hidrólisis que causan las soluciones alcalinas (Tiessen, 1989). El método de Mehta *et al.* (1954) es el más conocido, pero sólo permite estimar la

1/ Recibido para publicación el 22 de octubre de 1991.

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.

cantidad de P orgánico total. Lo novedoso del método de extracción de Bowman y Cole (1978a y 1978b), es la extracción inicial que se realiza con bicarbonato de sodio, el cual en teoría extrae fracciones del P orgánico muy lábiles; además determina las diferentes fracciones del P orgánico, lo cual permitiría definir las vías de equilibrio del P en el suelo en un sistema agrícola. Mediante este procedimiento es posible definir el siguiente esquema de fraccionamiento: a) P orgánico lábil o disponible para las plantas, extraído con NaHCO₃ 0,5M; b) P orgánico moderadamente lábil en H₂SO₄ 1,0M; c) P orgánico moderadamente resistente, ligado a ácidos húmicos, extraído con NaOH 0,5M (Bowman y Cole, 1978b). Bornemisza e Igue (1967) probaron estos 2 métodos en 11 suelos de Costa Rica y encontraron que el método de Mehta *et al.* (1954) extrajo mayor cantidad de P orgánico y tuvo menos problemas de hidrólisis.

Debido a la poca información que existente para suelos de Costa Rica sobre P orgánico, se planteó la necesidad de llevar a cabo una prueba de laboratorio para determinar el fraccionamiento de las diferentes formas de P orgánico en 4 diferentes grupos de suelos de importancia agrícola en Costa Rica (Andisoles, Ultisoles, Inceptisoles y Vertisoles).

MATERIALES Y METODOS

Suelos utilizados

Se utilizaron 8 suelos pertenecientes a 4 órdenes de suelo de acuerdo a la clasificación del Soil Survey Staff (1990) (Andisoles, Ultisoles, Vertisoles e Inceptisoles). Las muestras fueron tomadas de los 20 cm superficiales. La ubicación y la clasificación de los suelos utilizados se presenta en el Cuadro 1..

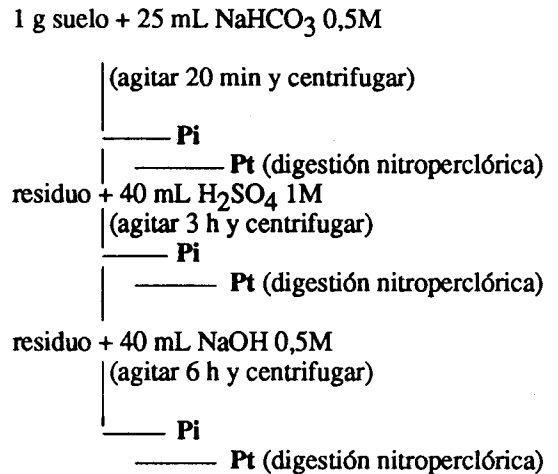
Cuadro 1. Ubicación y clasificación de los suelos utilizados.

Codigo	Localidad	Provincia	Clasificación (SSS,1990)
Andisol 1	San Juan Chicuá	Cartago	Thaptic Udivitrand
Andisol 2	San Vito	Puntarenas	Typic Hapludand
Ultisol 1	Pérez Zeledón	Puntarenas	Typic Haplohumult
Ultisol 2	San Carlos	Alajuela	Typic Haplohumult
Inceptisol 1	Talamanca	Limón	Fluventic Humitropept
Inceptisol 2	Golfoito	Puntarenas	Fluvaquentic Eutropept
Vertisol 1	Cañas	Guanacaste	Typic Pellustert
Vertisol 2	Santa Cruz	Guanacaste	Typic Pellustert

Las muestras fueron secadas al aire y se pasaron luego por una malla de 2mm. Se determinó la materia orgánica de los suelos, de acuerdo a la metodología de Walkley y Black, citada por Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Extracción

Se aplicó la metodología de fraccionamiento de P orgánico propuesta por Bowman y Cole (1978a y b) modificada por Hands (1987), la cual consiste básicamente en la extracción secuencial de la muestra de suelo con NaHCO₃ 0,5M, H₂SO₄ 1M y NaOH 0,5M, obteniendo en cada extracto las fracciones de P orgánico lábil, moderadamente lábil y moderadamente resistente con cada extractante, respectivamente. Las extracciones fueron realizadas de acuerdo al siguiente esquema:



En donde el P orgánico (Po) fue cuantificado indirectamente por la sustracción del P inorgánico (Pi) del total (Pt), de acuerdo a Po = Pt-Pi.

