

Efecto del uso de la tierra sobre indicadores de la calidad química de Inceptisoles en El Estor, Izabal, Guatemala

Erick Fernando Coc

Ingeniero Agrónomo

Personero de la Oficina de Control de Reservas Territoriales del Estado (OCRET)

Centro Universitario de Izabal. CUNIZAB.

erickcoc@gmail.com

Eddi Alejandro Vanegas Chacón

Ingeniero Agrónomo

Profesor Doctor de la Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

vanegaseddi@gmail.com

Fecha de recepción: 05/04/2015

Fecha de aceptación: 11/08/2015

Resumen

Se evaluó el uso de la tierra representado en barbecho, agricultura anual, plantaciones de hule y bosque secundario sobre la calidad química de Inceptisoles de ladera en El Estor, Izabal. Se utilizaron como indicadores, el pH, potasio y fósforo asimilables y contenido de materia orgánica en el suelo. Se utilizaron parcelas experimentales distribuidas en bloques al azar para analizar los resultados de las variables de respuesta en función de cuatro usos de la tierra (factor A) y dos profundidades de muestreo, 0-30 cm y 30-60 cm (factor B) con tres repeticiones. Los resultados indicaron que no existe efecto estadísticamente significativo del uso de la tierra sobre el pH, pero sí sobre el potasio y fósforo asimilable, así como sobre el contenido de materia orgánica. Solo hubo efecto de la profundidad de muestreo del suelo sobre el contenido de materia orgánica. Con base en el estado de los indicadores químicos del suelo, se concluye que estos agroecosistemas no están siendo manejados de forma sostenible, en términos de la calidad del suelo. Por lo que se sugiere implementar procesos conducentes a la recuperación de suelos a corto plazo, en esta región.

Palabras clave

Calidad de los suelos, fertilidad de los suelos, Usos de la tierra, Indicadores edáficos.

Abstract

The effects of land use as fallow, annual agriculture, rubber plantations and secondary forest were evaluated on the chemical quality of Inceptisoles in El Estor, Izabal. The pH, available potassium and phosphorus, and soil organic matter were quantifying as soil fertility indicators. Experimental plots distributed in randomized blocks were used to analyze the results of the response variables as a function of four land uses (factor A) and two sampling depths, 0-30 cm and 30-60 cm (factor B), with three replications. The results indicated that there is no statistically significant effect of land use on pH, does exist on the available potassium and phosphorus, as well as, on the soil organic matter. There was only effect of soil sampling depths on soil organic matter. Based on the analysis of the state of the chemical indicators, it is concluded that these agroecosystems are not being managed sustainably, in terms of soil quality. Therefore it is suggested to implement processes for land reclamation, at short term in this region.

Keywords

Soil quality, soil fertility, land uses, soil indicators

1. Introducción

El Estor, municipio de Izabal es una región caracterizada por alta movilidad demográfica y cambio de uso de la tierra, regularmente de bosque secundario a agricultura extensiva de agroexportación, situación agravada durante los últimos cincuenta años (Díaz 2015). Esta región se caracteriza por suelos Inceptisoles, poco desarrollados y susceptibles a la erosión hídrica, en principio debido a los altos regímenes de precipitación, que son del orden de 3000 mm anuales, condición topográfica y tipo de cobertura vegetal del suelo (UPIE-MAGA, 2000). Actualmente es una de las regiones afectadas por la reconcentración de tierras con fines de plantación de cultivos de agroexportación, tal como la caña de azúcar, palma africana y hule (Hurtado 2014), por lo que la sostenibilidad de estos sistemas productivos debe abordarse bajo la perspectiva de la conservación de la calidad de los suelos y el ambiente (Cantú *et al.*, 2007).

La Sociedad Estadounidense de las Ciencias del Suelo estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen *et al.*, 1997), que mucho más allá de las propiedades físicas, químicas y biológicas, reconoce funciones ecológicas y humanas de los suelos, cuantificables a través de indicadores de calidad. Indicadores presentados como listados de uso general (Doran and Parkin 1996), o bien, generados para el desarrollo agronómico local (Ferreras *et al.*, 2009, Prieto *et al.*, 2013). El monitoreo del cambio de indicadores edáficos a lo largo del tiempo determina si un agroecosistema está siendo manejado de forma sostenible o no (Shukla *et al.*, 2006).

