

# Dinámica del nitrógeno y el fósforo del suelo bajo tres sistemas de uso de la tierra en laderas de Honduras

## Dynamics of soil nitrogen and phosphorus in three land use systems on hillsides of Honduras

Aracely Castro<sup>1</sup>, Juan Carlos Menjivar<sup>2</sup>, Edmundo Barrios<sup>3</sup>  
Neuza Asakawa<sup>1</sup>, Gonzalo Borrero<sup>1</sup>, Edwin García<sup>1</sup>, Idupulapati Rao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, A.A. 6713 Cali, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, A.A. 237 Palmira, Colombia.

<sup>3</sup>World Agroforestry Centre, ICRAF, PO Box 30677 Nairobi, Kenya. Autor para correspondencia: [acastro.ciat@gmail.com](mailto:acastro.ciat@gmail.com)

Recibido: 12-12-2009 Aceptado: 17-07-2010

### Resumen

Se condujo un estudio para determinar el efecto de los principios de manejo del Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) en la dinámica de nitrógeno (N) y fósforo (P) del suelo y el impacto de estos en su productividad en el sur-occidente de Honduras, Centroamérica. Se compararon cinco sistemas: (1) tala-y-quema (TQ); (2, 3 & 4) SAQ de <2, 5-7 y <10 años, respectivamente; y (5) bosque secundario. Prácticas locales fueron aplicadas para producir maíz, *Zea mays*, y frijol, *Phaseolus vulgaris*, con (101 kg N + 55 kg P /ha en maíz, y 46 kg N + 51 kg P /ha en frijol) y sin fertilización. Las evaluaciones incluyeron descomposición y liberación de nutrientes de la biomasa, mineralización aeróbica de N, fraccionamiento secuencial de P, fraccionamiento por tamaño-densidad de materia orgánica del suelo, y rendimiento. Similitudes en la dinámica del N indican que el SAQ y TQ son igualmente eficientes proveyendo N, aunque en el SAQ como resultado de procesos biológicos. Los reservorios de P fueron más dinámicos y favorables en el SAQ, con menos flujos hacia formas no-disponibles. Basado en la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento, el SAQ es una opción factible al sistema TQ en agroecosistemas de pequeña escala.

**Palabras clave:** Sistema Agroforestal Quesungual, tala-y-quema, bosques secundarios, maíz, frijol

### Abstract

A study was carried out to determine the effect of management principles in the Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System (QSMAS) on the dynamics of soil nitrogen (N) and phosphorus (P), and their impact on QSMAS' productivity in southwestern Honduras, Central America. Five land use systems were compared: (1) Slash-and-burn traditional system; (2, 3 and 4) QSMAS of <2, 5-7 and >10 years old, respectively; and (5) Secondary forest. Local practices were applied to produce maize *Zea mays*, and bean *Phaseolus vulgaris*, with (101 kg N + 55 kg P /ha for maize, 46 kg N + 51 kg P /ha for bean) and without addition of fertilizers. Measurements included decomposition and nutrient release from biomass, aerobic mineralization of N, sequential fractionation of P, size-density fractionation of soil organic matter, and crop yield. Similarities in N dynamics indicate that QSMAS and slash-and-burn system were equally effective in providing N, although in QSMAS it is also result of a biologically mediated process. P pools in QSMAS were more dynamic and favorable by reducing their flows towards unavailable forms. Based on nutrient availability and grain yields over time, QSMAS could be a suitable option to replace the slash-and-burn system in smallholder agroecosystems.

**Key words:** Quesungual Agroforestry System, slash-and-burn, secondary forests, maize, common bean

## Introducción

El Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) es un sistema de producción para agricultores de pequeña escala que incluye un grupo de tecnologías para el manejo sostenible de los recursos vegetación, suelo y agua en agroecosistemas de ladera con tendencia a sequía en el trópico sub-húmedo (CIAT, 2009). Los fundamentos para el manejo del SAQ son de origen indígena, mejorado por productores y técnicos con la adaptación de tecnologías introducidas, y posteriormente diseminado en el sur-occidente de Honduras como alternativa a los sistemas tradicionales basados en la práctica de tala y quema. Productores y organizaciones de desarrollo afirman que en el corto plazo el SAQ puede ser tan productivo y rentable como los sistemas de tala y quema. Sin embargo, mientras esta práctica conduce a la rápida degradación del suelo y el ambiente, los principios de manejo del SAQ contribuyen a su éxito en términos productivos y conservacionistas y garantizan la seguridad alimentaria y la conservación de los agro-ecosistemas en las comunidades donde se practica (Ayarza y Wélchez, 2004).

