



VARIACIONES EN ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO POR EL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA, EN LAS PARTES MEDIA Y BAJA DE LA MICROCUENCA MEMBRILLO, MANABÍ, ECUADOR

Variations in some soil properties because of the land use change in the middle and low parts of the Membrillo micro-watershed, Manabi, Ecuador

Alberto Hernández Jiménez¹✉, Leonardo Vera Macías², Carlos A. Naveda Basurto³, Ángel M. Guzmán Cedeño^{2,4}, Marco Vivar Arrieta³, Teódulo Roberto Zambrano², Freddy Mesías Gallo², Katty Ormanza², Rolando V. León Aguilar⁵ y Geoconda A. López Alava²

ABSTRACT. The land use change, principally the change from forest lands to cultivated ones, is one of the practices that have the highest impact in soil degradation in the World and, besides, provoke a great deal of CO₂ emission to the atmosphere. So that is necessary to evaluate these changes that occur in soils properties in different ecosystems, to take the appropriate conservation measures and improve soil management. In this paper, for a first time, the change of some soil properties due to land use change is studied, from the lowest and middle part of Membrillo micro-watershed in Manabí province, Ecuador. This micro-watershed has a hilly to premontian relief where primary and secondary forests, cocoa plantations and lands under maize cultivation are predominant, in the lowest part. The soils are Phaeozems, Cambisols and Fluvisols. In this paper we present the results obtained related to changes on soil morphological characteristics (color, structure and the A y B horizon thickness), organic carbon lost and the change on volume density, provoked by land use change.

RESUMEN. El cambio de uso de la tierra, sobre todo el de tierras forestales a tierras cultivadas, es una de las prácticas que mayor impacto ha tenido en la degradación de los suelos en el Mundo y que ha provocado en gran parte la emisión de CO₂ a la atmósfera. Por esto se hace necesario evaluar las transformaciones que ocurren en las propiedades edafológicas, por el cambio de uso de los suelos, en los diferentes ecosistemas para de esta forma tomar las medidas adecuadas para su mejoramiento y conservación. En este trabajo, se estudian las variaciones de algunas propiedades de los suelos de las partes medias y bajas de la microcuenca Membrillo (provincia Manabí, Ecuador). Esta microcuenca presenta un relieve alomado, premontañoso, en la cual predominan bosques primarios y secundarios y plantaciones de cacao, pastizales y cultivos como el maíz en su parte baja. Los suelos son Feozems, Cambisoles y Fluvisoles y se presentan los resultados sobre cambios en sus características morfológicas (color, tipo de estructura, espesor de los horizontes A y B), las pérdidas de carbono orgánico y en la densidad aparente del suelo, provocado por el cambio de uso de la tierra.

Key words: soil degradation, organic carbon

Palabras clave: degradación del suelo, carbono orgánico

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Gaveta postal No.1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. (ESPAM MFL). Campus Politécnico El Limón, km 2,7 vía Calceta – Morro – El Limón Sector La Pastora. Manabí, Ecuador

³ Especialista del proyecto Gestión Integral para el Manejo Sostenible de la Microcuenca Membrillo de la provincia de Manabí, Ecuador

⁴ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, vía San Mateo, km 1 1/2

⁵ Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Ministerio de Educación Superior (MES) Cuba

✉ ahj@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

Está demostrado que con la actividad del hombre en la producción de alimentos, los suelos cambian en sus propiedades. El surgimiento y desarrollo de la agricultura y su incremento con la aplicación de riego, mecanización y quimización, provoca el cambio de las propiedades del suelo. Estos cambios muchas veces silenciosos, conllevan a que el suelo se degrade y pierda capacidad de producir alimentos (agroproduktividad), siendo más acentuado en las regiones onduladas y alomadas por el surgimiento del proceso de la erosión.

Con el surgimiento de la Revolución Verde en la Agricultura después de la Segunda Guerra Mundial, se incrementaron estos procesos de degradación de los suelos. Se demostró que en el mundo los suelos han tenido una degradación de 17 % en el período de 1945-1990, contra solamente un 6 % en el período de 1900-1945 (1). A partir de aquí surgen los conceptos de agricultura sostenible, agricultura orgánica, etc.

Estos cambios de las propiedades de los suelos vienen siendo estudiados con más detalle después de la presentación de estos resultados en el año 1990 (1), e incluso hoy día se incorpora como un elemento de clasificación de suelos tanto en clasificaciones mundiales como nacionales.