Para evaluar la fertilidad de los suelos, García, Ramírez y Sánchez (2012) mencionan entre los indicadores químicos: el pH (indicando actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana), potasio y fósforo extraíbles (referente a la disponibilidad de nutrientes para las plantas), materia orgánica (C y N orgánico). Así mismo,

actuando conjuntamente deben considerarse indicadores físicos (Dexter 2004, Navarro *et al.*, 2008) e indicadores biológicos (Nannipieri, 2003, Ramirez, 2004).

Por lo que el objetivo principal de esta investigación es evaluar en El Estor, el efecto del uso de la tierra sobre la calidad de suelos inceptisoles de ladera utilizando parcelas experimentales con barbecho (tierras en descanso), agricultura anual (cultivo de maíz), plantaciones de hule y bosque secundario sobre la fertilidad del suelo, cuantificado a través de los indicadores químicos: pH, potasio y fósforo asimilable, y contenido de materia orgánica, con el fin de realizar un diagnóstico sobre el estado de la sostenibilidad de los diferentes agroecosistemas de esta región.

2. Revisión de literatura

2.1 Manejo sostenible

El artículo 188 de la Constitución Política de la República de Guatemala describe la relación entre el subsistema natural y el institucional, pues determina que es una obligación del Estado orientar la economía nacional con la utilización de los recursos naturales y el potencial humano para incrementar la riqueza y la equitativa distribución del ingreso nacional. De esta forma, la gestión institucional se vuelve un eje fundamental en el desarrollo sostenible de nuestro país, pues tal como lo menciona la Declaración del Milenio (ONU, 2000) en interés del futuro bienestar es importante cambiar las actuales pautas de producción y consumo de tipo insostenible. Las reservas de los recursos no renovables son finitas y éstas no precisamente asignan un límite al crecimiento, ya que los sistemas productivos se fundamentan en el incremento de la eficiencia, sustitución de insumos, o bien desarrollo de tecnologías, pero no compensan el agotamiento de los recursos naturales (Figuroa, 2013). Los ecosistemas y la humanidad dependen de las interacciones del suelo con el medio natural, pero éstas son

poco reconocidas por la sociedad, generando procesos de degradación (Cotler *et al.*, 2007). Entonces, es necesario establecer las características productivas de la tierra, para determinar su mayor y mejor uso para garantizar la sostenibilidad de los procesos productivos (Wingeyer *et al.*, 2015). Esto no es una tarea fácil, ya que a nivel mundial 60% de los ecológicos son utilizados de forma insostenible causando degradación (Goldberg, 2007), lo que repercute sobre la cobertura vegetal, teniendo un impacto significativo en la biodiversidad y la dinámica del carbono orgánico del suelo (Dorji *et al.*, 2014).

2.2 El suelo

El suelo es una fracción mineral mezclada con una amplia diversidad de fauna y flora que depende de la transformación de la materia orgánica y del ciclo geo-bio-químico de los nutrientes, es un componente junto al agua, aire y la luz solar que permiten la vida en la tierra (Volke *et al.*, 2005). El suelo se degrada directamente en relación al sobreuso, muchas veces relacionado a incrementos poblacionales, escasez de tierras para la agricultura, pobreza y variación climática (De Long *et al.*, 2015). Por lo que los procesos de investigación deben enfocarse en proporcionar información y herramientas necesarias para apoyar las políticas dirigidas al uso sostenible de la tierra y la mitigación del efecto invernadero, con la inclusión de la preservación de la materia orgánica del suelo (Cotrufo *et al.*, 2011).

2.3 Efectos del bosque en el suelo

Ridder (2010) define al bosque como "tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10%, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ". Los bosques no son un grupo de árboles solamente, sino un ecosistema conformado por otras plantas, animales que dependen de estos árboles y organismos que reciclan la materia orgánica (Cordero, 2011). Los suelos de los bosques, denominados sue-

los forestales, poseen carbono orgánico que se encuentra tanto en el estrato mineral como en la superficie (Von, 2013), conducente a la mejora en las propiedades físicas del suelo (Murray *et al.*, 2014), optimizando las tasas de descomposición potencial y conllevando a altos índices de mineralización en comparación a los bosques secundarios, agricultura o pastos (Carreño, 2013). Los bosques controlan la erosión interceptando la lluvia con sus hojas y estabilizando el suelo con sus raíces, reduciendo por ende la pérdida del suelo (Fondo Nacional del Ambiente, 2007), la evaporación es cuatro veces menor bajo los árboles que en los pastizales sin árboles (Renda, 2006), suministran agua purificada, lo que incrementa la importancia ecosistémica de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosque con regímenes altos de precipitación, agregándole a ello, las funciones anti-erosivas y la rehabilitación de la fertilidad (Conant y Fadem, 2008).

