

4 JUL 2000  
CANTON TURRIALBA COSTA RICA  
CATIE

**CAMBIOS EN FRACCIONES ORGANICAS E INORGANICAS DE FOSFORO EN  
SUELOS CON EL USO DE SISTEMAS AGROFORESTALES**

Amelia Paniagua<sup>1</sup>, Donald L. Kass<sup>2</sup>  
María L. Mazzarino<sup>2</sup>, María L. Soto<sup>1</sup>  
Lawrence Szott<sup>2</sup>, Roberto Díaz-Romeu<sup>2</sup>  
Carlos Fernández<sup>3</sup>, Mario Jiménez<sup>3</sup>

**Palabras clave:** Cultivo en callejones; P orgánico; P disponible; suelos tropicales; P total.

**RESUMEN**

Se cultivaron maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), secuencialmente por nueve años en sistemas agroforestales distintos, asociándolos con yuca (*Manihot esculenta Crantz*), durante los tres primeros años, en un suelo clasificado como un Andic Eutropept Turrialba, Costa Rica. Los rendimientos más bajos se dieron en el sistema de cultivo en callejones, mientras que los más altos de todos los cultivos se obtuvieron con un mantillo de 40 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de material podado de *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, con o sin P y K mineral. Después de nueve años se realizó un fraccionamiento del fósforo en el suelo, según el método de Hedley *et al.* (1982). Hubo muy pequeñas diferencias en P total entre los tratamientos, pero los niveles de P orgánico e inorgánico fácilmente disponibles, fueron significativamente más bajos en las parcelas que no recibieron P mineral. Resultados semejantes se observaron con P extraído por el método de Olsen modificado. El uso de *E. poeppigiana* es una alternativa para América Central, donde no hay fuentes locales de fósforo y se importa fertilizante fosfórico a precios altos. Se concluyó que el sistema sería sostenible por 20-30 años utilizando niveles de P mineral inferior a los aplicados en el experimento.

**Changes in organic and inorganic soil phosphorus fractions  
following the use of different agroforestry systems**

**ABSTRACT**

Maize (*Zea Mays L.*) and beans (*Phaseolus vulgaris L.*), were grown sequentially for nine years in different agroforestry systems, being associated with cassava (*Manihot esculenta Crantz*), in the first three years, on a soil classified as an Andic Eutropept in Turrialba, Costa Rica. Poorest yields of maize were obtained in the alley farming systems while highest yields for all crops were obtained when a mulch of 40 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of *Erythrina poeppigiana* (Warp. ) O.F. Cook prunings were applied to the plots with or without supplemental P and K fertilization. At the end of nine years, fractionation of soil P was carried out by the method of Hedley *et al.* (1982). Although there were very small differences in total P among treatments, levels of readily available inorganic and organic P were significantly lower in the plots that did not receive mineral P. Similar results were obtained with the modified Olsen extraction. Due to the high cost of mineral P in Central America where there are no local phosphate rocks, the sustainability of the system which involved the use of only tree residues was given special consideration since it would be most profitable for the farmer and

<sup>1</sup> Graduada Programa de Postgrado, CATIE, Turrialba.

<sup>2</sup> Comité Asesor del Programa de Postgrado, CATIE, Turrialba

<sup>3</sup> Asistente de Campo y de Laboratorio, CATIE, Turrialba

most beneficial to countries which have to use foreign exchange to import P fertilizer. It was concluded that the system would be sustainable over 20-30 years with much smaller inputs of mineral P than those used in the experiment.

Uno de los beneficios que se espera de los sistemas agroforestales es que mejoren las propiedades de los suelos, evitando su degradación y agotamiento. Sánchez (1987), lo ha formulado en una hipótesis: "los sistemas agroforestales apropiados mejoran las propiedades físicas de suelos, mantienen la materia orgánica del suelo y promueven el ciclaje de nutrientes". Más específicamente, Young, (1989), ha formulado diez hipótesis para la investigación en suelos y agroforestería (Cuadro 1). Hay muy pocos datos para probar estas hipótesis, principalmente porque para probarlas adecuadamente, se necesitan experimentos que comparan un sistema agroforestal con un sistema no agroforestal.