El manejo del SAQ se basa en cuatro principios básicos: (1) No tala ni quema, mediante el manejo (tala y poda parcial, selectiva y progresiva) de la vegetación natural; (2) Cobertura permanente del suelo, a través de la deposición continua de biomasa de árboles, arbustos y malezas, y de residuos de cultivos; (3) Mínima disturbancia del suelo, mediante la labranza cero, siembra directa, y disturbación reducida del suelo durante el manejo; y (4) Uso eficiente de fertilizantes, a través de la aplicación apropiada (momento, tipo, cantidad y ubicación) de fertilizantes inorgánicos (Castro *et al.*, 2009; Wélchez *et al.*, 2008). El objetivo principal de este estudio fue determinar el efecto de los componentes y de los principios que definen su manejo en la dinámica de nitrógeno (N) y fósforo (P) del suelo en el SAQ, y cómo el impacto de esas dinámicas afectan la productividad y sostenibilidad del sistema en Honduras

## Materiales y métodos

Las actividades de investigación fueron conducidas entre abril de 2005 y diciembre de

2007 en el municipio de Candelaria (14° 4' 60" N, 88° 34' 0" O, 450-850 msnm), departamento de Lempira, región sur-occidental de Honduras, y en laboratorios del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia (3° 30' N, 76° 21' O, 965 msnm). Según la clasificación por zonas de vidas (Holdridge) la región sur de Lempira es un bosque semi-deciduo sub-húmedo tropical, y según la clasificación climática (Köppen) esta región se caracteriza por un clima de Trópico Húmedo-Seco (Aw). La precipitación promedio anual (bimodal) es de 1400 mm concentrados entre mayo y noviembre, y la temperatura oscila entre 17-25 °C. La agricultura en Candelaria está concentrada en fincas de pequeña escala (80% con menos de 5 ha con topografía escarpada, con parcelas de producción en pendientes entre 5% a 50%). Los suelos son clasificados como Entisol (Lithic Ustorthents) con alta pedregosidad, influenciados por ceniza volcánica asociada con rocas ígneas e intrusivas, generalmente bajos en P disponible, con contenido de materia orgánica entre 2.8-3.9% y pH entre 4.0-4.8 (Ordóñez-Barragán, 2004; Hellin *et al.*, 1999).

Se evaluaron cinco sistemas de uso de la tierra (SUT): (1) tala y quema (sistema tradicional de producción); (2, 3 & 4) SAQ de <2 años, 5-7 años y <10 años, respectivamente; y (5) bosque secundario (sistema de uso de la tierra de referencia). El sistema TQ y el SAQ fueron manejados aplicando prácticas locales para producir maíz, *Zea mays*, y frijol, *Phaseolus vulgaris*. Adicionalmente, el SAQ incluyó la aplicación de 49 kg N + 55 kg P ha<sup>-1</sup> a los 8-10 días después de la siembra (DDS) y 52 kg N ha<sup>-1</sup> ~30 DDS en el maíz; y 46 kg N + 51 kg P ha<sup>-1</sup> a los 8-10 DDS en el frijol. Cada tratamiento fue replicado en tres fincas. La preparación del sistema TQ en 2005 consistió en la tala, distribución homogénea de la biomasa y quema de toda la parcela, mientras en 2006 y 2007 la quema se realizó en puntos aislados dentro la parcela donde los productores reunían la progresivamente menor cantidad de biomasa acumulada. En el caso del SAQ, la preparación consistió en la tala y poda manual, selectiva y progresiva de árboles y arbustos; el control manual y/o químico de malezas; y

la dispersión homogénea de biomasa arbórea y rastrojos de cultivos.

Se realizaron muestreos de suelo y hojarasca después de la preparación, pero antes de las primeras lluvias y por ende, de la siembra. Para ello las parcelas fueron divididas en tres franjas de ~3.3 m, en la parte alta, media y baja en relación con la pendiente. En cada franja se tomó 10 puntos de muestreo donde primero se obtuvo la muestra de hojarasca mediante la colocación de una cuadrata de 0.4 m<sup>2</sup> (0.2 x 0.2 m) y recolección de la biomasa en su interior sin remover la fracción adherida al suelo. Seguidamente, en el mismo espacio se obtuvieron muestras de suelo a cuatro profundidades: 0-2.5 cm, 2.5-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm, usando cilindros de 12 cm de diámetro. Las sub-muestras de hojarasca fueron unidas en una sola muestra, mientras las de suelo fueron unidas por profundidad. Todas las muestras fueron secadas al aire bajo sombra, y procesadas mediante molido y tamizado (malla de 2 mm).

Las determinaciones incluyeron: (1) descomposición y liberación de nutrientes de biomasa de árboles, arbustos y residuos de cultivos de diversa calidad (relación C:N) usando la técnica de bolsas de descomposición (Cobo *et al.*, 2002; Wieder y Lang, 1982; Bockock y Gilbert, 1957), entre abril de 2006 y marzo de 2007; (2) mineralización aeróbica de N *ex situ*, como medida anual del potencial de conversión de N orgánico en formas inorgánicas disponibles para las plantas (Correa Moreno, 2004; Anderson e Ingram, 1993); (3) fraccionamiento secuencial del P total, como medida anual del tamaño de distintos reservorios por su grado de disponibilidad, siguiendo el procedimiento de fraccionamiento secuencial (Phiri *et al.*, 2001; Tiessen y Moir, 1993); (4) fraccionamiento por tamaño y densidad de la materia orgánica del suelo (MOS), como indicador anual de la actividad funcional potencial de la MOS (Meijboom *et al.*, 1995; Barrios *et al.*, 1996); y (5) rendimiento de grano de los dos sistemas agrícolas, cuantificado al final de cada año.

