



CAMBIOS EN LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO BAJO DIFERENTES COBERTURAS

Changes in organic carbon stocks in soils under different plant covers

José I. Bojórquez Serrano^{1✉}, Lucía A. Castillo Pacheco¹,
Alberto Hernández Jiménez², Juan D. García Paredes¹
y Alberto Madueño Molina¹

ABSTRACT. The reserve of organic carbon in soils and their changes over time is a current environmental issue, besides, the loss of soil organic carbon (SOC), that occur with the conversion of natural ecosystems to agricultural systems, contribute to emissions of greenhouse gases, to global warming and climatic change. The objective of this study was to evaluate the changes in SOC reserves under different plant covers that occur in the Mololoa river basin, in the state of Nayarit, Mexico. The analysis was performed by differences in time of sampling, using samples from the top 20 cm of the soil profile, coming from 13 soil profiles under different coverage: two with oak forest, two with pine forest, one under grass, one with avocado orchard and seven under sugarcane cropping. The soils under grass had the greatest reserve of SOC with 2,65 Mg ha⁻¹ año⁻¹, followed by: oak forest (0,40 and 0,47 Mg ha⁻¹ año⁻¹), pine forest (0,15 and 0,38 Mg ha⁻¹ año⁻¹) and avocado orchard (0,29 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Soils with sugarcane crop had a decrease in SOC (between 0, 12-0,84 Mg ha⁻¹ año⁻¹).

Key words: carbon capture, soil plant covers, carbon dioxide

RESUMEN. Las reservas de carbono orgánico en los suelos (COS) y sus cambios en el tiempo son un tema ambiental de actualidad, asimismo las pérdidas de COS que ocurren con la conversión de ecosistemas naturales a agrosistemas, contribuyen con emisiones a la atmósfera, al calentamiento global y el cambio climático. El objetivo de este trabajo fue estudiar los cambios en las reservas de COS bajo diferentes coberturas de la cuenca del río Mololoa, Nayarit, México. El análisis de los cambios se realiza por diferencia en las reservas de COS en los primeros 20 cm de 13 perfiles de suelos con diferentes coberturas, dos en bosques de encino, dos en bosques de pino, uno en pastizal, uno en cultivo de aguacate y siete en terrenos cultivados con caña de azúcar. Las coberturas estables de bosque y pastizal generan ganancias en las reservas de COS; siendo el pastizal el que registra la mayor cantidad (2,65 Mg ha⁻¹ año⁻¹), seguido por el bosque de encino (0,40-0,47 Mg ha⁻¹ año⁻¹), el bosque de pino (0,15-0,38 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y la arboleda de aguacate (0,29 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Mientras que la cobertura de cultivo de caña de azúcar generó pérdidas en las reservas de COS, entre 0,12-0,84 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

Palabras clave: captura de carbono, cobertura del suelo, dióxido de carbono

INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico del suelo es un tema actual de investigación. Se estima que las reservas de carbono orgánico del suelo constituyen las dos terceras partes de las reservas de carbono terrestre (1). Además, se conoce que con el cambio del uso de los suelos (CUS), se ha perdido gran cantidad de

este elemento, que ha sido emitido a la atmósfera en forma de CO₂, lo que contribuye, en gran medida, al enriquecimiento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y, en consecuencia, al cambio climático global (2, 3, 4, 5). Hay estimados que destacan que la conversión de ecosistemas naturales a agrosistemas, contribuyen con aproximadamente el 24 % de las emisiones mundiales de CO₂^A.

¹ Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" CP 63190, Tepic, Nayarit, México.

² Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700.
✉ iranbojorquez@hotmail.com

^A IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [en línea], (ed. ser. Pachauri, R.K. y Reisinger, A.), Geneva, Switzerland, 2007, p. 104, [Consultado: 19 de junio de 2015], Disponible en: <www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_frontmatter.pdf>.

Por otra parte, el carbono orgánico del suelo es importante ya que como parte de la materia orgánica influye en las propiedades del suelo como la estructura, la capacidad de intercambio catiónico, la densidad aparente, la porosidad y la infiltración. Es decir, el cambio de uso de la tierra y la explotación agrícola continuada e intensiva, con aplicación de maquinarias y fertilizantes, provoca la pérdida de la materia orgánica y del carbono orgánico, que da lugar a la degradación de estas propiedades y disminuye la productividad de los suelos (6, 7, 8, 9).