En los últimos años se ha propuesto la siguiente clasificación de los cambios antropogénicos del suelo ordenados por el grado de transformación (2):

- ◆ Transformación de la capa superficial del suelo.
- ◆ Cambio de algunos horizontes del suelo.
- ◆ Cambio del nivel taxonómico del suelo.
- ◆ Perturbación profunda del perfil.
- ◆ Formación del material parental antropogénico.
- ◆ Cambio total del paisaje.

La influencia agrícola en las transformaciones de las propiedades de los suelos debe ser considerado hoy en día como una de las causas principales de las transformaciones que ocurren en los suelos (3). Recientemente se muestran las variaciones que tienen lugar en las propiedades de los Ferralíticos Rojos Lixiviados formados de roca caliza dura miocénica, por la acción del cultivo continuado durante muchos años, e incluso su posible sinergia con el cambio climático (4, 5).

Actualmente, los suelos transformados por el hombre se reconocen como taxones particulares en casi todas las clasificaciones edáficas (6, 7). Para los suelos agrícolas la clasificación se complica porque hay que considerar los indicadores de las propiedades que el suelo adquiere por formación agrogénica, y después su intensidad, ya que pueden haber estadios intermedios. Estas ideas se aplican en sus versiones más elaboradas, en primer lugar, la más completa en esta dirección, la clasificación de suelos de Rusia (8) también la clasificación del World Reference Base (9), y la de China (10).

Incluso en la reciente clasificación de suelos de Cuba 2015, se aplican los términos agrogénicos y erogénicos para separar subtipos de suelos que se forman por la acción antrópica (11).

Siguiendo esta línea de trabajo, se plantea que estos cambios son más acentuados en las regiones tropicales, siendo la estructura del suelo una de las propiedades que más rápido cambia (12). Teniendo en cuenta estas premisas, en un trabajo anterior (13) se presentaron por primera vez las características de los suelos (Feozem, Cambisol y Fluvisol) de las regiones medias y bajas de la microcuenca Membrillo, provincia Manabí, Ecuador. El propósito del presente trabajo es mostrar cómo algunas de las propiedades de los principales suelos de la región han cambiado por el cultivo continuado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron varios sitios en la Parroquia Membrillo, bajo diferentes formas de uso. De estos sitios se estudiaron diez perfiles de suelos, con algunos muestreos de la capa de 0-20 cm dentro de las áreas estudiadas. La relación de los perfiles estudiados y su uso es la siguiente:

- ◆ Suelos bajo bosques (primario y secundario): 2 perfiles (F-5 y F-8).
- ◆ Suelos bajo plantación de cacao (*Theobroma cacao*): 4 perfiles (F-2, de 100 años; F-3, de 30 años; F-10 de 3 años y F-6 de 1 año).
- ◆ Suelos bajo pastizales (sacasebo; *Paspalum notatum*): 2 perfiles (F-7, yerba guinea de más de 20 años; F-4, potrero natural actualmente, con sobrepastoreo).
- ◆ Suelos bajo cultivo de maíz durante 7 años (*Zea mays*): 2 perfiles (maíz de 45 días con mejoramiento y riego y maíz con 30 días).

Se realiza la descripción de los perfiles de suelos utilizando en cada caso la clasificación del World Reference Base (9) y se aplica también la Taxonomía Norteamericana de los Suelos (14).

Los análisis de suelos se realizaron en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica Agrícola de Manabí "Manuel Félix López" (ESPAM MFL), mediante los siguientes métodos:

- ◆ Humedad por medio de la estufa, a 105 °C, hasta peso constante.
- ◆ Densidad de volumen por el método de los cilindros (de 100 cc) en el campo.
- ◆ Materia orgánica por el método de Walkley & Black (15). El Límite Superior de la Humedad Productiva se determinó en laboratorio por la prensa Richards.

El contenido del carbono se calcula dividiendo el contenido en materia orgánica entre 1,724 y sus reservas multiplicando el porcentaje de carbono por la densidad de volumen y el espesor del horizonte. En este caso se determina para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm para que los valores sean comparables.