Determinación

Para la generación de color se utilizó la metodología propuesta por Olsen y Sommers (1982), utilizando paramolibdato de amonio con tartrato de antimonio-potasio y ácido ascórbico y determinando el P por colorimetría a una longitud de onda de 860 nm.

El P inorgánico fue determinado directamente de la solución en cada extracción, en tanto que el P total de cada fracción se determinó luego de la digestión de una alícuota del extracto con mezcla nítrico-perclórica con nitrato de magnesio y ácido sulfúrico. Para la determinación del P a partir del extracto digerido, se neutralizó con NaOH 0,5M el exceso de ácido, utilizando P-nitrofenol como indicador. En todos los casos se utilizó un blanco, para detectar cualquier tipo de contaminación.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se muestran los valores totales de P orgánico e inorgánico. Los suelos más jóvenes (Andisoles e Inceptisoles) presentaron las cantidades más altas de ambas fracciones. El aporte de la fracción de P orgánico con respecto al P total, presentó valores del 22 al 60%, encontrándose en 6 de los 8 suelos estudiados más de 40% de P orgánico (Cuadro 2). Lo anterior pone en evidencia la importancia que tiene la fracción orgánica en comparación a la fracción inorgánica en los suelos, aunque no explica directamente el grado de disponibilidad que la misma pueda tener en la nutrición de las plantas.

Se encontró una relación importante entre el P orgánico total y el valor de la materia orgánica ($r=0,58$) tal y como lo indica Harrison (1987) en suelos de regiones templadas, sin embargo esta correlación no fue significativa.

El P orgánico "lábil" y el "moderadamente resistente" (extraídos con NaHCO_3 0,5M y NaOH 0,5M) guardaron una correlación de 0,78 ($p=0,018$) y de 0,81 ($p=0,011$) respectivamente, con el valor de la materia orgánica en tanto que la fracción moderadamente lábil extraída con H_2SO_4 presentó una correlación de 0,45 (n.s.). Estos resultados indican que la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, está muy relacionada con la disponibilidad de P orgánico para las plantas a corto plazo y con la reserva de las fracciones más resistentes a la mineralización. Sin embargo, es necesario contar con una mayor cantidad de suelos para obtener conclusiones más certeras sobre estos procesos. La falta de correlación entre la materia orgánica y el P orgánico moderadamente lábil, indica que esta fracción es muy sensible a transformaciones biológicas en el suelo y que probablemente otros factores como el grado de meteorización, la naturaleza de las arcillas y la intensidad del cultivo, deben tener un efecto más marcado sobre la misma.

Como se observa en la Figura 1 y en el Cuadro 2 los suelos pertenecientes al orden de los andisoles e inceptisoles, mostraron los valores relativos más altos de P-orgánico total (sumatoria de las 3 extracciones) con valores de 352 a 1068 mg/kg, en contraposición a los ultisoles y vertisoles que presentaron valores de 71 a 174 mg/kg.

Cuadro 2. Sumatoria total de las fracciones de fósforo extraídas con los 3 extractantes y la relación porcentual de aporte con respecto al total y el porcentaje de materia orgánica.