El modelo general usado para los análisis estadísticos fue el Diseño Completamente al Azar, con las nueve combinaciones de

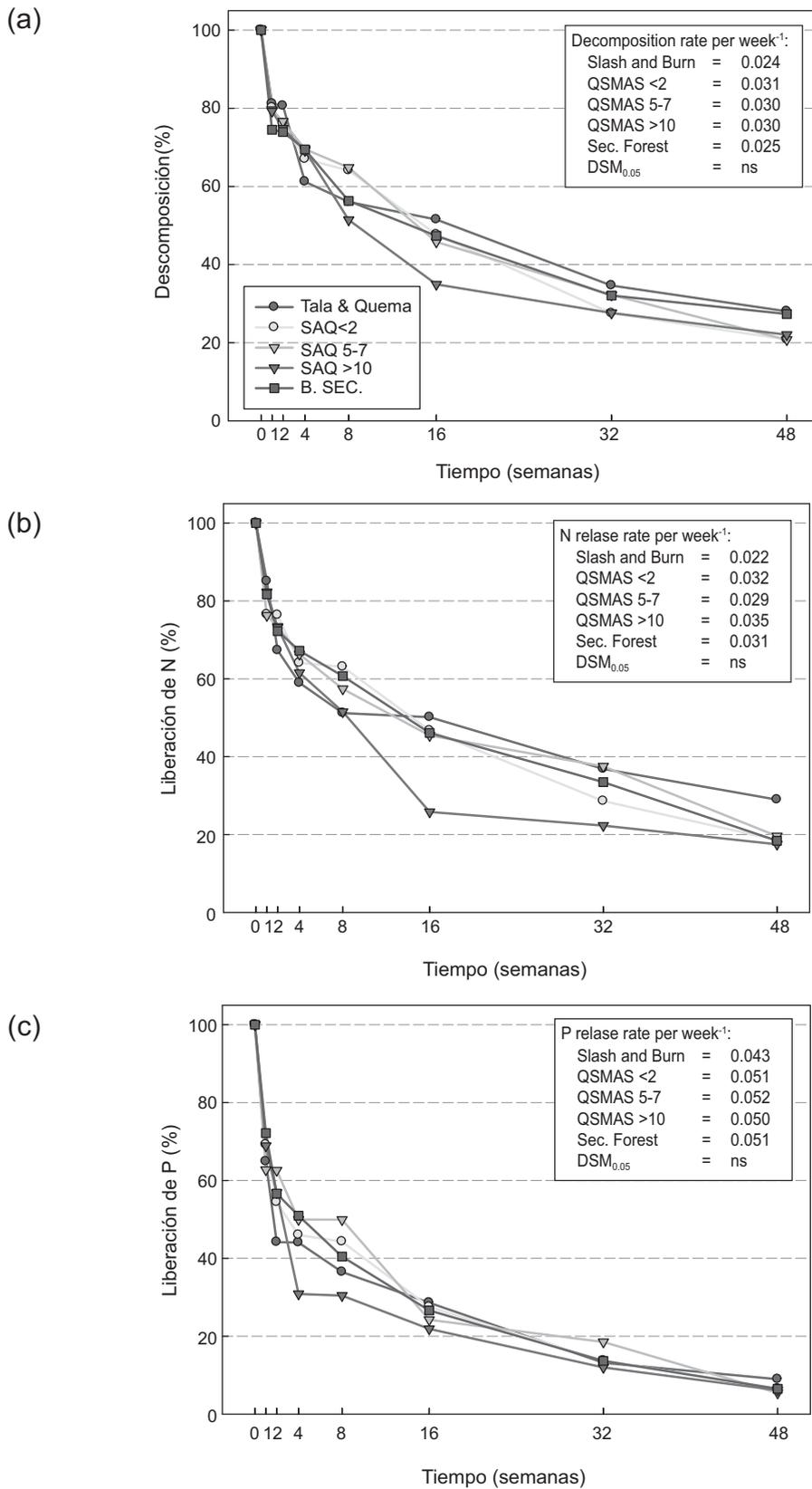
SUT y adición o no adición de fertilizantes como fuentes de variación. Según el estudio, otras fuentes de variación usadas fueron las profundidades de muestreo (mineralización de N, fraccionamiento de P y de la MOS), tiempos de lectura (descomposición) o los dos anteriores (mineralización de N). Debido a la falta de balance en el diseño del experimento por la no aplicación del tratamiento de fertilización en las parcelas con bosque secundario, las comparaciones directas específicas de mayor interés se realizaron usando Contrastes Ortogonales. Se aplicó la transformación raíz cuadrada cuando fue necesario para llenar los supuestos del ANDEVA. Todos los análisis se realizaron usando el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc, 2007).