Efectos de sistemas agroforestales sobre la materia orgánica del suelo han sido reportados en pocos casos (Kang *et al.*, 1985). En el experimento central de CATIE, Fassbender *et al.* (1991), reportó un mayor aumento en la materia orgánica del suelo durante diez años, en cacao asociado con *Erythrina poeppigiana*, que cuando fue asociado con *Cordia alliodora*. Algunos autores han señalado la importancia de considerar las fracciones de la materia orgánica y no las cantidades totales a la hora de evaluar los efectos en los sistemas agroforestales (Szott *et al.*, 1991). En un experimento de diez años no se notó el efecto de los sistemas agroforestales sobre el contenido de materia orgánica del suelo ni en los niveles de fósforo disponible (Kass *et al.*, 1989; Mazzarino *et al.*, 1993). Entonces se resolvió considerar las diferentes fracciones del fósforo en el suelo según el método de Hedley *et al.* (1982). Esta metodología permite dividir el fósforo en inorgánico disponible (extraído con resina y bicarbonato), inorgánico lentamente disponible (extraído con hidróxido de sodio y tratamiento de ultrasonido) y el fósforo orgánico disponible (extraído con bicarbonato, hidróxido de sodio y tratamiento con ultrasonido). Utilizando esta metodología, Hedley *et al.* (1982), notó diferencias en las fracciones de fósforo en el mismo suelo después de su permanencia en pasto o en una rotación de cultivos; mientras que Tiessen *et al.* (1992), observó que la mayor parte del fósforo disponible a las plantas en suelos infértiles (Ultisol), vino de la fracción orgánica. En el presente estudio, se trató de ver el efecto de los sistemas agroforestales y la fertilización con P mineral sobre las fracciones de fósforo en un suelo después de nueve años de producción de maíz y frijol.

**Cuadro1. Diez hipótesis para investigar el efecto de los sistemas agroforestales sobre los suelos.**

1. Los sistemas agroforestales pueden controlar la erosión y así reducir las pérdidas de materia orgánica y nutrientes.
2. Los sistemas agroforestales pueden mantener la materia orgánica del suelo en niveles satisfactorios para la fertilidad del suelo.
3. Los sistemas agroforestales mantienen las propiedades físicas del suelo más favorables que la agricultura tradicional, por la combinación y mantenimiento de materia orgánica y sus efectos en las raíces.
4. Los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno pueden aumentar los insumos de nitrógeno al sistema sustancialmente.

5. El componente árbol en los sistemas agroforestales puede aumentar los insumos de nutrientes de la atmósfera y de los horizontes abajo del suelo.
6. Los sistemas agroforestales pueden resultar en un ciclaje de nutrientes más cerrado y así contribuir con un uso más eficiente de nutrientes.
7. El ciclaje de bases en los residuos de arboles puede reducir la acidez del suelo o frenar el proceso de acidificación.
8. Los sistemas agroforestales ofrecen oportunidades para aumentar la disponibilidad de agua para los cultivos.
9. La agroforestería puede ser útil para la recuperación de suelos degradados.
10. Para mantener la fertilidad de los sistemas agroforestales, el papel de las raíces es tan importante como la biomasa arriba del suelo.

Tornado de Young, A. 1989. Ten hypotheses for soil-agroforestry research. *Agroforestry Today* (Kenya) 1(1):13-15.