SUELO	Pt*	Pi* mg/kg	Po*	Relación Po/Pt*100	M.O. (%)
Andisol 1	2.024,11	956,35	1.067,76	52,75	10,32
Andisol 2	764,77	412,47	352,30	46,07	11,52
Ultisol 1	426,77	253,20	173,57	40,71	5,86
Ultisol 2	121,20	48,85	72,35	59,69	2,61
Inceptisol 1	978,93	672,01	351,92	35,95	3,89
Inceptisol 2	975,18	567,01	408,17	41,89	3,55
Vertisol 1	207,44	116,17	91,29	44,01	4,39
Vertisol 2	322,01	250,95	71,06	22,07	5,86

* : sumatoria total de las extracciones NaHCO_3 , H_2SO_4 y NaOH

Pt: P total

Pi: P inorgánico

Po: P orgánico (Po= Pt-Pi)

M.O.: materia orgánica

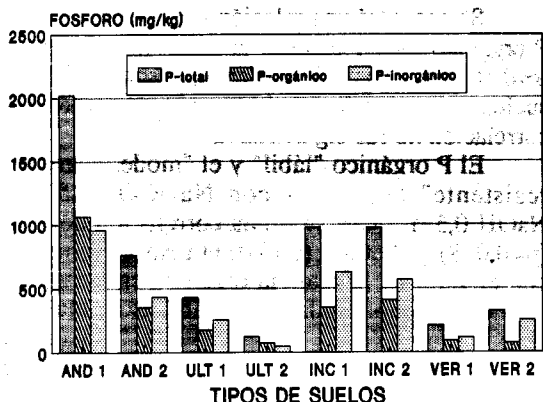


Fig. 1. Fracciones totales de fósforo extraídas por el método de Bowman y Cole (1978b).

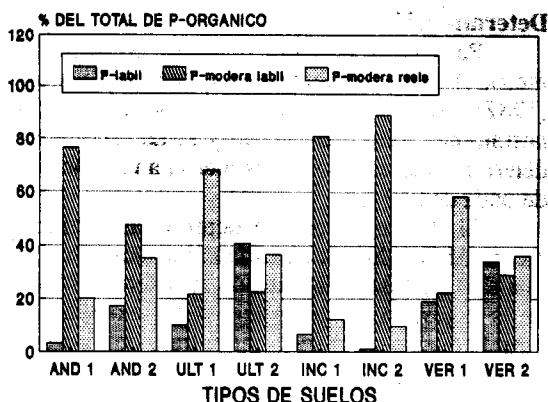


Fig. 2. Representación porcentual de las formas de P orgánico extraídas en ocho suelos de Costa Rica.

Esto concuerda también con los valores bajos de materia orgánica que se encontraron en estos suelos (Cuadro 2).

La fracción del P-orgánico "moderadamente lábil" (extraída con H₂SO₄), fue la más importante en los andisoles e inceptisoles, con un aporte de 47 a 89% del P-orgánico total extraído por las 3 soluciones (Cuadro 3 y Figura 2). Por otro lado, en los ultisoles y vertisoles, las fracciones de P-orgánico más importantes, fueron precisamente la "lábil" y la "moderadamente resistente" (extraídas con NaHCO₃ y NaOH respectivamente). Esto sugiere que en estos suelos, la fracción orgánica "lábil" podría aportar una cantidad de P que ha sido tomada en cuenta muy poco, de ser así, y si esta fracción es agotada, la restitución rápida del P disponible dependería de una fracción "moderadamente resistente" la cual está involucrada en transformaciones a largo plazo (Tiessen, Steward

Cuadro 3. Relación porcentual de las diferentes fracciones de fósforo orgánico con relación al fósforo orgánico total.

SUELO	P-lábil	P-moderadamente lábil	P-moderadamente resistente
	NaHCO ₃	(%) H ₂ SO ₄	NaOH
Andisol 1	3,29	76,56	20,15
Andisol 2	17,26	47,51	35,23
Ultisol 1	10,05	21,80	68,15
Ultisol 2	40,77	22,52	36,70
Inceptisol 1	6,54	81,15	12,31
Inceptisol 2	1,12	89,28	9,61
Vertisol 1	19,02	22,42	58,56
Vertisol 2	34,18	29,30	36,51

y Cole, 1984), de esta forma el manejo de la materia orgánica en estos suelos sería de vital importancia.