## Resultados y discusión

Se presentan los resultados del promedio de los tres años de estudio, enfocados en la comparación de los SUT tradicionales de la región: el sistema TQ no fertilizado, el SAQ fertilizado, y el bosque secundario.

### Descomposición y liberación de nutrientes de biomasa arbórea

Los análisis estadísticos muestran que no hubo diferencias entre las tasas promedio de descomposición semanal de la biomasa arbórea depositada en el suelo en los SUT evaluados, ni en la liberación de N y P a partir de estas fuentes. La tasa de descomposición (%) fue constante en el SAQ a través del tiempo (parcelas de las tres edades) y mayor a la observada en el sistema TQ, que fue similar a la del BS (Figura 1a). La tasa de liberación de N y P (%) fue similar en las parcelas SAQ y el BS, y mayor a la observada en el sistema TQ (Figuras 1b y 1c). Estos resultados indican una actividad similar o mayor de los organismos descomponedores en el transcurso de la vida útil de las parcelas SAQ comparado con el BS, y su reducción en el sistema TQ. Estudios realizados en Candelaria por Pauli (2008) y Fonte *et al.* (2010) confirman la mayor diversidad, abundancia y actividad de la fauna del suelo (principalmente hormigas y lombrices) en el SAQ, en comparación al sistema TQ y al BS.



**Figura 1.** Promedio de descomposición (a) y liberación de nitrógeno (b) y de fósforo (c) en materiales vegetales de diversa calidad (buena, intermedia y pobre) según la relación C:N, en tres sistemas de uso de la tierra practicados en la región sur-occidental de Honduras.

### Fraciones de materia orgánica del suelo

Los análisis de datos muestran que la deposición de biomasa sobre la superficie del suelo ( $t\ ha^{-1}$ ) fue significativamente mayor en el BS y menor en el SAQ (Figura 2a). Este resultado refleja el manejo del SAQ, que incluye podas de ramas de árboles y arbustos en abril y agosto para minimizar el efecto de la sombra sobre los cultivos. Como resultado, la biomasa arbórea depositada se mineraliza durante la época de producción (entre mayo y noviembre); mientras la biomasa producida entre agosto y noviembre y depositada por senescencia era reducida al momento de los muestreos (abril). Además de la explicación anterior, el mayor contenido de biomasa en el sistema TQ comparado con el SAQ se atribuiría a la gran producción de biomasa por la alta fertilidad del suelo y a la quema reducida a partir del segundo año.

En comparación con el BS el sistema TQ mostró un ligero aumento en el contenido de MOS (%), mientras que en el SAQ este inicialmente (SAQ <2) se redujo y con el tiempo (SAQ >10) se incrementó a un nivel mayor al BS (Figura 2b). Este incremento refleja la continua deposición y mayor tasa de descomposición de biomasa vegetal en el SAQ. Con relación a las fracciones de MOS, los resultados muestran que los SUT afectaron el contenido ( $g\ kg^{-1}$  suelo) de la fracción liviana (LL) o biológicamente activa, en el orden BS > SAQ<2 > SAQ>10 > TQ > SAQ5-7 (Figura 2c). La relación inversa entre la deposición de biomasa y el tamaño de la fracción LL-MOS en los SAQ y el sistema TQ, confirma la menor actividad de organismos descomponedores por efecto de la quema.

### Mineralización del N en el suelo

Los análisis indican que el contenido total de N en el suelo ( $mg/kg$ ), clasificado de normal a ligeramente alto, fue similar entre los SUT, con tendencia a incrementarse en el SAQ a través del tiempo (Figura 3a). La mineralización de N en las muestras se midió el día 0 (contenido inicial de amonio,  $NH_4^+$ , y nitrato,  $NO_3^-$ ) y posteriormente a los 4, 8, 16 y 32 días de incubación bajo condiciones aeróbicas. El contenido inicial de nitrato y amonio fue similar en los sistemas agrícolas, pero

mientras tendió a incrementarse en el SAQ >10 hasta los 8 DDS (posible momento de la primera fertilización en el campo) se redujo por inmovilización en los otros sistemas agrícolas (Figura 3b). En general, los patrones de mineralización observados sugieren que los SUT afectarían de forma distinta el abastecimiento de N durante las primeras dos semanas después de las primeras lluvias (y por ende siembras), siendo más favorable en el SAQ >10 años, y que entre los 16 y 32 días el abastecimiento de N por mineralización sería similar entre los SUT.