2.4 Efectos de las plantaciones forestales en el suelo

Las plantaciones forestales son el establecimiento de especies arbóreas específicas para cumplir objetivos específicos de producción, conformando una masa boscosa con un diseño y tamaño definido. Las plantaciones forestales no deben de desplazar los bosques, sino, ir de zonas cultivadas o deforestadas a plantaciones forestales, pues esto permitirá la recuperación de los suelos, la estabilización de pendientes y la implementación de actividades que promuevan la fijación de dióxido de carbono. El establecimiento de las plantaciones forestales reduce la recarga hídrica, aumenta la erosión y disminuye otros beneficios en comparación a los bosques naturales (Trujillo, 2006).

2.5 Efectos del barbecho en el suelo

El barbecho es el espacio de tierra sometida a labranza que no se cultiva durante uno o más años. El suelo no debe quedar expuesto durante el periodo de barbecho, ya que el

propósito del barbecho es regenerar el suelo (Shaxson y Barber, 2005). El barbecho es mejorado con cobertura vegetal del tipo leguminosa, reduce el periodo de recuperación de la fertilidad, aumentando el rendimiento de los cultivos (Mendieta y Rocha, 2007). La agricultura de corte y quema está asociada con el barbecho, pues los agricultores despejan sectores del bosque para cultivar, luego cuando las yerbas empiezan a competir con los cultivos, se abandona el lugar para despejar otro sector del bosque, mientras se restaura el primer lugar (Conant y Fadem, 2008). Esta última práctica cada vez es menos usada, principalmente en tierras de ladera ya que degrada rápidamente los suelos.

2.6 Efectos de la agricultura en el suelo

Si la cobertura natural es reemplazada por cultivos, se predispone a tener mayores pérdidas de suelo (Huerta, 2007), las prácticas agrícolas actuales ponen en evidencia los daños en la calidad del suelo, debido al impacto que generan los monocultivos y la falta de la biodiversidad, facilitando la erosión, el agotamiento de la materia orgánica y la pérdida de nutrientes (Wingeyer et al., 2015). La mala utilización de las técnicas agrícolas facilita la pérdida de suelo a través del laboreo excesivo y la eliminación de la cobertura vegetal, con daños al agricultor y a la sociedad (López et al., 2010). La erosión del suelo se mitiga a través del uso de prácticas de conservación o recuperación de suelos, de tipo mecánica o agronómica. Entre las prácticas agronómicas se puede mencionar cultivos de cobertura e incorporación de residuos (Baumhardt et al., 2015). La incorporación de residuos de cosechas eleva el contenido de materia orgánica en el suelo, incrementa la retención de humedad, mejora de la fertilidad, todo conducente al incremento de la productividad de los cultivos en función de la calidad del suelos (Campodonico, 2012).

2.7 La fertilidad de suelos

El suelo proporciona anclaje y nutrientes para el desarrollo de las plantas, aunque no se conocen todas sus funciones, la fertilidad generalmente se aprecia a través de los parámetros químicos principalmente los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio (García et al., 2012), aunque otras variables de respuesta químicas son: pH, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (Montenegro et al., 2009).

2.8 El pH en el suelo

El pH es el parámetro que indica la concentración de iones de hidrógeno en una escala de 0 a 14, considerando el valor de pH 7 como neutro. El contenido de materia orgánica, el fósforo y potasio asimilables disminuyen cuando el pH es ácido limitando el crecimiento y la producción agrícola (Reyes et al., 2007). El pH es regularmente ácido en los bosques, probablemente como efecto derivado de la lixiviación por alta precipitación, toxicidades de complejos de aluminio y/o deficiencia de molibdeno y características fisiológicas de las especies forestales que constituyen el bosque, en comparación con otras coberturas (Dorji et al., 2014).