Las pérdidas del carbono de los suelos en los últimos 200 años, debido a las actividades agrícolas, son del orden de 78 ± 12 Pg de C atmosférico (10). Este problema de las pérdidas de carbono en los suelos es más intenso en las regiones cálidas del planeta, por lo que las investigaciones edafológicas encaminadas a mantener un contenido adecuado de carbono en los suelos muy intemperizados, resultan importantes (11, 12, 13).

Por tanto, resulta imprescindible en primer lugar conocer cómo se encuentra el carbono orgánico en los diferentes suelos de los ecosistemas, como es su comportamiento con el cambio de uso de la tierra, sobre todo reservas en el suelo, en relación con las coberturas vegetales, con la finalidad de buscar formas de manejo agrícola adecuado que mantengan y enriquezcan este carbono en el suelo (14). El objetivo del presente trabajo es conocer los cambios que están ocurriendo en las reservas de carbono orgánico en suelos bajo diferentes coberturas estables y cuando se cultivan con caña de azúcar, teniendo como área de estudio la cuenca del río Mololoa, en Nayarit, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Mololoa (570 km²), localizada en el centro del estado de Nayarit, México. Se localiza en la parte central del estado de Nayarit, entre las coordenadas geográficas 21° 43' 26" Latitud Norte, 104° 56' 46" Longitud Oeste y 21° 16' 12" Latitud Norte, 104° 43' 06" Longitud Oeste. Abarca 618 Km² y forma parte del sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago.

Esta región reúne a 34 localidades y cerca del 40 % de la población de la Entidad, que dependen de este ecosistema para el abasto de agua dulce, alimentos vegetales (azúcar, maíz, arroz, hortalizas, aguacate y limón, principalmente) y de origen animal (bovinos, porcinos, aves y ovinos) y ofrece servicios que regulan el clima, el ciclo de nutrientes, además de sitios para el esparcimiento.

El ecosistema se caracteriza por su origen volcánico, con estructuras que delimitan el área de escurrimiento, los volcanes San Juan (el más alto con 2,240 m. s. n. m.), Coatepec, Tepetitlic, Sangangüey y la caldera de Tepic, todas ellas del Cuaternario y

desarrolladas sobre un basamento del Terciario. En medio de estas estructuras se forma un extenso valle (Matatipac) que atraviesa el río Mololoa, para después con dirección noroeste desembocar en el río Grande de Santiago. La cuenca presenta una forma alargada y asimétrica, con relieve y pendientes pronunciadas, es de tamaño intermedio y pendiente promedio de 39 % y abarca 127 micro cuencas (15).

El clima de esta región varía con la diversidad de los relieves, la mayor parte de las laderas de los volcanes y el valle es semicálido (76,84 % del total de la cuenca), en lo más alto de los volcanes es templado (1,46 %), y hacia la desembocadura del río, el clima es cálido subhúmedo (21,70 %). El área de estudio tiene régimen de lluvias en verano (junio a octubre), con un promedio anual de 1 274 mm, la temperatura media anual es de 22,4 °C, con máxima promedio de 29,3 °C en mayo y mínima de 16,4 °C en enero, la oscilación térmica es de 12,9 °C (16).

La zona estudiada tiene cinco paisajes geomorfológicos denudativos (sierra volcánica con laderas escarpadas del volcán San Juan, escudos volcánicos con calderas, sierra volcánica con estrato volcanes, lomeríos y superficies de lomeríos muy erosionados de la cuenca baja) y un paisaje acumulativo, el valle Matatipac (17). Por las características de los relieves se desarrollan suelos Andosoles, Alisoles, Luvisoles, Feozems, Regosoles y Gleysoles, los más extendidos son los Andosoles que se forman en los relieves más recientes, de perfil AC, a partir de depósitos cuaternarios de pómez y de cenizas del volcán San Juan; seguido de los Alisoles, que son suelos de perfil ABtC, más evolucionados, formados en relieves estables y más antiguos de materiales de rocas básicas del volcán Sangangüey (18).