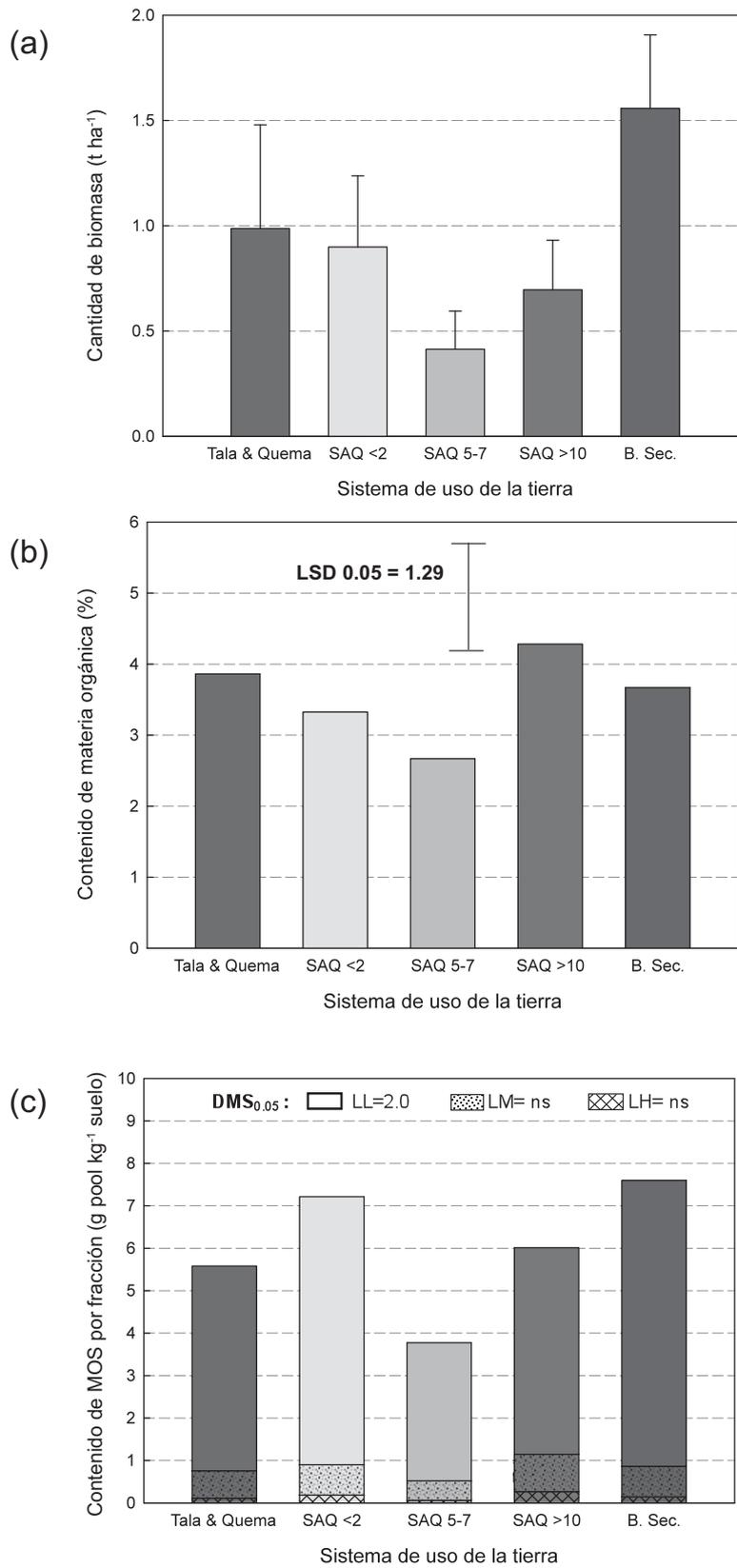
### Fraccionamiento del P en el suelo

De acuerdo con los análisis estadísticos, el contenido total de P ( $mg/kg$ ) fue similar en el sistema TQ y en SAQ >10 (Figura 4a). Aunque la conversión de BS a parcela SAQ redujo significativamente el contenido de P total (SAQ <2), este claramente tendió a incrementarse con el tiempo (SAQ 5-7 y SAQ >10). La conversión del BS a sistemas agrícolas incrementó el P disponible para los cultivos (Figura 4a). El valor mínimo observado de P disponible,  $31.9\ mg\ kg^{-1}$  en el SAQ >10, es mayor al rango de 11-15  $mg\ P/kg$  considerado adecuado para la mayoría de los cultivos tropicales por el TSBF-CIAT (datos no publicados). Un comportamiento similar al del P total se observó en las fracciones de P moderadamente disponible y P no disponible. La proporción de los reservorios orgánico e inorgánico de P fue similar entre los SUT, aunque el  $P_o$  se incrementó ligeramente en el sistema TQ con relación al BS (Figura 4b).

