

# Enriquecimiento de la fertilidad del suelo en condiciones de invernadero con especies usadas como abono verde<sup>1</sup>

Alana das Chagas Ferreira Aguiar<sup>2</sup>, Donald Kass<sup>3</sup>,  
Pedro Salvador Jorge Mustonen<sup>4</sup>, Emanuel Gomes de Moura<sup>5</sup>

**Palabras claves:** *Cajanus cajan*; *Canavalia ensiformis*; fraccionamiento de fósforo; reciclaje de nutrientes; suelos volcánicos; *Tephrosia vogelii* y *Tithonia diversifolia*.

## RESUMEN

El presente estudio fue realizado bajo condiciones de invernadero, en macetas de 2 dm<sup>3</sup>, para determinar la contribución de nutrientes de los residuos (abono verde) de las especies *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* o *Tephrosia vogelii*. Cuatro suelos de Costa Rica fueron utilizados: Andic Palehumult (Ultisol-Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand (Andisol), Plinthic Paleudult (Ultisol-San Isidro) y Oxyaquic Argiudoll (Mollisol). *T. diversifolia* produjo mayor cantidad de biomasa. En cuanto al nivel de N en la MS, *T. vogelii* se mostró superior en todos los suelos. El maíz produjo mayor cantidad de MS en el Ultisol-Grecia, cuando recibió los residuos de *C. ensiformis*, *C. cajan* o *T. vogelii*. Las especies usadas como abono verde no afectaron el fraccionamiento de P al final del experimento. *T. vogelii* y *C. ensiformis* se mostraron más promisorias, principalmente para el reciclaje de N, P y Ca. Para el K, *T. diversifolia* se mostró más promisorio. Para mejorar la disponibilidad de K y Mg en estos suelos se detectó que el cultivo de *T. diversifolia* resulta ser el más idóneo a corto plazo. Se debe dar preferencia a la combinación de abonos verdes con alta calidad de residuos con grande producción de biomasa, alcanzada por medio del aumento de la densidad de las especies en el campo.

## INTRODUCCIÓN

En la nutrición mineral de las plantas, los tres mayores nutrientes esenciales (N, P y K) son generalmente suministrados de manera limitada por muchos suelos. Los agricultores están conscientes de los efectos severos del agotamiento de la fertilidad del suelo, pero algunas veces no utilizan fertilizantes en sus cultivos, porque estos

**Fertility enrichment of soils with species used as green manures in a green house trial**

## ABSTRACT

A study was carried out in a greenhouse, using 2 dm<sup>3</sup> pots, to determine the nutrient contribution from the residues (green manure) of *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* and *Tephrosia vogelii*. Four Costa Rican soils were used: Andic Palehumult (Ultisol-Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand (Andisol), Plinthic Paleudult (Ultisol-San Isidro) and Oxyaquic Argiudoll (Mollisol). *T. diversifolia* produced the greatest amount of biomass. With respect to N concentrations, *T. vogelii* was superior in all soils. Maize produced the greatest amount of dry matter in the Ultisol-Grecia, mulched with the residues of *C. ensiformis*, *C. cajan* or *T. vogelii*. There was no effect on P fractions when green manures were compared at the end of the experiment. *T. vogelii* and *C. ensiformis* were most promising, mainly due to their ability to recycle of N, P and Ca. For K, *T. diversifolia* was the most promising species. In the short term, *T. diversifolia* would appear to be most suitable to improve the availability of K and Mg in these soils. Preference should be given to a combination of green manures with high nutrient concentration and biomass productivity, possibly by manipulating species densities in the field.

son frecuentemente escasos y costosos. Sin embargo, los fertilizantes químicos no son la única respuesta para esta inquietud; hay otros medios para lograr el incremento o mantenimiento de la fertilidad del suelo y una productividad sostenible de los cultivos en fincas de pequeños productores (Defoer *et al* 2000).