2.9 La materia orgánica en el suelo

La materia orgánica es uno de los principales indicadores de calidad del suelo que influyen directamente sobre su productividad (Gelvez, 2008). El incremento de la materia orgánica genera cambios en la estructura del suelo, al aumentar la velocidad de la infiltración y mejorar la densidad aparente, porosidad total y capacidad de retención de humedad (Murray et al., 2014), además afecta el pH aumentándolo cuando el suelo es ácido y disminuyéndolo cuando éste es alcalino (Martínez et al., 2008), es decir ostenta un efecto buffer. La materia orgánica en el suelo genera un aumento en la tasa de infiltración del agua y como hecho descrito en la literatura, tiende a disminuir en

relación a la profundidad (Heredia *et al.*, 2006). El carbono orgánico del suelo es el eje principal de la actividad biológica, esencialmente como fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo (Martínez *et al.*, 2008), encontrando mayores contenidos de carbono en los bosques secundarios y riparios en comparación a las pasturas (Ibrahim *et al.*, 2007).

2.10 El fósforo en el suelo

El contenido de fósforo extraíble es un indicador de la productividad y la fertilidad del suelo y junto con el nitrógeno son determinantes en el desarrollo vegetal (Cerón y Aristizábal, 2012). En la medida que aumenta el contenido de materia orgánica se incrementa el contenido de fósforo asimilable, mismo que se ve disminuido ampliamente por el sobreuso agrícola, teniendo que ser recuperado a través de la adición de la fertilización química (Heredia *et al.*, 2006).

2.11 El potasio en el suelo

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son los macro-nutrientes que más se suministran a la agricultura campesina, es importante mencionar que una relación adecuada de nitrógeno y potasio permite un equilibrio de los procesos vegetativos y regula los desórdenes de formación de los frutos (López *et al.*, 2011).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El Estor está ubicado en el departamento de Izabal en la parte nororiental de la República de Guatemala. El área de estudio es parte de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido, con altitud media de 150 msnm, temperatura media anual de 28 °C y precipitación media anual de 3000 mm (Aguilar, 2010). Los suelos son Inceptisoles de ladera, con densidad aparente entre 0.69 a 1.14 gr/cc en los primeros 30 cm de profundidad, que se caracterizan por no estar secos en su interior por más de 90 días al año, con ade-

cuado contenido de humedad la mayor parte del año, pero requieren de aportes nutricionales con frecuencia, para hacerlos productivos (UPIE-MAGA, 2000).

3.2 Características de las parcelas

Las parcelas fueron dispuestas en el área de estudio a modo de formar bloques al azar con tres repeticiones, se escenificaron cuatro usos de la tierra: barbecho (tierras en descanso), agricultura anual (cultivo de maíz), plantaciones de hule de 6 años y bosque secundario tipo latifoliado. En total fueron doce parcelas experimentales, en las que se colectaron muestras de suelos a profundidades de 0-30 cm y 30 a 60 cm.

3.3 Variables de respuesta

En cada parcela experimental se estudiaron las variables de respuesta: pH, potasio, fósforo asimilable y contenido de materia orgánica. Muestras de suelos fueron colectadas en campo y analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se determinó pH en KCl 1 M potenciométricamente, en relación suelo-solución 1:2.5. Fósforo y potasio asimilables por los métodos de Olsen y AcNH_4 , respectivamente. La materia orgánica por oxidación, método de Walkley Black, utilizando dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

3.4 Análisis estadístico de la información

Se realizó prueba de normalidad de Lilliefors con 1% de significancia para las variables de respuesta. Los resultados fueron analizados con el programa de cómputo InfoStat versión 2014, módulo estadístico, arreglo diseño experimental en bloques completamente al azar con arreglo factorial ($A \times B = 4 \times 2$) con tres repeticiones. Donde los escenarios del uso de la tierra fueron el factor "A" y las profundidades de muestreo el factor "B". Se realizó análisis de varianza para determinar la exis-

tencia, o no, de efecto del uso de la tierra, profundidad de muestreo y uso de la tierra por profundidad, sobre cada variable de respuesta a un nivel de significancia del 5%. Para los efectos significantes se realizó prueba de igualdad de medias de Tukey a un nivel de significancia del 5%. Por último, el estado de los indicadores de calidad química del suelo se clasificó como muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, de conformidad con lo reportado por Crespo (2004).

4. Resultados y discusión

Las variables de respuestas siguieron una distribución normal de conformidad con la Prueba de Lilliefors. El cuadro 1 sintetiza los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de suelos, para cada uno de los escenarios del uso de la tierra y profundidades de muestreo de suelos, en las que se determinaron los indicadores químicos de fertilidad pH, potasio y fósforo asimilables, y materia orgánica.