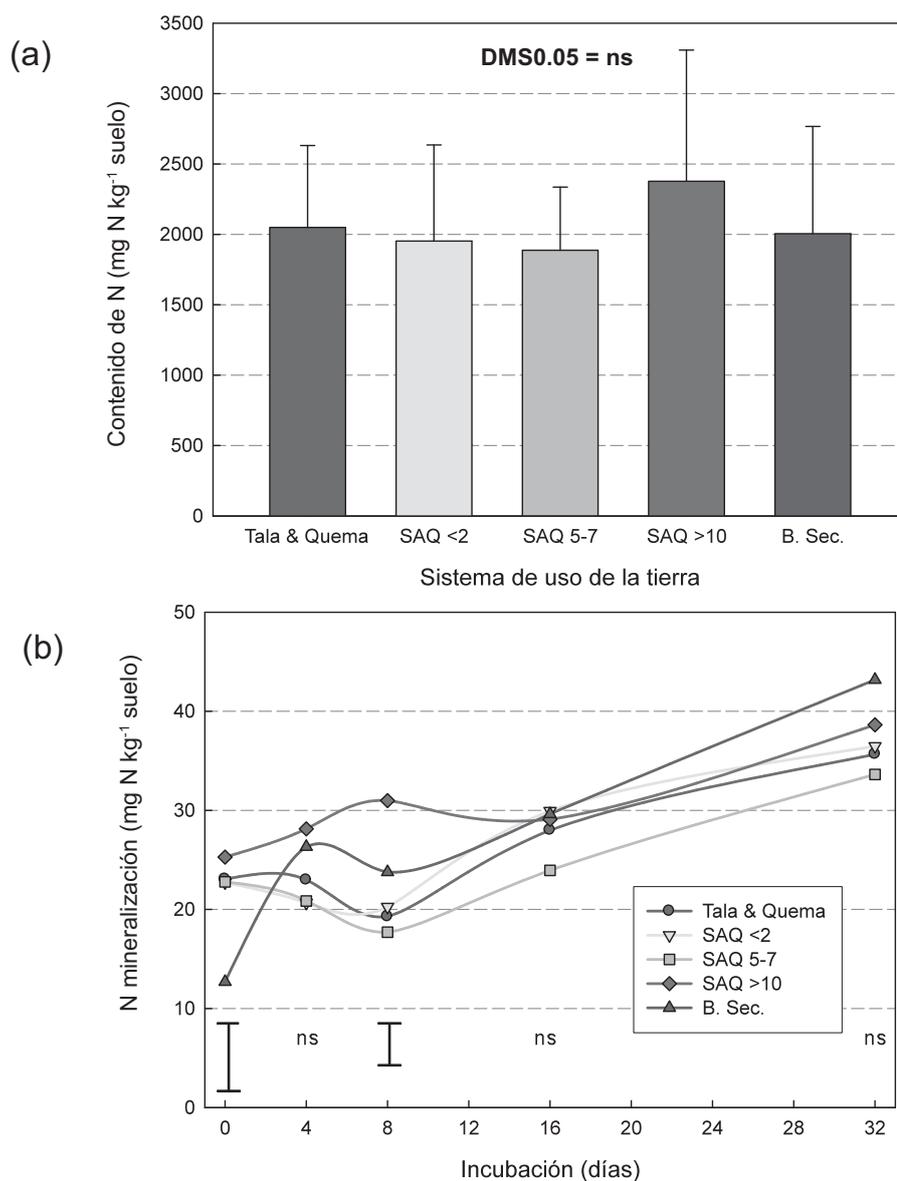
Estos resultados son similares a los obtenidos por Fonte *et al.* (2010) y confirman el valor del sistema TQ como fuente inmediata de nutrientes para la producción de cultivos al proveer mediante las cenizas una cantidad similar de P total y disponible al provisto por el SAQ. Adicionalmente refuerzan la estabilidad en los reservorios de P en el SAQ a través del tiempo, sostenidos mediante la fertilización y la adición anual de fertilizantes.

### Producción de alimentos

Con las prácticas tradicionalmente usadas para producir maíz y frijol común en el sistema TQ, donde los nutrientes se adicionan por



**Figura 2.** Cantidad de biomasa depositada sobre el suelo (a), contenido total de la materia orgánica en el suelo (b), y tamaño de las fracciones funcionales de la materia orgánica en el suelo (c) en tres sistemas de uso de la tierra practicados en la región sur-occidental de Honduras. Las barras en (a) indican desviación estándar.