De los suelos estudiados, 5 presentaron niveles de P inorgánico determinado con NaHCO₃ 0,5M, por debajo de los niveles de suficiencia, sin embargo la fracción orgánica "lábil" extraída con esta misma solución, fue alta en comparación a la inorgánica, y correspondió a valores entre 73 a 98% de aporte al total del P extraído con NaHCO₃ (Cuadro 4). Por otro lado, en los suelos que presentaron cantidades de P-inorgánico en el rango óptimo (Cuadro 4), el P-orgánico constituyó valores entre 9 y 66% del total extraído (correlación de -0,30 ns). Lo anterior concuerda con lo apuntado por Anderson (1980) que señala la relación inversa entre la fracción orgánica y la inorgánica en los suelos.

Se encontró que en casi todos los suelos, (excepto el inceptisol 2), el P orgánico lábil correspondió a más del 60% del P total extraído con NaHCO₃; en especial en los ultisoles, en donde el P inorgánico es por lo general muy bajo, la fracción orgánica fue de valores cercanos al 100% del total (Cuadro 4), lo que muestra su importancia en este grupo de suelos.

La fracción absoluta de P orgánico extraído con NaOH 0,5M (P medianamente resistente) fue muy variable entre los suelos, sin embargo este valor fue siempre mayor en los andisoles (Cuadro 4 y Figuras 3), lo que concuerda con los contenidos de materia orgánica, que en forma general, está asociada fuertemente a los "materiales de corto rango de organización" (antiguamente llamados amorfos).