El riego se realizó por medio empírico, deduciendo el Límite Superior de la Humedad Productiva (LSHP, antes vinculada con la Capacidad de Campo) por la humedad actual y el tipo de suelo, estableciendo como Límite Inferior de la Humedad Productiva un 75 % del LSHP. Las normas se establecen para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por las condiciones naturales de formación de suelos, en la región bajo bosques primarios, es de suelos con fuerte acumulación de materia orgánica (humificación), que daría lugar a la formación de Feozems (según la clasificación de suelos del World Reference Base, (WRB) o de Molisoles (según la clasificación de la Taxonomía norteamericana de suelos) y en las partes formadas de sedimentos de Fluvisoles o Fluvents (por estas clasificaciones respectivamente). Sin embargo, debido a la actividad antropogénica parte de los suelos Feozems se han degradado y han dado lugar a Cambisoles (según la clasificación WRB); (Inceptisoles por la Taxonomía norteamericana de suelos).

En resumen, en los perfiles de suelos, se encontraron tres Grupos Referenciales de Suelos: Feozems, Cambisoles y Fluvisoles. En la Tabla I se muestra la clasificación de estos suelos por los dos sistemas de clasificación mundial (WRB y Soil Taxonomy).

Tabla I. Clasificación de los suelos estudiados por los sistemas del World Reference Base (WRB) y Soil Taxonomy

No. de Perfil	Clasificación según el WRB	Clasificación según Soil Taxonomy
F-1	Fluvisol mólico, vértico (éutrico, endoarcílico)	Mollic Udifluent
F-2	Feozem lúvico	Typic Hapludoll
F-3	Feozem lúvico (endoarcílico)	Typic Hapludoll
F-4	Cambisol háplico (éutrico, esquelético)	Typic Haplanthrept
F-5	Feozem vértico, lúvico (endoarcílico)	Vertic Hapludoll
F-6	Cambisol háplico (éutrico)	Typic Haplanthrept
F-7	Feozem gléyico, lúvico (ántrico, endoarcílico)	Aquic Hapludoll
F-8	Fluvisol mólico (ántrico, éutrico esquelético)	Typic Hapludoll
F-9	Fluvisol mólico (ántrico, éutrico esquelético)	Typic Udifluent
F-10	Feozem lúvico (ántrico, endoarcílico)	Typic Hapludoll

Independientemente del Grupo Referencial de Suelo (GRS), se presentan variaciones en sus propiedades por el cambio de uso del mismo. Estos se manifiestan principalmente en aquellas propiedades que cambian en un tiempo relativamente corto, como son: sus características morfológicas (espesor del suelo, color, estructura), y en otras propiedades físicas y químicas (en la densidad aparente o densidad de volumen), en el pH y contenido en materia orgánica y las reservas de carbono del suelo.

CAMBIOS EN ALGUNAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL SUELO

El cambio de las propiedades morfológicas de los suelos por el cultivo, está planteado en varias publicaciones. Según diversos investigadores (3, 12), resulta de los primeros cambios apreciables que ocurren en las propiedades del suelo por el cultivo intensivo; siendo más marcado en los relieves inestables (ondulado, alomado, montañoso), debido al proceso erosivo.

En la Tabla II se muestran las características morfológicas del suelo, en los diferentes perfiles de suelos agrupados por el uso actual.

El horizonte superior húmico acumulativo de cualquier suelo representa la parte más importante del perfil, ya que el gran porcentaje de las raíces de las plantas se desarrollan en esta parte y además es el más rico por la biodiversidad que puede presentar. En los resultados que se muestran se puede observar que en suelos Feozems bajo bosques el espesor del horizonte A puede alcanzar alrededor de 80 cm, que expresa por sí solo la calidad de estos suelos, que si en algún momento se ponen bajo cultivo o pastizales debe buscarse por todos los medios de mantener ese espesor al menos en 50 cm.

Para el caso de suelos Feozems bajo plantación de cacao de muchos años se aprecia que el espesor del horizonte A es menor, oscilando alrededor de los 40 cm, lo cual pudiera haber sido provocado por la posible utilización de estos suelos con otros tipos de cultivos como precedentes al cacao, lo cual puede tender a disminuir este espesor.

Para los suelos bajo cacao de pocos años (perfiles F-10 y F-6), se encontró que el espesor del horizonte A estaba reducido a 28 cm como promedio. Este comportamiento pudiera inferirse que es debido a que estos suelos en años anteriores estuvieron cultivados con manifestación de procesos de erosión, más fuerte en el perfil F-6 que llevó a transformarlo en Cambisol. En este caso es muy apropiado su empleo bajo cacao ya que en el tiempo puede lograr restablecer la profundidad del horizonte A, incluso a transformar el Cambisol en Feozem nuevamente.

