

FOSFORO: UN ELEMENTO ESENCIAL PARA MANTENER LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Pedro Ruiz¹

El potencial de la Agroforestería para la producción de alimentos en las zonas húmedas de los trópicos es cada vez más importante, especialmente en suelos de pendiente. La razón de esto se basa en el papel que juegan los árboles en mantener la fertilidad del suelo por medio de la caída de hojas y las podas imitando de alguna manera el ecosistema del bosque natural.

Los árboles al tener sistemas radiculares más profundos, pueden remover y reciclar nutrientes que inicialmente no están a disposición de cultivos anuales. Sin embargo, no existe suficiente información para soportar o refutar estos conceptos.

1 Candidato a Ph D. Department of Soil Science, Tropical Soils Research Program, North Carolina State University, Raleigh, NC 27607. U.S.A.

Se considera que el eficiente reciclamiento de nutrientes, con pérdidas relativas muy pequeñas, permite la alta productividad de los ecosistemas de bosque tropical en suelos infértiles. Los procesos de reciclamiento de nutrientes en los sistemas agroforestales y en el bosque natural son similares. Sin embargo, existen diferencias en el tamaño relativo o en el flujo de ciertos procesos del reciclamiento de nutrientes entre los dos tipos de sistemas y aún entre diferentes sistemas agroforestales como cultivos itinerantes, barbechos mejorados, cultivo en callejones y los sistemas árbol-cultivo. La mayor diferencia se encuentra en la pérdida de nutrientes. Además de las pérdidas por lixiviación, erosión y emisiones en forma de gas que probablemente son similares para los dos sistemas, los sistemas agroforestales pierden nutrientes a través del producto cosechado, factor que no existe en el sistema natural.

Estas diferencias resultan en cantidades diferentes de nutrientes que determinarán la productividad y especialmente la sostenibilidad de los diversos sistemas agroforestales.

Hasta la fecha, la mayoría de investigación en reciclamiento de nutrientes en agroforestería se ha enfocado en el ciclo y cantidades de nitrógeno (N). El uso de leguminosas arbóreas que fijan N en la mayoría de los sistemas agroforestales es una fuente de N que puede parcialmente y en algunos casos completamente, cubrir las pérdidas de N a través de la exportación en los productos de la cosecha. El ciclo y las cantidades de otros nutrientes ha recibido muy poca atención. Los árboles pueden

reciclar estos nutrientes pero no pueden aportar nuevas cantidades de fuera del sistema como lo pueden hacer con N.

Dentro de estos otros nutrientes, el fósforo (P) es de particular importancia si se considera la extensión de suelos fijadores de P localizados en los trópicos y la alta proporción de P extraído por las plantas que es exportado en la cosecha.

La Tabla 1 demuestra que los granos acumulan cantidades mayores de P comparado con aquellos de la paja y las raíces. Este P acumulado en los granos se pierde del sistema. Alrededor del 40% del P es reciclado cada año. La Tabla 1 también demuestra una declinación de la producción total de materia seca y la cantidad total de P acumulado en el segundo año.

El sistema de agricultura tradicional en los trópicos, cultivos itinerantes, es considerado el sistema agroforestal original más simple y menos intensivo. Los cultivos crecen por un año o dos y entonces son reemplazados por árboles como un barbecho natural. Algunos estimativos indican que la pérdida de P vía cosecha después de dos años de cultivo es menos que 10 kg/ha. Esta cantidad es recuperada por el sistema en un período de 10 a 15 años de barbecho, de aportes atmosféricos de 0.1 a 1.0 kg P/ha/año. Durante el período de barbecho los nutrientes son transferidos del suelo a la vegetación donde se almacenan. De esta forma, los nutrientes pasan a ser una fuente de fertilizante que permanece en la ceniza después de la tumba y quema de la vegetación.

Tabla 1. Producción de materia seca y absorción y porcentaje de reciclamiento de P en una rotación de arroz secano-Caupí en un Ultisol de la selva Peruana(a).

Secuencia de Cultivos	Producción de materia seca, t/ha				P acumulado (1), kg/ha				P reciclado	
	Grano	Paja (2)	Raíces (3)	Total	Grano	Paja	Raíces	Total	kg	%
Primer año										
1. Arroz de Secano	1.9	2.3	0.8	5.0	4.4	1.6	0.7	6.7	2.3	34
2. Arroz de Secano	1.2	1.4	0.5	3.1	2.8	1.0	0.5	4.3	1.5	35
3. Caupí	0.6	1.2	0.7	2.5	2.1	1.5	0.9	4.5	2.1	53
Total	3.7	4.9	2.0	10.6	9.3	4.1	2.1	15.5	6.2	40
Segundo Año										
4. Arroz de Secano	1.6	1.9	0.7	4.2	3.7	1.3	0.6	5.6	1.9	34
5. Arroz de Secano	1.2	1.4	0.5	3.1	2.8	1.0	0.6	4.4	1.6	36
6. Caupí	0.3	0.6	0.4	1.3	1.1	0.7	0.4	2.2	1.1	50
Total	3.1	3.9	1.6	8.6	7.6	3.0	1.6	12.2	4.6	38

1 Calculado de los contenidos medios de P de 0.23, 0.07 y 0.09 % para grano, paja, y raíces de arroz y 0.35, 0.13 y 0.12 % para grano, residuos y raíces de Caupí respectivamente.