## METODOLOGIA

El estudio se realizó en el campo experimental La Montaña de CATIE, localizado en Turrialba, Costa Rica (9°53'N; 83°34'O, 590 msnm). La temperatura promedio anual fue de 22° C y la precipitación anual de 2640 mm, con un período relativamente seco entre febrero y marzo. La topografía es plana. El suelo fue clasificado por el USDA en 1982 como Typic Humitropept, fino, hallosítico, isohipertérmico y por ISRIC (1994), como Andic Eutropept, franco, mezclado, isohipertérmico. En la última revisión del sistema FAO (1989), se consideró un Umbric Cambisol. (Cuadro 2)

El presente experimento se estableció en mayo de 1982. En todos los tratamientos se sembró maíz (*Zea mays* L.), en mayo de cada año y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en diciembre.

En este estudio se usaron los siguientes tratamientos:

- 1) Sin enmiendas orgánicas, 39 kg P. 108 kg K ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> como superfosfato triple y KCl.
- 2) 40 t de materia fresca ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de un mulch de *E. poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, aplicado dos veces al año, que contenía 23 kg de P y 145 kg de K.
- 3) Fertilización mineral como en el tratamiento (1), con mulch como en el tratamiento (2).
- 4) Fertilización mineral como en el tratamiento (1), con cultivo en callejones con *E. poeppigiana*, en un espaciamiento de 6m x 3m (555 árboles por ha), podado dos veces al año, con el material podado (promedio de 9176 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca año<sup>-1</sup>), aplicado a los cultivos.
- 5) Fertilización mineral como en el tratamiento (1), con cultivo en callejones con *G. sepium* (Jacq.) Walp., con un espaciamiento de 6 m x 1 m (3333 árboles por ha), podado dos veces al año con el material podado (promedio de 12316 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca año<sup>-1</sup>), aplicado a los

cultivos.

Cada parcela media 6 m x 18 m y habían tres repeticiones de cada tratamiento. En el noveno año se realizó un fraccionamiento del P del suelo conforme el método de Hedley, utilizando el suelo superficial ( 0-20 cm), en cada parcela.

FAVOR UBICAR CUADRO 2 – PAG. 15 - RAFA #2

## RESULTADOS

Los rendimientos de maíz y frijol y la exportación de P anual son presentados en el Cuadro 3. La cantidad de P en las fracciones inorgánicas disponibles, inorgánicas lentamente disponibles y fracciones orgánicas disponibles es presentada en el Cuadro 3.

El uso de enmiendas sin la aplicación de P mineral bajó las cantidades de P mineral disponible y de fósforo orgánico, pero aumentó las cantidades de P disponible (orgánico e inorgánico). La aplicación de P mineral sin enmiendas orgánicas aumentó las cantidades de P disponible, tanto orgánico e inorgánico. La combinación de estas fuentes mantuvo los niveles de P inorgánico y orgánico pero resultó en una disminución de P menos disponible y en el total de P; a pesar de que este tratamiento representaba la mayor entrada de este mineral al sistema.