<sup>1</sup> Basado en Aguiar, ACF. 2001. Efecto de especies usadas como abono verde en el enriquecimiento de la fertilidad del suelo y en el manejo de plagas. Tesis M Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica

<sup>2</sup> M.Sc en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001 E-mail: alanaaguiar@elo.com.br (autora para correspondencia)

<sup>3</sup> Ph.D., Profesor Consejero Investigador USDA E-mail: dcl9@hotmail.com

<sup>4</sup> Estudiante de Doctorado en Agroforestería Tropical. CATIE. E-mail: pjorge@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Ph. D., Profesor Universidad Estatal de Maranhao, Brasil E-mail: egmoura@elo.com.br

Según Ae *et al* (1990), Otani y Ae (1996) y Otani *et al* (1996), la identificación de plantas con alta habilidad para la absorción de fracciones de P consideradas no disponibles, como aquellas ligadas al Fe y Al, puede aumentar la eficiencia del manejo de P en el suelo. Adicionalmente, los ácidos orgánicos producidos durante la descomposición de materiales vegetales adicionados al suelo, pueden competir con los aniones de P por puntos de adsorción existentes en el suelo, por lo que se presume que éstos aumentarían su disponibilidad en la solución del suelo (Hernández *et al* 1986).

Sin embargo, el uso de estas especies para favorecer los cultivos subsecuentes, debe ser precedida de pruebas que demuestren su eficiencia en aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El objetivo de este estudio fue desarrollar tecnologías para aumentar la disponibilidad de nutrientes en sus formas asimilables, en especial del P, a través de la incorporación de los residuos de las especies *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* o *Tephrosia vogelii*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado bajo condiciones de invernadero en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica (9°52'N y 83°38'O y 640 msnm). Las medias climáticas anuales son: 22°C de temperatura, 2479 mm de precipitación, 87% HR y 11,82  $\mu\text{J m}^{-2}$  de radiación.

Las especies *C. cajan*, *T. diversifolia*, *T. vogelii* y *C. ensiformis* fueron seleccionadas debido a su potencial para el reciclaje de nutrientes y como abonos verdes. Cuatro suelos de Costa Rica fueron utilizados: Andic Palehumult - Ultisol (Cantón Grecia, Provincia de Alajuela), Acrudoxic Hydric Melanudand - Andisol (localidad de Orieta, Cantón Turrialba, Provincia de Cartago), Plinthic Paleudult - Ultisol (Cantón San Isidro, Provincia de Heredia) y Oxyaquic Argiudoll - Molisol (localidad de El Guayabo, Turrialba) (Soil Survey Staff 1999).

Las especies *C. cajan*, *T. vogelii* y *C. ensiformis* fueron sembradas por semillas, con cuatro plantas por maceta de 2 dm<sup>3</sup>. Para *T. diversifolia* se utilizaron tres estacas por maceta. Una muestra de tres estacas fue secada y pesada, para saber cuánto estaba aportando en términos de MS cuando la especie fue sembrada. A los 60 días de la germinación se cortaron y secaron las plantas en una estufa a 65°C de circulación forzada, considerando

solamente su parte aérea. Luego, esta MS fue incorporada a cada uno de los mismos suelos y después de 60 días de incubación, se sembró maíz, utilizando 10 plantas por maceta, las cuales fueron cosechadas a los 45 días después de la germinación, para la determinación de la MS producida (biomasa aérea).

Se analizaron los suelos y los follajes (N, P, K, Ca y Mg) de las especies de abono verde y del maíz. El muestreo de los suelos fue realizado dos veces, antes de la siembra de las especies usadas como abono verde y después de la cosecha del maíz. Fueron analizados: P, K, Ca, Mg, acidez, materia orgánica (MO), pH del agua y el fraccionamiento del P, según Hedley *et al* (1982) modificado, para adecuarlo a las condiciones estudiadas. De la combinación de las cuatro especies usadas como abono verde y los cuatro suelos se evaluaron 16 tratamientos en el estudio. Se usó un diseño bloques completos al azar, con arreglo factorial 4 x 4 y ocho repeticiones.