Cuadro 1
Indicadores químicos de la calidad de suelos inceptisoles en El Estor, Izabal

Uso de la Tierra	Profundidad (cm)	Repetición	pH	K ₂ O mg/dm ³	P ₂ O ₅ mg/dm ³	Materia orgánica dg/dm ³
Barbecho	30	1	5.50	32.40	6.34	0.97
Agricultura anual	30	1	5.10	186.00	4.99	2.97
Plantación de hule	30	1	5.40	177.00	6.34	8.99
Bosque secundario	30	1	4.40	57.00	4.42	3.61
Barbecho	60	1	5.80	31.80	5.61	0.67
Agricultura anual	60	1	4.90	132.00	5.31	2.22
Plantación de hule	60	1	5.00	120.00	6.34	4.00
Bosque secundario	60	1	4.20	81.00	4.12	1.82
Barbecho	30	2	5.60	33.00	6.05	0.72
Agricultura anual	30	2	4.50	70.20	5.91	5.08
Plantación de hule	30	2	4.80	129.00	4.42	5.16
Bosque secundario	30	2	5.90	54.00	4.58	8.82
Barbecho	60	2	5.90	24.00	4.88	0.29
Agricultura anual	60	2	4.70	68.40	5.61	3.03
Plantación de hule	60	2	4.10	228.00	4.12	1.62
Bosque secundario	60	2	5.60	42.00	4.12	3.00
Barbecho	30	3	4.30	58.80	4.72	0.52
Agricultura anual	30	3	4.60	147.00	5.02	2.43
Plantación de hule	30	3	5.80	165.00	4.42	5.42
Bosque secundario	30	3	6.20	19.20	4.28	2.36
Barbecho	60	3	4.30	59.40	4.72	0.70
Agricultura anual	60	3	3.90	174.00	4.88	0.89
Plantación de hule	60	3	5.60	85.00	4.28	2.60
Bosque secundario	60	3	6.30	138.00	4.28	0.55

Fuente: Laboratorio de Suelos Facultad de Agronomía. Modificación propia.

Los resultados del análisis de varianza del diseño experimental con arreglo factorial 4x2 (usos de la tierra x profundidad de muestreo del suelo), indicaron que no hay efecto significativo del uso de la tierra sobre el pH del suelo. Además, puede observarse (cuadro 1) que se trata de suelos ácidos, característicos de la región, donde no se realizan enmiendas de suelos para neutralizarlos, por lo que los

agricultores lidian con implicaciones como: toxicidades de aluminio y manganeso, falta de nodulación en leguminosas, incremento de enfermedades, deficiencias de calcio y magnesio (Adams, 1984). Se determinó que existe efecto estadísticamente significativo del uso de la tierra sobre el potasio, fósforo y materia orgánica (cuadro 2). Así mismo, el estado de los indicadores se clasificó según Crespo (2004).

Cuadro 2
Efecto del uso de la tierra sobre los indicadores potasio, fósforo y materia orgánica, en suelos inceptisoles de El Estor, Izabal.

Uso de la tierra	Potasio mg/dm ³	Estado**	Fósforo mg/dm ³	Estado	Materia orgánica dg/dm ³	Estado
Barbecho	39.90 C*	Muy bajo	5.39 A*	Muy bajo	0.64 B*	Muy bajo
Agricultura anual	129.60 A B*	Bajo	5.29 A B*	Muy bajo	2.77 A B*	Bajo
Plantación de hule	150.67 A*	Bajo	4.99 A B*	Muy bajo	4.63 A*	Medio
Bosque secundario	65.20 B C*	Muy bajo	4.30 B*	Muy bajo	3.36 A*	Medio

Fuente: Elaboración propia

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

**Estado según la clasificación de Crespo (2004)

Puede observarse en el cuadro 2, que los valores de potasio y fósforo asimilable son en su mayoría muy bajos y bajos, lo que indica que estos sistemas ya dejaron de manejarse de una forma sostenible respecto a la calidad del suelo. En las áreas con plantaciones de hule y agricultura anual (cultivo de maíz) se registraron los mayores valores, debido a que son áreas bajo manejo agrícola. En lo que se refiere a los contenidos de materia orgánica se observaron valores de muy bajo a medios, lo que nuevamente indica la insostenibilidad de estos agroecosistemas. En las áreas con bosque secundario y plantaciones de hule, se observaron los mayores contenidos de materia orgánica, seguidos por las áreas con agricultura y por último aquellas con barbecho. Lo anterior está relacionado con la cobertura vegetal de los suelos y la dinámica de los ciclos geobioquímicos generados en cada agroecosistema a partir de los usos de la tierra.