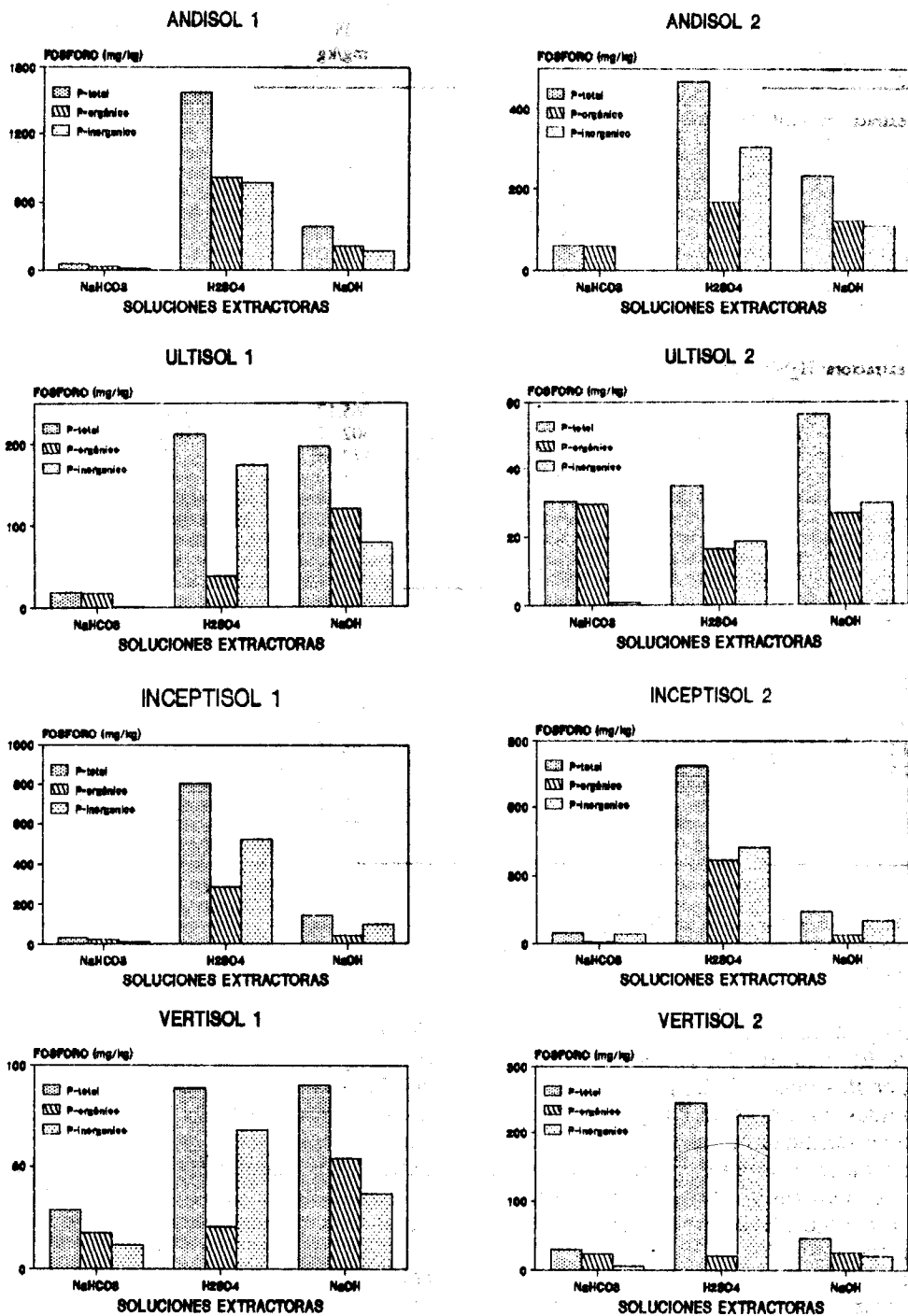


Fig. 3. Contenido de fósforo orgánico en ocho suelos de Costa Rica.

Cuadro 4. Fracciones de fósforo determinado con 3 extractantes en 8 suelos de Costa Rica y su aporte porcentual al total.

Suelo	Pt	Pi mg/kg	Po	Relación Po/Pt* 100
Solución extractora: NaHCO₃ 0,5M				
Andisol 1	53,36	18,24	35,12	65,82
Andisol 2	62,01	1,20	60,81	98,06
Ultisol 1	18,45	1,00	17,45	94,58
Ultisol 2	30,30	0,80	23,50	97,36
Inceptisol 1	31,62	8,62	23,01	72,75
Inceptisol 2	50,27	45,71	4,57	9,08
Vertisol 1	28,78	11,42	17,36	60,33
Vertisol 2	30,30	6,01	24,29	80,17
Solución extractora: H₂SO₄ 1M				
Andisol 1	1,582,61	765,17	817,45	51,65
Andisol 2	469,57	302,17	167,40	35,65
Ultisol 1	211,86	174,03	37,83	17,86
Ultisol 2	34,78	18,49	16,30	46,85
Inceptisol 1	805,54	519,94	285,60	35,45
Inceptisol 2	785,78	421,38	364,40	46,37
Vertisol 1	88,54	68,07	20,47	23,12
Vertisol 2	245,06	224,24	20,82	8,50
Solución extractora: NaOH 0,5M				
Andisol 1	388,14	172,95	215,19	55,44
Andisol 2	233,20	109,95	124,10	53,22
Ultisol 1	196,05	77,76	118,29	60,34
Ultisol 2	56,12	29,57	26,56	47,32
Inceptisol 1	141,77	98,46	43,32	30,55
Inceptisol 2	139,13	99,93	39,21	28,18
Vertisol 1	90,12	36,66	53,46	59,32
Vertisol 2	46,65	20,70	25,95	55,62

Con los datos obtenidos en el presente trabajo no es posible definir el grado de disponibilidad de la fracción orgánica de P, por lo que se recomienda más investigación a nivel de ensayos de campo y en diferentes condiciones de clima y de suelo. El esquema de fraccionamiento propuesto por Bowman y Cole, permite cuantificar las diferentes fracciones de P orgánico y estimar el grado de fertilidad de los suelos con relación al P. Se requieren estudios de campo para evaluar las transformaciones del P orgánico a mediano y largo plazo, y el efecto sobre este ciclo cuando los suelos se someten a explotación agrícola.