En los suelos bajo pastizales, los dos perfiles mostraron degradación, el F-4 por erosión muy fuerte y el F-7 por sobrepastoreo.

Tabla II. Características morfológicas de los perfiles estudiados en condiciones de uso actual

Uso de la tierra	Grupo de suelo	No. Perfil	Media Espesor horiz, A+B (cm)	Pérdida en cm y en (%)	Color del hor. A por Tabla Munsell	Estructura del horizonte A
Bosque primario	Feozems	F-5	70+ 94=84	---	Negro, pardo grisáceo muy oscuro, pardo muy oscuro	Granular y bloques subangulares que se desmenuzan en granular
Bosque secundario		F-8				
Cacao de muchos años (30-50)	Feozems	F-2 F-3	30+48= 39	45 cm (46,4 %)	Pardo muy oscuro, negro	Granular, Bloques subangulares que pasan a granular
Cacao de pocos años (menos de 19)	Feozem Cambisol	F-10 F-6	45+11= 28	56 cm (66,7 %)	Pardo muy oscuro	Bloques subangulares y bloques angulares
Pastizales con sobrepastoreo	Cambisol Feozem	F-4 F-7	5+45= 25	59 cm (70,2 %)	Pardo muy oscuro a pardo oscuro	Bloques angulares y bloques subangulares
Maíz	Fluvisoles	F-1 F-9	25+37= 31	53 (63,1 %)	Gris muy oscuro, pardo muy oscuro	Granular, poliédrica, bloques subangulares

En ambos casos el espesor del suelo, como promedio no sobrepasa los 25 cm. En estos suelos hay que lograr establecer medidas de conservación y sobre todo evitar el sobrepastoreo específicamente en el caso del perfil F-7 bajo pasto de saboya o yerba guinea (*Panicum máximum*) de 20 años.

En el caso de los suelos de las partes bajas Fluvisoles (perfiles F-1 y F-9), el cultivo continuado en ellos tiene un promedio de 30 cm del horizonte A, que debe conservarse sobre todo con las prácticas actuales de agricultura orgánica que comienzan a introducirse en la región.

CAMBIOS EN LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

Esta es una propiedad a la cual se viene prestando atención actualmente; por una parte, un buen contenido en materia orgánica del suelo y por tanto en sus reservas de carbono orgánico, implica que el suelo tiene buena estructura, buen contenido en nutrientes y valores de densidad, porosidad y almacén de agua, muy adecuados para los cultivos (4); y por otra, tiene una importancia de actualidad en los problemas de captura y secuestro de carbono con relación al calentamiento global de la atmósfera (5, 16). Se ha estimado que las reservas de carbono orgánico del suelo constituyen las dos terceras partes de las reservas de carbono terrestre (17).

Por lo anterior, hoy día se trata de capturar carbono por el suelo, ya sea con prácticas agrícolas adecuadas o con adición de materiales orgánicos (18–20), buscando de esta forma tecnologías adecuadas de manejo del suelo, que mantengan un contenido alto de carbono en el mismo (21, 22).

En la Tabla III se presentan los resultados obtenidos en este estudio.

Por estos resultados se constata que los mejores contenidos en reservas de carbono orgánico se encuentran en los suelos bajo bosques (primarios y secundarios), con acumulaciones mayores de 200 Mg ha⁻¹ para la capa de 0-100 cm; lo que coincide con criterios que plantean que en los suelos tropicales son los que mayor cantidad de carbono pueden acumular (23). Le siguen las arboledas de cacao de muchos años, de pocos años y los contenidos más bajos en los de pastizales con sobrepastoreo y bajo cultivos. Esto muestra cómo en la región, el cultivo del cacao en el tiempo logra estabilizar el contenido en materia orgánica y carbono orgánico del suelo por el aporte de la hojarasca.