Sin duda los cambios de uso de la tierra afectan directamente los contenidos de materia orgánica del suelo debido a que una parte de la biomasa producida es exportada con la cosecha y otra parte descompuesta por la perturbación física, o por barbecho (Poeplau *et al.* 2011, Duval *et al.* 2013). Existen registros que indican que los cambios de uso de bosques secundarios a plantaciones de hule en el sureste de China conllevaron a pérdidas de 37.4 ± 4.7 MgC/ha a una profundidad de 1.2 m durante 46 años, equivalente al $19.3 \pm 2.7\%$ del carbono almacenado en el suelo en bosques secundarios (De Blécourt *et al.* 2013); cambios en los procesos de la mineralización de las formas nitrogenadas de la materia orgánica produciendo diferenciales en las cantidades de NH_4^+ y NO_3^- (Hongmei 2012), y mayores tasas de erosión estimadas en razón del doble entre plantaciones de hule y bosque

secundario (Wenjie et al. 2015). Por lo que es necesario considerar, que las plantaciones en monocultivo puedan contribuir a la recuperación de tierras, siempre y cuando, se establezcan en tierras degradadas, dando prioridad a las especies nativas sobre las exóticas (Sang et al. 2013, Bremer and Farley 2010). Adicionalmente, el análisis de varianza indicó efecto estadísticamente significativo de la profundidad de muestreo sobre el contenido de materia orgánica en el suelo (cuadro 3), indicando que a mayor profundidad menor será el contenido de materia orgánica, hecho ampliamente reportado en la literatura (Heredia et al. 2006, Dorji, Odeh and Field, 2014).

Cuadro 3

Efecto de la profundidad de muestreo del suelo sobre el contenido de materia orgánica en suelos inceptisoles de El Estor, Izabal

Profundidad (cm)	Materia orgánica dg/dm ³
0 - 30	3.92 A *
30 - 60	1.78 B *

Fuente: Elaboración propia

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

5. Conclusiones y Recomendaciones

- 1) Los usos de la tierra evaluados a través de los indicadores químicos de la calidad edáfica indican que los agroecosistemas estudiados no son sostenibles, en términos de calidad del suelo, conllevando a la degradación de los Inceptisoles de El Estor a corto plazo.
- 2) No existió efecto del uso de la tierra sobre el pH de los suelos. Si lo hay, sobre el potasio y fósforo asimilable. Los agroecosistemas con plantaciones de hule y cultivo de maíz presentaron los mayores valores de potasio (150.67 y 129.60

mg/dm³) y fósforo asimilable (4.99 y 5.29 mg/dm³), respectivamente.

- 3) Existió efecto del uso de la tierra sobre el contenido de materia orgánica; los agroecosistemas con bosque secundario y plantaciones de hule presentaron los mayores contenidos de materia orgánica con 3.36 y 4.63 dg/dm³, respectivamente.
- 4) Existió efecto de la profundidad de muestreo del suelo sobre el contenido de materia orgánica, determinando que a mayor profundidad menor contenido de materia orgánica.
- 5) Es necesario implementar a corto plazo en los agroecosistemas estudiados, técnicas y programas de recuperación de suelos, que viabilicen la sostenibilidad de la calidad edáfica: en barbecho (incorporación de abonos verdes), agricultura anual (asocio de cultivos), plantaciones de hule (mantenimiento de la cobertura del suelo), y preservación e inclusión de especies nativas en el bosque secundario.

6. Referencias bibliográficas

- Adams, F. (ed.) (1984). *Soil acidity and liming*. 2nd edn Second edition. ASA-CSSA-SSA. Madison: Wisconsin.
- Aguilar, M., Aguilar, J. and Aguilar, J.M. (2010). *Ecosistemas de Guatemala: un enfoque por zonas de vida*. Guatemala: Don Bosco.
- Baumhardt, R. L., Stewart, B. A. y Sainju, U. (2015). "North American soil degradation: processes, practices, and mitigating strategies". *Sustainability* (7), 2936-2960.
- Bremer, L. and Farley, K. (2010). "Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness". *Biodiversity and Conservation* 19(14), 3893-3915.