2 Basado en la relación grano/paja de 0.82 y 0.52 para arroz y Caupí respectivamente. Las cápsulas de Caupí se ignoraron.

3 Basado en la relación grano/biomasa de raíces finas a la antesis de 2.27 para arroz y 0.83 para Caupí.

(a) Sánchez, P. A., C. A. Palm, and T. J. Smyth. 1991. Phosphorus dynamics in shifting cultivation systems in the Amazon. In: Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. Scope-Unep Regional Workshops: South and Central America, (H. Tiessen, D. López - Hernández and I. H. Salcedo, eds.). Saskatchewan, Institute of Pedology, Saskatoon. pp. 142-160.

Este proceso no debe ser considerado como una adición neta al sistema. Sin embargo, el aporte de P atmosférico puede considerarse como adición neta, pero es de menor importancia debido a las cantidades pequeñas involucradas.

Los barbechos naturales pueden ser mejorados al plantar intencionalmente árboles seleccionados, arbustos o cultivos de cobertera después que se deja de cultivar, pero antes del rebrote de la vegetación natural. El principal objetivo del barbecho mejorado es el de almacenar nutrientes en la vegetación más rápidamente que en los barbechos naturales. De esta manera se pueden intensificar los cultivos anuales, pero este manejo puede tener implicaciones en la productividad a largo plazo.

La Figura 1 presenta la comparación entre barbecho natural y el barbecho de especies leguminosas: *Centrocema macrocarpum* (Cm), *Pueraria phaseoloides* (Pp), *Inga edulis* (Ie), *Cajanus cajan* (Cc), *Desmodium ovalifolium* (Do) y *Stylosanthes guianensis* (Sg). Se observa que las leguminosas almacenaron en la vegetación cantidades que varían de 15 a 35 kg/ha después de 29 meses de crecimiento. Durante este tiempo disminuyó el P disponible en el suelo.



Un sistema de cultivo en callejones con arroz e *Inga edulis* en la Amazonía Peruana, Yurimaguas (Foto cortesía de C. B. Davey).

Fue interesante el observar que al final de este período, la suma de P disponible en el suelo más el P de la vegetación fue mayor en todas las parcelas de leguminosas. Este incremento se debe probablemente a la transferencia de P de formas no disponibles a formas más disponibles. Se estima que hasta 20 kg/ha habrían sido transferidos de las formas no disponibles de P en el suelo para satisfacer las cantidades de P encontradas en los barbechos.

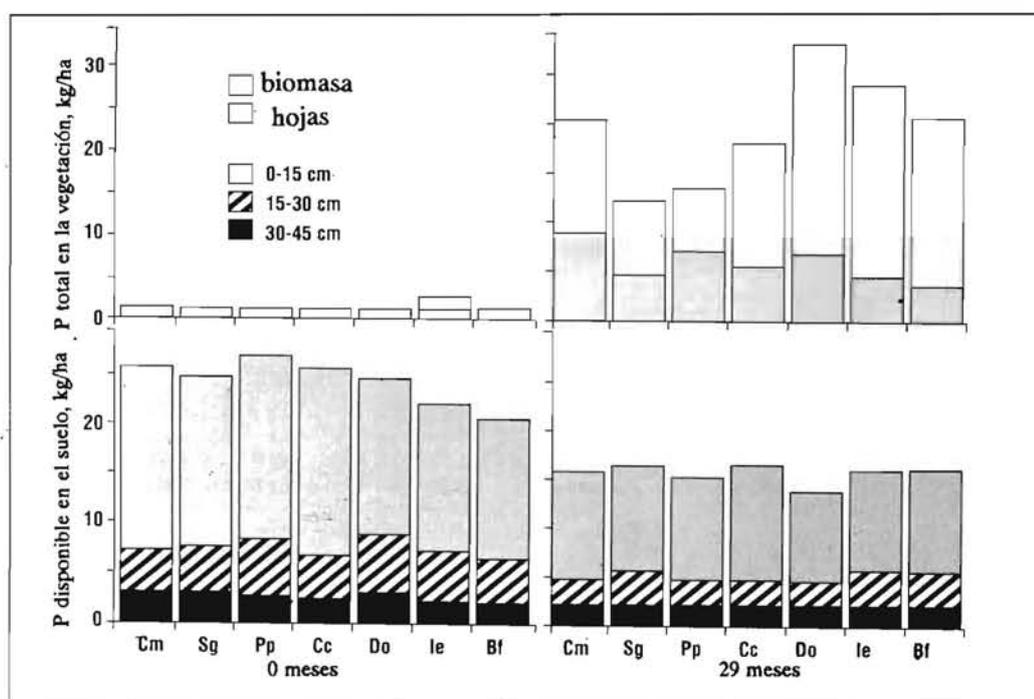


Figura 1. Cambios en el P total almacenado en la biomasa y en P disponible en seis barbechos mejorados y en el barbecho natural después de 29 meses de la cosecha de un cultivo de arroz (b).