FAVOR UBICAR CUADRO 3 – PAG. 16 - RAFA #2

FAVOR UBICAR CUADRO 4 - PAG. 16 - RAFA #2

## DISCUSION

Los datos indican que los tratamientos que resultaron con mayor producción de cultivos no coinciden con los que dejaron las mayores cantidades de P disponibles en el suelo. Desde el punto de vista económico, también los tratamientos que obtuvieron una mayor producción de maíz y frijol tuvieron la mayor ganancia por unidad de capital invertido (Kass *et al.*, 1989) (Cuadro 5). Los pequeños aumentos en las cantidades de P disponible en el suelo, no compensan los costos de aplicar P mineral. Las aplicaciones de P orgánico, además de producir mayores cosechas especialmente de frijol, que tiene un valor más alto que el maíz, aumentan las cantidades de P menos disponible en el suelo (Cuadro 4). Mokwunye y Hammond (1992), en un estudio de la efectividad de rocas fosfóricas en suelos con alta capacidad de retención de P, observaron que fuentes de P lentamente disponibles pueden ser de poca efectividad, debido al lento crecimiento de las raíces. Entonces, desde el punto de vista de la sostenibilidad, estos tratamientos pueden mantener los niveles adecuados de P en el suelo. En apariencia, los cultivos crecen bien con las cantidades del P disponible encontrado en el suelo después de nueve años o los cultivos están utilizando las fracciones de P menos disponibles. No se conocen las cantidades de las diferentes fracciones que existían en el suelo al inicio del experimento. Sin embargo, considerando los cambios en los niveles de P Olsen modificado (Díaz y Hunter, 1978) (Cuadro 4), se notan las mismas tendencias que señaló el fraccionamiento de Hedley, indicando hasta un aumento en el P disponible en el tratamiento (mulch de *Erythrina* + PK), que tenía la mayor adición neta de P al suelo y una disminución en el tratamiento que tenía la menor adición neta (mulch de *Erythrina* sin PK). Sin embargo, los niveles de P disponible por el método Olsen modificado no fueron muy bajos, a pesar que este tratamiento también produjo más yuca que los demás en los primeros tres

años del experimento (Cuadro 5) (Kass *et al.*, 1989), con una mayor pérdida de fósforo al sistema. Parfitt *et al.* (1989), ha notado que el método de Olsen extrae una parte del P en la biomasa microbiana. Haggard *et al.* (1991), postuló que la disminución del nivel de P Olsen observado en las parcelas de cultivo en callejones es debido a la acumulación de P en los troncos de los árboles. Sin embargo, el nivel de P total y P recalcitrante en el tratamiento de cultivo de callejones de *Gliricidia*, fue el más alto de todos los tratamientos (Cuadro 4).

Ramírez y Bornemisza (1990), trabajando en las mismas parcelas cuatro años después de la instalación del experimento, también encontraron la necesidad de aplicar P mineral para aumentar los niveles de P orgánico. Zech *et al.* (1990), postuló que residuos orgánicos de origen animal conteniendo mayores cantidades de P podrían resultar en una fracción orgánica más rica en constituyentes aromáticos y en consecuencia, más estable y productiva, con respecto a los residuos vegetales. De todas maneras, las cantidades totales de fósforo en el suelo después de nueve años, no difirieron significativamente entre los tratamientos.

En relación a la sostenibilidad, se cuestiona si vale la pena aplicar fósforo para aumentar las cantidades lábiles de P. pues sin P mineral se puede mantener los niveles adecuados para la producción de cultivos con fuentes de P orgánico. En este caso, se puede argumentar que la entrada de P orgánico, con excepción de los tratamientos de cultivos en callejones, representa una entrada de fuera del sistema, pero que se puede realizar sin fertilizante importado. Sin embargo, desde el punto de vista económico, pagando los costos de mano de obra para producir, cortar y espejar los ramos de *Erythrina*, el uso de sólo ramas de árboles como fuente de P produjo la mayor ganancia neta y el mayor beneficio/costo, pues no requirió la compra de material importado. Puede ser que con el tiempo sea necesario una aplicación ocasional de P mineral, pero en cantidades mucho menores que la utilizada en el experimento.

## CONCLUSIONES

- 1) La aplicación de solamente ramas y hojas de Poró (*E. poeppigiana*), sin fósforo mineral a un cultivo de maíz y frijol durante nueve años, resultó en una buena producción pero en una disminución de los niveles de fósforo disponibles en el suelo.
- 2) La aplicación de fósforo mineral ( $39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), resultó en niveles más altos de fósforo disponible en el suelo, pero no necesariamente generó mayores rendimientos en los cultivos, especialmente en los sistemas de cultivo en callejones.
- 3) Se consideró que las condiciones en que se realizó este experimento, el fósforo no era el factor más limitante ya que se podía mantener niveles adecuados de este elemento para la producción de cultivos, con la sola aplicación de ramas y hojas de *E. poeppigiana*.
- 4) El uso de *E. poeppigiana* como fuente de fósforo para maíz y frijol, representó una mayor rentabilidad para el agricultor y solvencia para aquel país que debe importar fósforo mineral. Este sistema no siempre es sostenible por períodos más largos que el que abarcó este experimento (9 años), pero aplicaciones muy bajas de P mineral deberían sostener el sistema durante 20-30 años.
- 5) Hubo concordancia en los métodos de Hedley y Olsen modificado, en la indicación de las cantidades de P disponible, después de nueve años de cultivo.