- Campodonico, F. (2012). Evaluación de rendimientos de maíz en función de distintas densidades de siembra en el partido de Lima, Provincia de Buenos Aires. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias - Buenos Aires, AG.
- Carreño, G. (2013). Linking land-use intensification, plant communities and ecosystem processes in lowland Bolivia. Tesis Doctoral. Universidad de Wageningen - Wageningen, NL.
- Cerón, L. y Aristizábal, F. (2012). "Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos". *Revista colombiana de Biotecnología* 14(1), 285-295.
- Crespo, G. (2004). "Comportamiento y perspectivas de los métodos de evaluación y control de la fertilidad de los suelos". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 38 (3), 227-234.
- Conant, J. y Fadem, P. (2008). Guía comunitaria para la salud ambiental. California, EE UU: Hesperian.
- Cordero, A. (2011). "Cuando los árboles no dejan ver el bosque: efecto de los monocultivos forestales en la conservación de la biodiversidad". *Acta Biológica Colombiana* 16(2), 247-268.
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñonez, L. (2007). "La Conservación de Suelos: interés público". *Gaceta ecológica* (83), 5-71.
- Cotrufo, F., Conant, R. y Paustian, K. (2011). "Soil organic matter dynamics: land use, management and global change". *Plant and Soil* (338), 1-3.
- De Blécourt, M., Brumme, R., Xu, J., Corre, M. and Veldkamp, E. (2013). "Soil Carbon Stocks Decrease following Conversion of Secondary Forests to Rubber (*Hevea brasiliensis*) Plantations". *PLOS ONE* 8 (7), e69357.
- De Long, C., Cruse, R. y Wiener, J. (2015). "The soil degradation paradox: compromising our resources when we need them the most". *Sustainability* (7), 866-879.
- Dexter, A. (2004). "Soil physical quality. Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth". *Geoderma* 120 (3-4), 201-214.
- Díaz, M. (2015). *Evaluación y Valoración de Tierras Rurales en el Marco de las Políticas Agrarias de Guatemala*. Tesis Doctoral. DOCINADE Universidad Nacional de Costa Rica – Costa Rica.
- Doran, J. and Parkin, T. (1996). *Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In Methods for assessing Soil quality*. Wisconsin, USA: SSSA Special Publication N° 49.
- Dorji, T., Odeh, I. and Field, D. (2014). "Vertical Distribution of Soil Organic Carbon Density in Relation to Land Use/Cover, Altitude and Slope Aspect in the Eastern Himalayas". *Land* 3(4), 1232-1250.
- Duval, M., Galantini, J., Iglesias, J., Canelo, S., Martinez, J. and Wall, L. (2013) "Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems". *Soil and Tillage Research* 131, 11-19.
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V. and Beltran, C. (2009). "Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos". *Ciencias del Suelo (Argentina)* 27(1), 103-114.
- Figueroa, A. (2013). "Crecimiento económico y medio ambiente". *Revista CEPAL* (109), 29-42.