Tabla III. Cambios en los contenidos de reservas de carbono orgánico de los suelos

Uso de la tierra	No. Perfil	Reservas de C en Mg ha ⁻¹ 0 -20 0-50 0-100 (cm)
Bosque primario	F-5 F-8	56 128 247
Bosque secundario		68 134 231
Cacao de muchos años	F-2 (100 años) F-3 (30 años)	56 108 nd 60 122 197
Cacao de pocos años	F-10 (3 años) F-6 (1 año)	55 117 nd 41 92 nd
Pastizales con sobrepastoreo	F-4 F-7	37 nd nd 49 103 nd
Maíz 14 meses	F-1 F-9	43 90 113
Maíz 12 meses		42 nd nd

nd: No determinado

Estos resultados están dentro de los límites de pérdidas de carbono en los ecosistemas naturales planteados por diferentes investigadores (24), quienes aseguran que los suelos agrícolas han perdido entre el 30 y 75 % de las reservas de carbono orgánico o 30 a 40 Mg C ha⁻¹.

Lo anterior nos demuestra que los bosques representan el tipo de cobertura que mejor almacena carbono orgánico en el suelo, y para esta región la siembra de arboledas de cacao resulta adecuado en ese sentido. Sin embargo, los agricultores tienen que abastecerse de alimentos y deben cultivar; por esto es importante el manejo sostenible de los suelos. No debe perderse de vista en un futuro buscar un tipo de enmienda orgánica que permita mejorar el contenido de carbono orgánico del suelo, mejorando al mismo tiempo sus propiedades físicas y químicas, con resultados además que conlleven al mejoramiento ambiental.

CAMBIOS EN LA DENSIDAD DE VOLUMEN DE LOS SUELOS

La densidad de volumen, es una propiedad que cambia rápidamente ya sea por el cultivo, la erosión o el sobrepastoreo y está muy relacionada con el contenido en materia orgánica y el de humedad del suelo. Por esto en suelos con horizonte mólico, con estructura granular nuciforme y buen contenido en humedad, estos valores por lo general están entre 0,9 y 1,05 Mg m⁻³, indicando que el suelo tiene una consistencia friable. Sin embargo, en suelos con altos valores de densidad de volumen, el mismo está compacto con valores mayores de 1,3 Mg m⁻³ y puede darse el caso que se alcanza valores tales que restrinja el desarrollo de las raíces impidiendo la penetración de los agregados. En este caso se llega a alcanzar la denominada "densidad crítica para los cultivos". En la Tabla IV se muestran los resultados obtenidos para esta característica en el horizonte A, por cada perfil de suelo.

Tabla IV. Cambios en la densidad de volumen de los suelos

Cultivo	Grupo de suelos	No. Perfil	Media de la Dv ⁽¹⁾ en el horizonte A (Mg m ⁻³)
Bosque primario	Feozems	F-5	0,98
Bosque secundario		F-8	
Cacao de muchos años (30 – 50 años)	Feozems	F-2 F-3	1,13
Cacao de pocos años (menso de 10 años)	Feozem Cambisol	F-10 F-6	1,16
Pastizales con sobrepastoreo	Cambisol Feozem	F-4 F-7	1,21
Maíz	Fluvisoles	F-1 F-9	1,23

PROMEDIO DE VARIAS MUESTRAS EN LA DENSIDAD DE VOLUMEN

Por los resultados anteriores se observa que a medida que el suelo es utilizado en forma indebida, aumenta los valores de la densidad de volumen. Se constata que los suelos de bosques tienen los valores más bajos, le sigue en ese orden los suelos bajo cacao de muchos años, de pocos años y resultan los valores más altos en los suelos degradados y bajo el cultivo de maíz.

La densidad de volumen en los suelos está estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica, formando parte de la micro y macro-estructura del suelo. A medida que el suelo pierde contenido en materia orgánica por el cultivo continuado, ya sea por mineralización o por erosión o ambas cosas a la vez, se pierde la estructura inicial del suelo y aumenta la densidad de volumen del mismo. Este mecanismo está explicado para suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados éutricos de Cuba (5) (Nitisoles ferralíticos líxicos ródicos éutricos, según la clasificación del WRB). Además, la transformación de la estructura del suelo y el aumento de la densidad de volumen por el cultivo continuado, ha sido reportado por varios autores (5, 25–28). También hay que considerar los agrosistemas bajo pastizales que están sometidos al sobrepastoreo, en los cuales el pisoteo de los animales conlleva a la compactación del suelo, como ocurre en el suelo representado por los perfiles F-4 y F-7, lo que coincide con resultados obtenidos en Brasil (26).