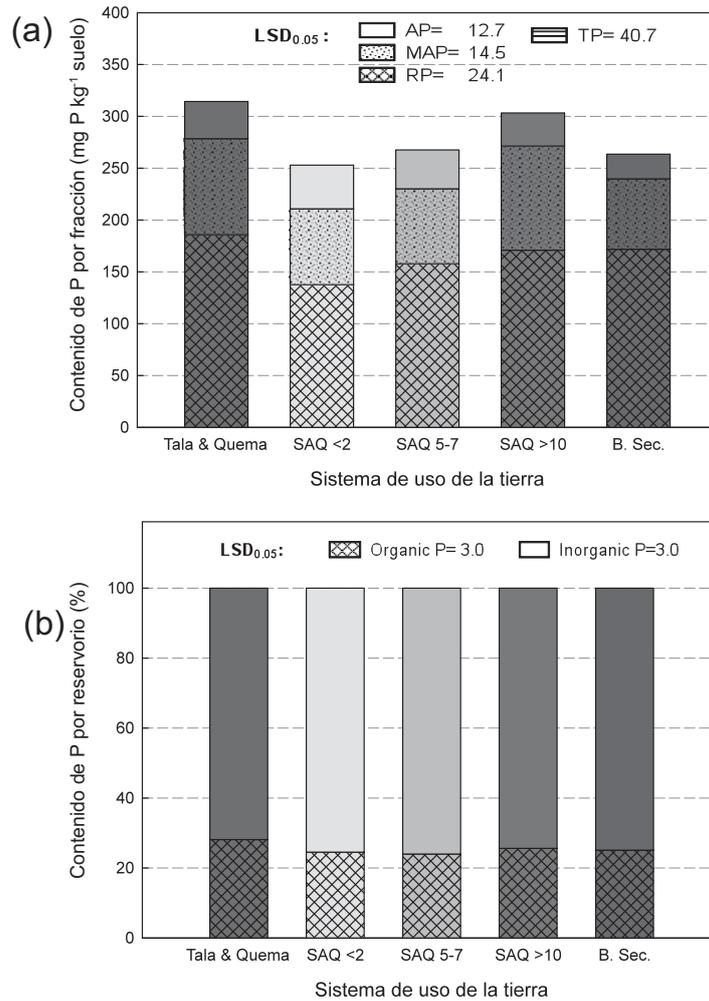


**Figura 3.** Contenido total (a) y tasa de mineralización (b) de N en el suelo en tres sistemas de uso de la tierra practicados en la región sur-occidental de Honduras. Las barras en (a) indican desviación estándar.

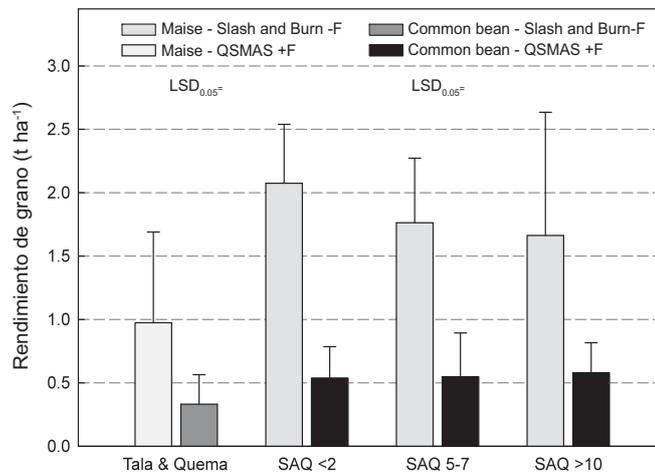
la ceniza generada por la quema, y el SAQ, en el que los nutrientes son provistos por fertilizantes inorgánicos y biomasa de árboles nativos y residuos de cultivos, los rendimientos del maíz fueron 88% mayores en el SAQ (Figura 5). Sin embargo, la productividad en este sistema tiende a reducirse con el tiempo (15% y 20% menor en el SAQ 5-7 y SAQ >10 en comparación al SAQ <2).

Los rendimientos en el frijol común en los sistemas agrícolas fueron bajos (promedio de

0.56 t/ha), lo que se atribuye principalmente al bajo potencial de rendimiento de la variedad criolla utilizada (Seda). La producción de los sistemas agrícolas no fue estadísticamente diferente, aunque en el SAQ fue en promedio 68% mayor a la del sistema TQ. A diferencia del maíz, el rendimiento del frijol se incrementó ligeramente con el tiempo de uso de las parcelas SAQ (2% en el SAQ 5-7 y 8% en el SAQ >10 en comparación al SAQ <2).



**Figura 4.** Contenido de fósforo (P) total y proporción de sus fracciones por disponibilidad (a), y proporción de los reservorios orgánico e inorgánico de P (b) en tres sistemas de uso de la tierra practicados en la región sur-occidental de Honduras. PD= P disponible; PMD= P moderadamente disponible; PR= P residual u ocluido. PT= P total (suma de las fracciones).



**Figura 5.** Rendimiento de grano de los cultivos de maíz y frijol en dos sistemas agrícolas practicados en la región sur-occidental de Honduras. La barras indican desviación estándar.

## Conclusiones

La similitud en la dinámica del N en el SAQ y el sistema TQ indica que ambos son igualmente eficientes proveyendo N, aunque en el SAQ es más bien resultado de procesos biológicos y no de una fuente acelerada a través de la quema. Comparado con el sistema TQ, los reservorios de P en el SAQ fueron ligeramente más dinámicos y favorables para la producción de cultivos. Pese a que los parámetros evaluados no reflejan mayores diferencias entre los sistemas agrícolas en estudio, la productividad del SAQ fue significativamente mayor a la del sistema TQ. Con base en la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento de grano a través del tiempo, el SAQ puede ser recomendado como una opción factible para reemplazar al sistema TQ en agroecosistemas de laderas en el trópico sub-húmedo.