- Fondo Nacional del Ambiente. (2007). Guía práctica para la instalación y manejo de plantaciones forestales. Lima, Perú: FONAM.
- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). "Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso". *Pastos y Forrajes* 35 (2), 125-138, 2012.
- Gelvez, I. (2008). Efecto del uso del suelo sobre la descomposición de hojarasca y grupos funcionales microbianos (cuenca del río La Vieja, Quindío). Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias - Bogotá, CO.
- Goldberg, J. (2007). Valoración económica de las cuencas hidrográficas. Guatemala: Departamento de Desarrollo Sostenible-Organización de los Estados Americanos.
- Heredia, O., Giuffre, L., Gorleri, F., and Conti, M. (2006). "Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra". *Ciencias del Suelo (Argentina)* 24 (2), 109-114.
- Huerta, J. (2007). Efecto de la cobertura vegetal y raíces en la erosión del suelo. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Postgrado de Hidrociencias - Montecillo, MX.
- Hongmei, L., Youxin, M., Wenjie, L., and Wenjun, L. (2012). "Soil Changes Induced by Rubber and Tea Plantation Establishment: Comparison with Tropical Rain Forest Soil in Xishuangbanna, S.W. China". *Environmental Management* 50 (5), 837-848.
- Hurtado, L. (2014). *La histórica disputa de las tierras del valle del Polochic: estudio sobre la propiedad agraria*. Guatemala: Serviprensa.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F. y Rojas, J. (2007). "Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua". *Agroforestería en las Américas* (45), 27-36.
- Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R. and Schuman, G. (1997). "Soil quality: A concept, definition and framework for evaluation". *Soil Science Society of America Journal* 61(1), 4-10.
- Lilburne, I., Saprling, G. and Schipper, L. (2004). "Soil quality monitoring in New Zealand development of an interpretative framework". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104 (3), 533-544.
- López, P. P., Cano, A. y Rodríguez, G. (2011). "Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico". *Tecnociencia Chihuahua* 5(2), 98-104.
- Martínez, E., Fuentes, J. P. y Acevedo, E. (2008). "Carbono orgánico y propiedades del suelo". *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8(1), 68-96.
- Mendieta, M. y Rocha, R. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Managua, NI: Universidad Nacional Agraria.
- Montenegro, G., Fredes, C., Mejias, E., Bonomelli, C. y Olivares, L. (2009). "Contenido de metales pesados en suelos cercanos a un relave cuprífero chileno". *Agrociencia* (43), 427-435.
- Murray, R., Orozco, M., Hernández, A., Lemus, C. y Nájera, O. (2014) "El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo". *Avances en investigación agropecuaria* 1(18), 23-31.
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M., Landi, L., Pietramellara, G. and Renella, G. (2003). "Microbial diversity and soil

- functions". *European Journal of Soil Science* 54(4), 655-670.
- Navarro, A., Figueroa, B., Martínez, M., González, F. and Osuna, E. (2008). "Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos". *Agricultura Técnica en México* 34 (2), 151-158.
- Organización de las Naciones Unidas, (2000). Declaración del Milenio. Asamblea de las Naciones Unidas. Nueva York. ONU.
- Poepflau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J. and Gensior, A. (2011). "Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone-carbon response functions as a model approach". *Global Change Biology* 17(7), 2415-2427.
- Prieto, J., Prieto, F., Acevedo, O. and Méndez, M. (2013). "Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebadores del sur del Estado de Hidalgo, México". *Agronomía Mesoamericana* 24(1), 83-91.
- Ramírez, M. (2004). *Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos*. "En Primer Taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo". Palmira, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Renda, A. (2006). "Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba". *Pastos y Forrajes* 29(4), 351.
- Reyes, A., Ciaro, P., Machado, J., Fundora, O., Ríos, C., Nanes, A., y otros. (2007). "Efecto de los diferentes sistemas agroforestales sobre algunos indicadores de la fertilidad de un suelo ferralítico rojo amarillento lixiviado de Topes de Collantes". *Centro Agrícola* 34(3), 5-9.
- Ridder, R. (2010) Global forest resources assessment 2010 options and recommendations for a global remote sensing survey of forests. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Forestry Department.
- Sang, P., Lamb, D., Bonner, M. and Schmidt, S. (2013). "Carbon sequestration and soil fertility of tropical tree plantations and secondary forest established on degraded land". *Plant and Soil* 362 (1-2), 187-200.
- Shaxson, F. y Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: el significado de la porosidad del suelo. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.
- Shukla, M., Lal, R. and Ebinger, M. (2006). "Determining soil quality indicators by factor analysis". *Soil Tillage and Research* 87, 194-204.
- Trujillo, E. (2006). "Plantación Forestal: planeación para el éxito". *Revista El Mueble y la Madera* (57), 21-29.
- UPIE-MAGA. Unidad de Políticas e Información Estratégica-Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (2000) *Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000*. Guatemala: MAGA.
- Volke, T., Velasco, J. y De la Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. 1era edn. México: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- Von, A. (2013). Contenidos de materia orgánica y condición física de un Kandiuult de Misiones bajo diferentes sistemas de preparación del terreno forestal y bosque

nativo. Tesis de maestría. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía - Buenos Aires, AG.

Wenjie, L., Qinpu, L., Jintao, L., Pingyuan, W., Hongjian, L., Wenyao, L., and Hongmei, L. (2015) "The effects of conversion of tropical rainforest to rubber planta-

tion on splash erosion in Xishuangbanna, S.W. China". *Hydrology Research* 46(1), 168-174.

Wingeyer, A., Amado, T., Pérez, M., Studdert, G., Perdomo, C., García, F., y otros. (2015) "Soil quality impacts of current South American agricultural practices". *Sustainability* (7), 2213-2242.