FAVOR INSERTAR FOTO PAG. 18 (D.KASS) - RAFA #2



## BIBLIOGRAFIA

- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba C.R., CATIE. 68 p.
- FAO (ITALIA). 1988. FAO/UNESCO soil map of the world. Revised Legend. World Resources Report 60.
- FASSBENDER, H.W., BEER, J.; HEUVELDOP, J.; IMBACH, A.; ENRIQUEZ, G.; BONNEMANN. 1991. Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *Forest Ecology and Management (Holanda)* 45(1-4): 173-183.
- HAGGAR, J.P.; WARREN, G.P.; BEER, J.W.; KASS, D. 1991. Phosphorus availability under alley cropping and mulched and unmulched sole cropping systems in Costa Rica. *Plant and Soil (Holanda)* 137: 275-283.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal (JEE.UU)* 46: 970-976.
- ISRIC (International Soil Reference and Information Centre) s f. Soil Reference Profiles of Costa Rica. Country Report 12. 37 p. (sin publicar).
- KANG, B.T.; GRIME, H.; LAWSON, T. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in southern Nigeria. *Plant and Soil (Holanda)* 85: 267-277
- KASS, D.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones en "La Montaña". *El Chasqui (C.R.)* no 19: 5-24.
- MAZZARINO, M.J.; SZOTT, L.; JIMENEZ, M. 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass and water soluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry (G.B.)* 25:205-214.
- MOKWUNYE, A.U.; HAMMOND, L.L. 1992. Myths or science of fertilizer use in the tropics. *In* Myths or sciences of soils of tropics. Ed. By Lal y Sánchez. Soil Science society of America (EE.UU.) Special Publication 29 p. 121-134.
- PANIAGUA, A. 1991. Metodología de fraccionamiento de fósforo del suelo, en un sistema de cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc., Turrialba. C.R. CATIE. 92 p.
- PARFITT, R.L.; HUME, L.J.; SPARLING, G.P. 1989. Loss of availability of phosphate in New Zealand soils. *Journal of Soil Science (GB)* 40(2): 371-382.
- SZOTT, L.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management (Holanda)* 45(1-4): 127-152.
- RAMIREZ, C.O.; BORNEMISZA, E. 1990. Efecto de residuos orgánicos y abonamiento mineral

6  
sobre las propiedades químicas de un Typic Humitropept en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense (C.R.)* 14:(2) 237-240.

SANCHEZ, P.A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. *In Agroforestry: a decade of development*. Ed. by H.A.P. Stepler; P.K.R. Nair. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 205-223.

SOTO P., L. 1992. Dinámica de la eficiencia de uso y balance de nutrientes en sistemas agroforestales y en cultivos con enmiendas orgánicas en la Montaña, Turrialba, Costa Rica Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 125 p.

SZOTT, L.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management (Holanda)* 45(1-4): 127-152.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. 1994. Pathways of phosphorus transformations in soils of different pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal (EE.UU.)* 48: 853-858.

YOUNG, A. 1989. Ten hypotheses for soil-agroforestry research. *Agroforestry Today (Kenya)* 1(1):13-15.

ZECH, W.; HAUMAIER, L.; HEMPFLING, R. 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. *In Humic substances in soil and crop sciences*. Ed. by C.E. MacCarthy; R.L. Glapp; P.R. Bloom. Madison, Wis., EE.UU., s.h. p. 187-202.