LAS DOSIS DE RIEGO

La Oficina Regional de la FAO está promoviendo el uso del riego en esta Parroquia, por esto aunque en forma estimada, se realiza el cálculo de la dosis de riego de los suelos estudiados. Como puede apreciarse, en los resultados que se presentan en la Tabla V,

Tabla V. Normas teóricas de riego para los perfiles de suelos estudiados

Uso de la tierra	Suelo	No, Perfil	Normas teóricas de riego (m ³ ha ⁻¹) 0-200-500-100(cm)
Bosque primario	Feozem	F-5 F-8	169 463 1067
Bosque secundario	Feozem		161 483 1042
Cacao de muchos años	Feozem	F-2 (100)	225 607 nd
	Feozem	F-3 (30)	232 555 1186
Cacao de pocos años	Feozem	F-10 (3)	229 610 nd
	Cambisol	F-6 (1)	215 491 nd
Pastizales con sobrepastoreo	Cambisol	F-4	218 nd nd
	Feozem	F-7	233 524 1094
Maíz 14 meses	Fluvisol	F-1	219 635 1233
Maíz 12 meses	Fluvisol	F-9	nd nd nd

la menor cantidad de agua a aplicar sería para los suelos de bosques, que están conservados y no necesitan riego, tanto para las profundidades de 0-20, 0-50 y 0-100 cm y las más altas en los suelos que han estado bajo cultivo, que presentan cierto nivel de degradación. En un futuro, se deben hacer pruebas hidrofísicas para precisar los valores obtenidos en este trabajo.

Con la degradación del suelo por la erosión, ya sea causado por sobrepastoreo o por el cultivo continuado, se disminuye la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, lo que trae como consecuencia que se tenga que aplicar más cantidad de agua en ($m^3 ha^{-1}$), para mantener la humedad del suelo en los límites de la humedad productiva en aquellos suelos con los problemas anteriormente mencionados. En la Tabla IV se presentan los resultados obtenidos en este acápite.

En Cuba (5) reportan que para suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados éutricos (Nitisoles ferralíticos líticos éutricos) por el cultivo intensivo durante muchos años se pierde el 30 % de la capacidad del suelo para retener humedad. Esto está relacionado con la degradación del suelo por el cultivo con pérdidas de las reservas de materia orgánica, degradación de la estructura, aumento de la densidad de volumen y disminución de la porosidad total y de aeración del suelo.