## Agradecimientos

Este estudio fue parte del proyecto 'PN15: Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System (QSMAS): Improving crop water productivity, food security and resource quality in the sub-humid tropics' financiado por el Programa del Reto del Agua y la Alimentación (CPWF, en inglés) del Grupo Consultivo para la Investigación en la Agricultura (CGIAR, en inglés). Fue co-ejecutado por el CIAT, el Consorcio para el Manejo Integrado de Suelos en Centro América (Consorcio MIS); y la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. Se agradece a Juan Guillermo Cobo, Francisco José Sánchez, Edilfonso Melo y Jenny Quintero en Colombia, y a Marco Tulio Trejo, Daniel Vásquez y Odvin Ayala, en Honduras, por sus contribuciones a este trabajo.

## Referencias

Anderson, J.M; Ingram, J.S.I. (eds.). 1993. Tropical soil biology and fertility - A handbook of methods. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. 221 p.

Ayarza, M.A.; Wélchez, L.A. 2004. Drivers effecting the development and sustainability of the Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System (QSMAS) on hillsides of Honduras. In International Water Manage-

ment Institute, Comprehensive Assessment "Bright Spots" Project, Final Report, pp 187-201. Disponible en: [http://www.iwmi.cgiar.org/brightspots/PDF/Latin\\_America/QSMAS\\_Case\\_study\\_Honduras.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/brightspots/PDF/Latin_America/QSMAS_Case_study_Honduras.pdf).

Barrios, E.; Buresh, R.J.; Sprent, J.I. 1996. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biol Biochem*, 28(2):185-193.

Bocock, K.L.; Gilbert, O.J.W. 1957. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant Soil* 9:179-188.

Castro, A.; Rivera, M.; Ferreira, O.; Pavón, J.; García, E.; Amézquita, E.; Ayarza, M.; Barrios, E.; Rondón, M.; Pauli, N.; Baltodano, M. E.; Mendoza, B.; Wélchez, L. A.; Cook, S., Rubiano, J., Johnson N.; I. Rao. 2009. Quesungual slash and mulch agroforestry system improves crop water productivity in hillside agroecosystems of the sub-humid tropics. In: Increasing the productivity & sustainability of rainfed cropping systems of poor smallholder farmers. Proceedings of the CGIAR challenge program on water and food international workshop on rainfed cropping systems. E. Humphreys & R. S. Bayot (eds). A publication of CGIAR Challenge Program on Water & Food, Battaramulla, Sri Lanka, pp. 89-97.

CIAT. 2009. Quesungual slash and mulch agroforestry system (QSMAS): Improving crop water productivity, food security and resource quality in the sub-humid tropics. CPWF Project Report. Cali, Colombia. 64 p.

Cobo, J.G.; Barrios, E.; Kass, D.C.L.; Thomas, R.J. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant and Soil*, 240:331-342.

Correa Moreno, D.L. 2004. Valoración biológica de capa arable en formación en suelos de la altillanura colombiana. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Palmira, Valle, Colombia. 76 p.

Fonte, S.J.; Barrios, E.; Six, J. 2010. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system of western Honduras. *Geoderma*, 155:320-328.

- Hellin, J.; Wélchez, L.A.; Cherrett, I. 1999. The Quezungal System: an indigenous agroforestry system from western Honduras. *Agroforestry Systems* 46:229-237.
- Meijboom, F.W.; Hassink, J.; Noordwijk, M. 1995. Density fractionation of soil macroorganic matter using silica suspensions. *Soil Biol Biochem* 27:1109-1111.
- Ordóñez-Barragán, J. 2004. Main factors influencing maize production in the Quezungal agroforestry system in Southern Honduras: An exploratory study. Tesis de maestría. Wageningen University, Wageningen, Holanda, 96 p.
- Pauli, N. 2008. Environmental influences on the spatial and temporal distribution of soil macrofauna in a smallholder agriforestry system of western Honduras. Tesis doctoral. University of Western Australia, Perth, Australia. 337 p. Disponible en: <http://theses.library.uwa.edu.au/adt-WU2008.0142>.
- Phiri, S.; Barrios, E.; Rao, I.M.; Singh, B.R. 2001. Changes in soil organic matter and phosphorus fractions under planted fallows and a crop rotation system on a Colombian volcanic-ash soil. *Plant and Soil* 231:211-223.
- Tiessen, H.; Moir J.O. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. In (M.R. Carter, Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Publishers, FLA, EEUU. pp 75-86. Disponible en: <http://www.faculty.virginia.edu/tropical-ecology/Text/Laboratory%20Methods/Tiessen%20and%20Moir-Bicarb%20method.pdf>
- Wélchez, L.A.; Ayarza, M.; Amézquita, E.; Barrios, E.; Rondón, M.; Castro, A.; Rivera, M.; Rao, I.; Pavón, J.; Ferreira, O.; Valladares, D.; Sánchez, N. 2008. No-burn agricultural zones on Honduran hillsides: Better harvests, air quality, and water availability by way of improved land management. In: *Agriculture and rural development: Sustainable land management source book*, The World Bank, Washington, DC, USA, 78-82. Disponible en <http://siteresources.worldbank.org/EXTARD/Resources/336681-1215724937571/eBook.pdf>.
- Wieder, R.K.; Lang E.L. 1982. A critique of the analytic methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63:1636-1642.