Corte de las leguminosas, para posterior incorporación de la materia seca en los suelos del experimento en un invernadero del CATIE, Turrialba, Costa Rica Foto: Alex López

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Biomasa producida por las especies usadas como abono verde

*T. diversifolia* mostró ser la especie que produjo mayor cantidad de biomasa (Cuadro 1) y la de mayor respuesta a la fertilidad del suelo. Por otro lado, *C. ensiformis* fue la segunda más productiva y presentó una producción prácticamente similar en todos los suelos, confirmando su alta plasticidad, resultante de su gran adaptabilidad a las condiciones edáficas contrastantes. La producción de MS

**Cuadro 1.** Materia seca (g planta<sup>-1</sup>) producida por cuatro abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Suelos	Especies			
	<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
Ultisol-Grecia	13,50 b	17,38 b	38,62 b	48,62 ab
Molisol-Guayabo	11,75 b	15,38 b	40,62 b	76,49 a
Ultisol-San Isidro	10,38 b	12,50 b	41,88 b	55,12 ab
Andisol-Orieta	10,88 b	13,38 b	36,12 b	42,12 b

\* Medias seguidas de la misma letra en una columna no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

de *C. cajan* y *T. vogelii* fue mucho menor con relación a *C. ensiformis* y *T. diversifolia*, también sin mucha variación entre tipos de suelo. Estos resultados, junto con aquellos relativos a la calidad de los residuos pueden ser importantes en la definición de la especie para un sistema donde el reciclaje de nutrientes sea el foco principal en el manejo del suelo.

**Extracción de nutrientes por las especies usadas como abono verde**

*T. vogelii*, la especie que tuvo mayores concentraciones de nutrientes, con la excepción del Mg, en su biomasa (Cuadro 2), produce menos cantidad de biomasa que las otras especies estudiadas (Cuadro 1). Sin embargo, esta alta concentración de nutrientes sugiere gran potencialidad para el reciclaje, si las condiciones de producción de biomasa en el campo son perfeccionadas mediante prácticas como cultivos más densos y podas controladas. Con ex-

cepción del K, las concentraciones de nutrientes en la biomasa de *T. diversifolia* en este estudio no respaldan las afirmaciones de que esta especie tiene una alta capacidad de extraer nutrientes (especialmente P) y dar un abono rico en nutrimentos (Cuadro 2). Sin embargo, el valor de un abono verde se califica por la reincorporación total de nutrientes al suelo (biomasa por concentración).

La gran estabilidad de *C. ensiformis* para producir MS en las diversas condiciones de fertilidad del suelo, se manifestó también por las concentraciones poco variables de N producidas en todos los suelos (Cuadro 2). La fuente mayor de variación en concentraciones de N fue explicada por el efecto de las especies. *C. ensiformis* mostró ser superior en relación a la cantidad de P acumulado (g planta<sup>-1</sup>), excepto en relación a *T. diversifolia*. La variación del P en la biomasa fue explicada tanto por el efecto de especies, como de suelos, siendo *T. vogelii* la

**Cuadro 2.** Contenido de nutrientes (% de MS) en cuatro especies usadas como abono verde en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
N	Ultisol-Grecia	3,49 Aa*	2,55 B a	1,78 C a	1,11 D a
	Molisol-Guayabo	3,44 A a	2,24 B a	1,90 B a	0,68 C b
	Ultisol-San Isidro	2,58 A a	1,95 AB a	1,52 BC a	0,99 C ab
	Andisol-Orieta	3,27 A a	2,12B a	1,54 C a	0,85 D ab
P	Ultisol-Grecia	0,27 A a	0,16 B a	0,14 BC a	0,08 C a
	Molisol-Guayabo	0,17 A b	0,11 B ab	0,08 BC b	0,05 C a
	Ultisol-San Isidro	0,09 A c	0,07 AB b	0,06 B b	0,05 B a
	Andisol-Orieta	0,12 A bc	0,08 AB b	0,09 AB b	0,05 B a
K	Ultisol-Grecia	2,07 A ab	0,97 A a	0,86 A a	1,79 A a
	Molisol-Guayabo	0,92 A b	0,82 A a	0,49 A c	1,07 A a
	Ultisol-San Isidro	2,87 A a	0,98 B a	0,68 B b	1,48 AB a
	Andisol-Orieta	1,23 A ab	0,87 B a	0,58 C c	1,06 AB a
Ca	Ultisol-Grecia	1,93 A a	1,05 B a	2,02 A a	0,47 C a
	Molisol- Guayabo	1,68 A ab	1,37 AB a	1,21 B bc	0,47 C a
	Ultisol-San Isidro	1,35 A b	1,32 A a	1,34 A b	0,53 B a
	Andisol-Orieta	1,38 A b	1,15 B a	1,08 B c	0,46 C a
Mg	Ultisol-Grecia	0,27 A b	0,17 B b	0,27 A b	0,24 A a
	Molisol- Guayabo	0,43 A a	0,31 B a	0,42 A a	0,27 B a
	Ultisol-San Isidro	0,17 A c	0,16 A b	0,20 A bc	0,24 A a
	Andisol-Orieta	0,19 A c	0,16 A b	0,15 A c	0,22 A a

\* Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente) y letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente). Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

que presentó mayor contenido de P en su biomasa, cuando fue sembrada en el Ultisol-Grecia (0,27%). *C. ensiformis* mostró mayor eficiencia en el reciclaje de Ca al considerar conjuntamente las concentraciones del elemento y la cantidad de MS producida. Con relación al Mg, destacó *T. diversifolia*, ya que logró absorber niveles satisfactorios en los suelos Ultisol-San Isidro y Andisol-Orieta, especialmente cuando se considera también la cantidad de MS producida por esta especie.

Las concentraciones de N y P en la biomasa del maíz (Cuadro 4) no alcanzaron los niveles adecuados que este cultivo demanda, que son 3,5 a 5,0% para el N y 0,3 a 0,5% para el P, respectivamente (Bertsch 1995). Las especies usadas como abono verde en el estudio, no tuvieron suficiente impacto en incrementar y/o mantener por sí mismas la fertilidad de los suelos, en relación a estos dos nutrientes. En el caso del K, *T. diversifolia* proporcionó un nivel adecuado para el maíz

**Cuadro 3.** Materia seca de maíz (g planta<sup>-1</sup>) producida con abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Suelos	Especies			
	<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
Ultisol-Grecia	28,00 a*	30,00 a	30,25 a	23,75 ab
Molisol-Guayabo	24,50 a	25,00 a	26,25 a	27,00 a
Ultisol-San Isidro	21,50 b	19,50 b	20,75 b	21,00 b
Andisol-Orieta	20,00 b	20,50 b	20,25 b	22,50 b

\* Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

**Producción de biomasa y niveles de nutrientes en el maíz**

Las mayores producciones de biomasa en MS por el maíz fueron alcanzadas en los suelos Ultisoles de Grecia (Cuadro 3), cuando recibieron los residuos de *C. ensiformis*, *C. cajan* o *T. vogelii*. En cambio, en los otros suelos no hubo diferencias entre abonos verdes a pesar de que la cantidad de biomasa fue mayor para *C. ensiformis* y *T. diversifolia*.

mostrando mayor eficiencia para suplir este elemento a través de su biomasa. En cuanto a los niveles de Ca y Mg, se encontraron contenidos adecuados en la biomasa de maíz (Cuadro 4), pero para Mg fue significativamente más bajo con el uso de *T. diversifolia*. Con excepción de K, las concentraciones de los nutrientes en maíz producido en los Ultisoles fueron generalmente más bajas.