CONCLUSIONES

- ◆ Las prácticas como cultivo en áreas de pendiente y el sobrepastoreo conllevan a la degradación de algunas propiedades de los suelos en relación con el uso de la tierra.
- ◆ Los suelos, en cuanto a la conservación de sus propiedades, se pueden ordenar de la forma siguiente: Suelos bajo bosques > suelos bajo cacao de muchos años > suelos bajo cacao de pocos años > suelos bajo cultivo > suelos en barbecho degradados.
- ◆ El cultivo del cacao, manteniéndose durante muchos años (50-100 años), resulta beneficioso a las propiedades del suelo, logra establecer un contenido alto de materia orgánica y por tanto de reservas de carbono y además mejora las propiedades físicas del suelo.
- ◆ Se comprueba que en las áreas de cultivo se está llevando a cabo una política de aplicación de productos orgánicos y de riego que resulta necesario para mejorar la calidad de los suelos y por tanto la calidad de vida de los agricultores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Oldeman, L. R.; Hakkeling, R. T. A. y Sombroek, W. G. *World map on status of human-induced soil degradation*. Ed. UNEP-ISRIC, 1991, Nairobi, Kenya - Wageningen, Netherlands, ISBN 978-90-6672-046-6.
2. Dudal, R. "The sixth factor of soil formation". *Eurasian Soil Science*, vol. 38, 2004, pp. 60-65, ISSN 1064-2293, 1556-195X.
3. Hernández, A.; Bojórquez, J. I.; Ascanio, M. O.; García, J. D.; Morales, M. y Borges, Y. "Cambios de la cobertura del suelo por influencia antropogénica: énfasis en las regiones tropicales". En: eds. Krasilnikov P., Jiménez F. J., Reyna T., y García N. E., *Geografía de Suelos de México*, Ed. UNAM, México, 2011, pp. 119-131, ISBN 978-607-02-2704-2.
4. Hernández, J. A.; Cabrera, R. A.; Borges, B. Y.; Vargas, B. D.; Bernal, F. A.; Morales, D. M. y García, A. M. O. "Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana". *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 3, 2013, pp. 45-51, ISSN 0258-5936.
5. Hernández, A.; Morales, M.; Borges, Y.; Vargas, D.; Cabrera, J. A.; Ascanio, M. O.; Ríos, H.; Funes, M. F.; Bernal, A. y González, P. J. *Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la «Llanura Roja de La Habana» por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento*. Ed. Ediciones INCA, 2014, Mayabeque, Cuba, 158 p., ISBN 978-959-7023-66-1.
6. Krasil'nikov, P. V. *A handbook of soil terminology, correlation and classification* [en línea]. Ed. Earthscan, 2009, London - Sterling, VA, ISBN 978-1-84977-435-2, [Consultado: 18 de noviembre de 2016], Disponible en: <<http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=483770>>.
7. Hernández, A.; Ascanio, M. O. y Pérez, J. J. M. *Aspectos importantes en el desarrollo y estado actual de la clasificación de suelos en el Mundo*. Ed. Ediciones INCA, 2014, Mayabeque, Cuba, 85 p., ISBN 978-959-7023-64-7.
8. Shishov, L. L.; Tonkonogov, V. D.; Lebedeva, I. I. y Guerasimova, M. I. *Diagnóstico y Clasificación de Suelos de Rusia (en ruso)*. Ed. Oikumena, 2004, Moscú, 341 p., ISBN 5-93529-044-9.
9. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. (ser. World Soil Reports, no. ser. 106), Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014, Rome, 191 p., ISBN 978-92-5-108370-3.
10. Li, F.; Gong, Z.; Zhongguo, ke xue yuan; Nanjing, tu rang yan jiu suo y Guo, jia zi ran ke xue ji jin. *Chinese soil taxonomy*. Ed. Science Press, 2001, Beijing - New York, 203 p., ISBN 7-03-008852-2.
11. Hernández, J. A.; Pérez, J. J. M.; Bosch, I. D. y Castro, S. N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Ed. Ediciones INCA, 2015, Mayabeque, Cuba, 93 p., ISBN 978-959-7023-77-7.
12. Hernández, J. A.; Bojórquez, S. J. I.; Morell, P. F.; Cabrera, R. A.; Ascanio, G. M. O.; García, G. J. D.; Madueño, M. A. y Nájera, G. O. *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales*. 1.ª ed., Ed. Univ. Autónoma de Nayarit, 2010, Tepic, Nayarit, 80 p., ISBN 978-607-7868-27-9.
13. Hernández, A.; Vera, L.; Naveda, C. A.; Guzmán, Á. M.; Vivar, M.; Zambrano, T. R.; Mesías, F.; Ormanza, K. y León, R. V. "Tipos de suelos y sus características de las partes medias y bajas de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador". *Revista Espamciencia*, vol. 3, no. 3, 2012, pp. 87-97, ISSN 1390-597X, 1390-8103.