(b) Palm, C. A., A.J. Mckerrow, W. N. Glasemer, and L. J. Scott. 1991. Agroforestry Systems in Lowland Tropics: Is Phosphorus Important? In: Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. Scope. UNEP Regional Workshop 3: South and Central America, (H. Tiessen, D. López-Hernández and I. H. Salcedo, eds.). Saskatchewan, Institute of Pedology, Saskatoon pp. 134-141.

Las diferencias en el P contenido en la vegetación reflejarían la diferente capacidad de los barbechos de leguminosas para absorber P del suelo. Es probable que parte del P acumulado en la vegetación pase a ser disponible después de la quema, pero probablemente parte se fijará en el suelo volviéndose no disponible.

Un sistema más intenso que los cultivos itinerantes o los barbechos mejorados es el cultivo en callejones. Este es un sistema en el cual se plantan cultivos de escarda entre los callejones formados por árboles o arbustos. Las hileras de árboles, por ejemplo leguminosas, son podados periódicamente para prevenir la sombra y para proveer de nutrientes al cultivo. El cultivo en callejones es más intenso que los dos sistemas mencionados arriba debido a que se producen dos o tres cultivos por año y la exportación anual de nutrientes en los cultivos es mayor.

La Tabla 2 demuestra que el P añadido en el material de poda no es suficiente para compensar las cantidades de P removidas en los granos. Las reservas de P en el suelo son agotadas y la productividad de los cultivos itinerantes y de los cultivos en callejones decrecerá más rápidamente a medida que se incrementa la frecuencia de cultivos en ambos sistemas. Entonces es necesario considerar la interacción tiempo por área. En un espacio de tiempo (que podría ser 20 años) el sistema de cultivo en callejones producirá más arroz y caupí por hectárea que el sistema de cultivos itinerantes.

La selección de árboles con mayor producción de biomasa y con mayor concentración de P en las hojas podría aliviar, en el corto plazo, las demandas de P para la producción de cultivos, pero en el largo plazo es obvio que será necesario utilizar fertilizantes fosfóricos.

Los sistemas de producción de cultivos con árboles perennes son quizá los más conocidos y exitosos sistemas agroforestales. Ellos van desde el monocultivo de árboles

como las plantaciones de palma de aceite y caucho a sistemas de multiespecies y multiestratos como plantaciones de café con *Erythrina* sp., para sombra y poda y *Cordia alliodora* para madera. Comparados con los cultivos itinerantes, los sistemas de cultivos de árboles son manejados más intensamente y la exportación de nutrientes en la cosecha es mucho más grande. La remoción de P en la cosecha puede variar de 4 a 11 kg/ha/año para palma de aceite y caucho respectivamente. Es necesario añadir fósforo para mantener estos sistemas en producción.

La alta cantidad de P exportado en los productos de cosecha y los bajos niveles de P disponible en suelos tropicales ácidos, hacen de este nutriente un factor limitante de importancia. Se encontró en un sistema de multiestratos en un Ultisol, sin adición de P como fertilizante, que la cantidad de P extraído anualmente por los cultivos es también alta, pero los árboles continúan creciendo rápidamente a pesar de los bajos niveles de P en el suelo. La mayoría de los sistemas agroforestales permanecen productivos debido a las altas aplicaciones de fertilizante fosfórico. Algunos permanecen productivos sin la adición de P indicando que los árboles juegan un papel especial en el reciclamiento, transformaciones y disponibilidad del P.

Proyectos de Investigación determinarán el tiempo que los sistemas basados en árboles pueden permanecer productivos sin la adición de fertilizantes fosfóricos y los procesos envueltos en la absorción de P por árboles en condiciones de baja disponibilidad en el suelo.

CONCLUSION

Es aparente que la aplicación de fertilizante fosfórico es necesaria en los sistemas agroforestales de los trópicos, particularmente para cultivos anuales ya que el contenido de P en el material de poda, generalmente no compensa la remoción de P con los cultivos.

Tabla 2. Nutrientes añadidos con la poda y removidos por la cosecha en dos sistemas de cultivos en callejones en Nigeria y Perú.

	BIOMASA Kg/ha/cultivo	N	P	K	Ca	Mg
		kg/ha/cultivo				
Ibadan, Nigeria (Alfisol)						
Poda de <i>Leucaena leucocephala</i>	3.0	98	8	74	40	6
Maíz ¹						
Grano	3.0	75	18	75	9	6
Residuo	4.5	75	9	54	13.5	9
Yurimaguas, Perú (Ultisol)						
Poda de <i>Inga edulis</i>	2.5	62	5	24	15	4
Arroz ²						
Grano	1.5	35	7	10	1.4	0.3
Paja	1.5	7	1	18	2.6	2.2

1 Fertilizado con 20 kg de P y 20 kg de K cada cultivo.

2 Sin fertilizante