**Cuadro 4.** Contenido de nutrientes (%MS) en el maíz producido con cuatro especies usadas como abono verde en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
N	Ultisol-Grecia	0,99 A b*	1,04 A ab	1,06 A a	1,03 A a
	Molisol-Guayabo	1,34 A a	1,15 A a	1,40 A a	1,31 A a
	Ultisol-San Isidro	0,90 B b	0,95 AB b	1,22 AB a	1,31 A a
	Andisol-Orieta	1,25 A a	1,12 A a	1,26 A a	1,12 A a
P	Ultisol-Grecia	0,17 AB a	0,16 B a	0,18 A a	0,18 A a
	Molisol-Guayabo	0,10 A b	0,10 A b	0,09 A b	0,09 A b
	Ultisol-San Isidro	0,08 A b	0,08 A b	0,08 A b	0,08 A b
	Andisol-Orieta	0,09 A b	0,08 A b	0,08 A b	0,08 A b
K	Ultisol-Grecia	1,37 B a	1,26 B ab	1,35 B a	3,47 A b
	Molisol-Guayabo	0,55 B b	0,67 B c	0,61 B b	3,19 A b
	Ultisol-San Isidro	1,11 B a	1,31 B a	1,65 B a	4,10 A a
	Andisol-Orieta	0,46 B b	0,71 B bc	0,70 B b	3,85 A ab
Ca	Ultisol-Grecia	0,63 A b	0,58 A b	0,62 A b	0,66 A a
	Molisol-Guayabo	0,74 AB ab	0,71 AB ab	0,85 A a	0,60 B ab
	Ultisol-San Isidro	0,63 A b	0,72 A a	0,73 A ab	0,67 A a
	Andisol-Orieta	0,84 A a	0,77 A a	0,82 A ab	0,50 B b
Mg	Ultisol-Grecia	0,44 A c	0,42 A c	0,47 A b	0,28 B b
	Molisol-Guayabo	0,85 AB a	0,75 B a	0,86 A a	0,42 C a
	Ultisol-San Isidro	0,44 A c	0,44 A c	0,46 A b	0,27 B b
	Andisol-Orieta	0,68 A b	0,57 A b	0,66 A ab	0,29 B b

\*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente) y letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente). Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

**Efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos**

El Ultisol-Grecia tuvo un nivel de P aproximadamente 10 veces mayor que el promedio de los otros tres suelos (Cuadro 5). En el caso del K y Mg, se detectó un incremento significativo en su contenido en todos los suelos cuando se les adicionó la biomasa de *T. diversifolia*. La

biomasa de esta especie es reconocida por suplir efectivamente la demanda de K, aumentando el rendimiento del cultivo (Jama *et al* 2000). Hay que considerar que podría haberse registrado una disminución de los nutrientes en las formas disponibles, debido a que parte de estos nutrientes pudieron ser tomados por el maíz (Cuadro 4).

**Cuadro 5.** Análisis químico de los suelos, después de la cosecha del maíz, utilizados en el estudio de cuatro abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
P (mg l <sup>-1</sup> )	Ultisol-Grecia	22,45 A a*	21,00 A a	19,20 A a	21,00 A a
	Molisol-Guayabo	2,62 B bc	2,42 B b	3,12 A b	3,22 A b
	Ultisol-San Isidro	3,58 A b	3,12 A b	3,30 A b	3,55 A b
	Andisol-Orieta	1,35 A c	1,22 A b	1,62 A b	1,80 A b
K (cmol(+)l <sup>-1</sup> )	Ultisol-Grecia	0,05 B a	0,06 B a	0,06 B a	0,27 A a
	Molisol-Guayabo	0,06 B a	0,06 B a	0,07 B a	0,15 A a
	Ultisol-San Isidro	0,03 B b	0,03 B b	0,05 B b	0,38 A a
	Andisol-Orieta	0,04 B ab	0,04 B ab	0,06 B a	0,28 A a
Ca (cmol(+)l <sup>-1</sup> )	Ultisol-Grecia	4,89 A b	4,88 A b	4,77 A b	4,69 A b
	Molisol-Guayabo	15,67 A a	14,72 A a	15,42 A a	15,12 A a
	Ultisol-San Isidro	2,18 A c	2,12 A c	2,25 A c	2,24 A c
	Andisol-Orieta	1,49 C c	1,74 B c	1,81 A c	1,71 B c
Mg (cmol(+)l <sup>-1</sup> )	Ultisol-Grecia	0,70 B b	0,63 B b	0,72 B b	1,02 A b
	Molisol-Guayabo	6,97 A a	6,40 A a	6,70 A a	7,00 A a
	Ultisol-San Isidro	0,32 B b	0,24 B b	0,43 B b	0,64 A b
	Andisol-Orieta	0,20 C b	0,32 B b	0,38 B b	0,74 A b

\*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente) y letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente). Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

**Efecto de los tratamientos en las fracciones del P**

Los suelos Ultisol-Grecia y Molisol-Guayabo presentaron niveles satisfactorios del Pi lábil (Cuadro 6). En los suelos Andisol-Orieta y Ultisol-San Isidro, aún sumando estas dos fracciones de P fácilmente disponible, no cumpliría en la demanda del P para el cultivo, a pesar de las adiciones de los abonos verdes. El contenido de Po en la fracción NaHCO<sub>3</sub> en el Andisol-Orieta fue supe-

rior a todos los otros suelos (seis veces mayor que el Ultisol-San Isidro). En los suelos Andisol-Orieta y Ultisol-San Isidro, las fracciones orgánicas (Po) se presentaron superiores dos a tres veces en comparación con su fracción inorgánica. Esto indica la importancia de esta fuente de P para los microorganismos del suelo, especialmente cuando el Pi lábil es bajo, como es el caso de estos suelos.