14. Soil Survey Staff. *Keys to Soil Taxonomy* [en línea]. (eds. Natural Resources Conservation Service y Agriculture Dept), 11.ª ed., Ed. Natural Resources Conservation Service, 12 de mayo de 2010, Washington, 344 p., ISBN 978-0-16-085427-9, [Consultado: 27 de junio de 2016], Disponible en: <<https://www.amazon.com/Keys-Soil-Taxonomy-Survey-Staff/dp/016085427X>>.
15. Walkley, A. y Black, I. A. "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method". *Soil science*, vol. 37, no. 1, 1934, pp. 29–38, ISSN 0038-075X, 1538-9243.
16. Don, A.; Schumacher, J. y Freibauer, A. "Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis: soil organic carbon and land-use change". *Global Change Biology*, vol. 17, no. 4, 2011, pp. 1658-1670, ISSN 1354-1013, DOI 10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x.
17. Stockmann, U.; Adams, M. A.; Crawford, J. W.; Field, D. J.; Henakaarchchi, N.; Jenkins, M.; Minasny, B.; McBratney, A. B.; Courcelles, V. de R. de; Singh, K.; Wheeler, I.; Abbott, L.; Angers, D. A.; Baldock, J.; Bird, M.; Brookes, P. C.; Chenu, C.; Jastrow, J. D.; Lal, R.; Lehmann, J.; O'Donnell, A. G.; Parton, W. J.; Whitehead, D. y Zimmermann, M. "The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 164, 2013, pp. 80-99, ISSN 0167-8809, DOI 10.1016/j.agee.2012.10.001.
18. Gaiser, T.; Stahr, K.; Bernard, M. y Kang, B. T. "Changes in soil organic carbon fractions in a tropical Acrisol as influenced by the addition of different residue materials". *Agroforestry Systems*, vol. 86, no. 2, 2012, pp. 185-195, ISSN 0167-4366, 1572-9680, DOI 10.1007/s10457-011-9417-0.
19. Morales, M.; Hernández, A.; Rodríguez, J.; Guevara, C.; González, M.; Alvarez, M. E.; Cruz, A.; Hernández, A.; Roselló, J. E. y Díaz, M. "Prácticas de manejo para el mejoramiento de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados degradados". *Agrotecnia de Cuba*, vol. 37, no. 1, 2013, pp. 87-94, ISSN 0538-3114.
20. González, M. L.; Acosta, M. M.; Carrillo, A. F.; Báez, P. A. y González, C. J. M. "Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 5, no. 7, 2014, pp. 1275-1285, ISSN 2007-0934.
21. Schmidt, M. W. I.; Torn, M. S.; Abiven, S.; Dittmar, T.; Guggenberger, G.; Janssens, I. A.; Kleber, M.; Kögel-Knabner, I.; Lehmann, J.; Manning, D. A. C.; Nannipieri, P.; Rasse, D. P.; Weiner, S. y Trumbore, S. E. "Persistence of soil organic matter as an ecosystem property". *Nature*, vol. 478, no. 7367, 2011, pp. 49-56, ISSN 0028-0836, 1476-4687, DOI 10.1038/nature10386.
22. Pauli, N.; Donough, C.; Oberthür, T.; Cock, J.; Verdooren, R.; Rahmadsyah; Abdurrohím, G.; Indrasuara, K.; Lubis, A.; Dolong, T. y Pasuquin, J. M. "Changes in soil quality indicators under oil palm plantations following application of 'best management practices' in a four-year field trial". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 195, no. 1, 2014, pp. 98-111, ISSN 0167-8809, DOI 10.1016/j.agee.2014.05.005.
23. Padmanabhan, E.; Eswaran, H. y Reich, P. F. "Soil carbon stocks in Sarawak, Malaysia". *Science of The Total Environment*, vol. 465, 2013, pp. 196-204, ISSN 0048-9697, DOI 10.1016/j.scitotenv.2013.03.024.
24. Lal, R.; Follett, R. F.; Stewart, B. A. y Kimble, J. M. "Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security". *Soil Science*, vol. 172, no. 12, 2007, pp. 943-956, ISSN 0038-075X, DOI 10.1097/ss.0b013e31815cc498.
25. Pagliai, M.; Vignozzi, N. y Pellegrini, S. "Soil structure and the effect of management practices". *Soil and Tillage Research*, vol. 79, no. 2, 2004, pp. 131-143, ISSN 0167-1987, DOI 10.1016/j.still.2004.07.002.
26. Silva, A. F.; Cavalcante, S. A.; Carvalho, L. L. F.; Menezes, de S. Z. y Mendes, de S. A. "Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, no. 3, 2010, pp. 717-723, ISSN 0100-0683, DOI 10.1590/S0100-06832010000300013.
27. Camargo-García, J. C.; Dossman, M. Á.; Rodríguez, J. A.; Arias, L. M. y Galvis-Quintero, J. H. "Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia". *Acta Agronómica*, vol. 61, no. 2, 2012, pp. 151–165, ISSN 0120-2812, 2323-0118.
28. Murray-Núñez, R. M.; Bojorquez-Serrano, J. I.; Hernández-Jiménez, A.; García-Paredes, J. D.; Madueño-Molina, A.; Bugarin-Montoya, R. y Orozco-Benítez, M. G. "Pérdidas de carbono en suelos de la Llanura Costera de Nayarit, México". *Revista Bio Ciencias*, vol. 1, no. 4, 2012, p. 38, ISSN 2007-3380, DOI 10.15741/rev bio ciencias.v1i4.22.

Recibido: 9 de septiembre de 2015

Aceptado: 1 de junio de 2016