Por otro lado, el conocimiento de estos factores, puede aportar valiosa información en lo referente al manejo de la materia orgánica en la nutrición fosfórica de los cultivos.

RESUMEN

Se estudió el fraccionamiento de fósforo orgánico usando la metodología propuesta por Bowman y Cole (1978b) en 8 suelos pertenecientes a 4 grupos de suelos de importancia agrícola en Costa Rica. La metodología sugiere el tratamiento sucesivo de la muestra de suelo con NaHCO₃ 0,5M, H₂SO₄ 1M y NaOH 0,5N para extraer las fracciones de P orgánico "lábil", "moderadamente lábil" y "moderadamente resistente", respectivamente.

Se encontró que la fracción orgánica total correspondió de un 22 a un 60% de la sumatoria total de las fracciones de P extraído por las 3 soluciones. Los andisoles presentaron los valores más altos de P orgánico total con 1068 y 352 mg/kg en tanto que los vertisoles y ultisoles pre-

sentaron los más bajos con valores de 71 y 72 mg/kg de suelo.

En los andisoles e inceptisoles la fracción orgánica mayoritaria fue la "moderadamente lábil" (47 a 89% del P orgánico total), en tanto que los ultisoles y vertisoles mostraron una distribución más equitativa entre las 3 fracciones evaluadas, siendo en algunos casos la fracción de P orgánica "moderadamente resistente" la más importante.

Se encontraron correlaciones importantes entre el valor de la materia orgánica y la fracción "lábil" ($r=0,78^*$), así como la "moderadamente resistente" ($r=0,81^{**}$).

LITERATURA CITADA

- ADEPTU, J.H.; COREY, R.B. 1976. Organic phosphorus as a predictor of plant available phosphorus in soils of southern Nigeria. *Soil Science*, 19:65-80.
- ANDERSON, G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. *In* The role of phosphorus in Agriculture. Ed. by F.E. Khasawneh, E.C. Sample and E.J. Kamprath. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. pp. 411-431.
- BORNEMISZA, E.; IGUE, K. 1967. Comparison of three methods for determining organic 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 NaHCO_3 extraction. *Soil Science* 125(1):49-54.
- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. 1978b. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from Grassland Soil. *Soil Science* 125(2):95-101.
- BOWMAN, R.A. 1989. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* 53:362-366.
- COLE, C.V.; INIS, G.S.; STEWARD, J.W.B. 1977. Simulation of phosphorus cycling in semiarid Grassland. *Ecology* 58:1-15.
- HANDS, M.R. 1987. The ecology of shifting cultivation. Unpubl'd M.Sc. Thesis, University of Cambridge.
- HARRISON, A.F. 1987. Soil organic phosphorus. a review of world literature. C.A.B. International, Wallingford, United Kingdom, 257p.
- MARTEL, Y.A.; PAUL, E.A. 1974. Effects of cultivation on the organic matter of grassland soils as determined by fractionation and radiocarbon dating. *Canadian Journal of Soil Science* 54:419-426.
- MEHTA, N.C.; LEGG, J.O.; GORING, C.A.; BLACK, C.A. 1954. Determination of organic phosphorus in soils. I Extraction method. *Soil Science of America Proceedings* 15:443-449.
- OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E. 1982. Phosphorus. Methods of soil analysis. Ed. by A.L. Page *et al.* part 2. Chemical and microbiological properties. 2n edition. ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. pp. 403-430.
- SAUNDERS, W.M.; WILLIAMS, E.G. 1955. Observations on determination of total organic phosphorus in soils. *Journal of Soil Science* 6:254-267.
- SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil taxonomy. 4 ed. SMSS Technical monograph no. 19. Blacksburg, Virginia, U.S.A. 422p.
- TIESSEN, H. 1989. Methods for characterizing soil phosphorus. *In* Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Ed. by J.M. Anderson y J.S.Ingran. C.A.B., Wallinyford, United Kingdom. pp. 113-126.
- TIESSEN, H.; STEWARD, J.W.; COLE, C.V. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal* 48:853-858.