**Cuadro 6.** Resultados del fraccionamiento del P al final del estudio de abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Fracciones de P (mg kg <sup>-1</sup> )	Suelos			
	Ultisol-Grecia	Molisol-Guayabo	Andisol-Orieta	Ultisol-San Isidro
Pi resina	18,52 a*	7,72 b	0,65 c	0,42 c
Pi NaHCO <sub>3</sub>	100,38 a	11,85 b	9,58 b	4,58 c
Po NaHCO <sub>3</sub>	38,90 b	46,72 b	81,15 a	13,78 c
Pi NaOH	498,75 a	87,88 c	320,25 b	56,15 d
Po NaOH	231,50 b	206,25 b	969,00 a	114,00 c
Pi HCl	23,32 b	32,92 b	139,50 a	0,95 c
P residual	468,00 c	657,25 b	823,50 a	232,25 d
Suma Fracciones	1379,37	1050,59	2343,63	422,13

\*Medias seguidas de la misma letra en una línea no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

El Andisol-Orieta fue el suelo que presentó el mayor nivel de P ligado a calcio (Cuadro 6). Esto puede ser debido a su característica de gran retención de P. Se observó que más del 85% del contenido total del P está en las fracciones indisponibles de P (por lo menos a corto plazo), lo que lleva a considerar estas fracciones como muy importantes en este estudio.

Las especies usadas como abono verde no dejaron efecto significativo en las fracciones de P. La razón podría haber sido el periodo corto de crecimiento y de incubación, insuficientes para proporcionar cambios representativos en las fracciones de P.

### CONCLUSIONES

- *Tephrosia vogelii* y *Canavalia ensiformis* fueron las especies más promisorias en este estudio, principalmente para el reciclaje de N, P y Ca, mientras que para el K, *T. diversifolia* se mostró más eficiente.
- Para mejorar la disponibilidad del P en estos suelos, se detectó que el cultivo de leguminosas con alta calidad de residuos como *T. vogelii* resultan ser los más idóneos a corto plazo.
- Para mayor eficiencia del sistema, se debe dar preferencia a la combinación de abonos verdes con alta calidad de residuos y con grande producción de MS, alcanzada por medio del aumento de la densidad de las especies en el campo.

### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ae, N; Arihara, J; Okada, K; Yoshihara, T; Johansen, C 1990 Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian Subcontinent. *Science* 248: 477-480
- Bertsch, F 1995 La fertilidad de los suelos y su manejo San José, CR 157 p
- Defoer, T; Budelman, A; Toulmin, C; Carter, SE 2000. Building common knowledge. Participatory learning and action research (Part 1). In Defoer, T; Budelman, A (eds). *Managing soil fertility in the tropics. A Resource Guide for participatory learning and action research*. Amsterdam, The Netherlands: Royal Tropical Institute. 208 p
- Hedley, MJ; Stewart, JWB; Chauhan, BS 1982 Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Am. J.* 46: 970-976
- Hernández, DL; Siegert, G; Rodríguez, JV 1986 Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1460-1462
- Jama, B; Palm, CA; Buresh, RJ; Niang, A; Gachengo, C; Nziguheba, G; Amadalo, B 2000 *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry Systems* 49: 201-221.
- Otani, T; Ae, N 1996 Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. I. Screening of crops for efficient P uptake. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42(1): 155-163.
- Otani, T; Ae, N; Tanaka, H 1996 Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acids in root exudates of pigeonpea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42(3): 553-560
- Soil Survey Staff 1999. *Keys to Soil Taxonomy* 8 ed Blacksburg, EUA, 600 p