Las principales coberturas del suelo son las tierras de cultivo (44 %), seguido de la vegetación natural (38 %); el resto son vegetación secundaria, construcciones y cuerpos de agua. Las principales comunidades vegetales son bosques de encino y de pino, distribuidos en las elevaciones mayores de los volcanes y con tasa de deforestación de 0,1 ha año⁻¹; y las selvas y pastizales, que se localizan en la parte baja de la cuenca, con ritmo de pérdida de 0,3 ha año⁻¹ (19).

A partir de bases de datos existentes^B y de perfiles de suelos descritos previamente (18, 20), se seleccionaron 13 sitios de muestreo: dos en bosques de encino, dos en bosques de pino, uno en pastizal, uno en cultivo de aguacate y siete en terrenos cultivados con caña de azúcar.

^B Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional) [en línea], INEGI, [Consultado: 19 de junio de 2015], Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial_serieii.aspx>.

Para analizar los cambios en las reservas de carbono orgánico, de marzo de 2012 a agosto de 2013, se tomaron muestras en los primeros 20 cm de cada sitio seleccionado y se midió la densidad de volumen en campo, por el método del cilindro (21); asimismo, el carbono orgánico por el método de Walkley & Black, descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (AS-07) (22).

El cálculo del COS se realizó con la ecuación:

$$\text{COS} = \text{CO} (\text{Da}) \text{ m} \quad (1)$$

donde:

COS= Carbono orgánico total en el suelo por superficie (Mg C ha^{-1})

CO= carbono orgánico total (%)

Da = Densidad de volumen (Mg m^{-3})

m = Profundidad del suelo (cm)

Se identificaron las tasas de cambio anual de las reservas de COS mediante el cálculo de reservas de carbono en el tiempo 1 y en el tiempo 2 y se dividió entre el número de años observados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los suelos bajo coberturas permanentes de bosques de pino y encino, arboleda de aguacate y el pastizal tienen una tasa de cambio anual con ganancia de carbono; mientras que los suelos cultivados con caña de azúcar presentan una tasa negativa (Tabla I).

En la Tabla II se presentan los valores de los cambios en las reservas de COS por cobertura y unidad de suelo (0 a 20 cm). Por estos datos se observa que existen pérdidas o ganancias en una misma unidad de suelo y lo que decide en este caso es el tipo de cobertura y no el tipo de suelo. Teniendo en cuenta lo anterior, la mayor relevancia constituye la tasa anual en Mg ha^{-1} de cambios (pérdidas o ganancias) en el COS por coberturas en el área en estudio.

La tasa de cambio es aproximada, dado que si se mantiene el mismo nivel de aporte anual de residuos vegetales, comienza un proceso de acumulación de carbono en el suelo como resultado de la menor tasa de mineralización. Esto sucede durante un período de tiempo, hasta que se alcanza un nuevo equilibrio, debido a esto el aumento en el contenido de carbono es muy rápido en los primeros años, y cada vez más lento en los subsecuentes años (23).

Tabla I. Tasas de cambio anual (%) de reservas de COS bajo diferentes coberturas.

Clave del perfil	Cobertura vegetal	Tiempo 1	Tiempo 2	% C (t_1)	% C (t_2)	Tasa de Cambio anual (%)
INEGI 52	Bosque de encino	2003	2013	1,050	1,820	0,077
UAN 5	Bosque de encino	2006	2013	1,030	1,610	0,083
SAN JUAN 10	Bosque de pino	1993	2013	4,830	5,170	0,017
UAN 16	Bosque de pino	1993	2013	4,090	4,120	0,002
SAN JUAN 7	Arboleda de aguacate	1993	2013	1,030	1,640	0,031
INEGI 12	Caña de azúcar	2003	2013	0,706	0,320	-0,039
INEGI 29	Caña de azúcar	2003	2013	1,950	1,920	-0,003
UAN MATATIPAC	Caña de azúcar	1983	2013	1,870	1,820	-0,002
UAN 69	Caña de azúcar	1996	2013	0,926	0,507	-0,025
SAN JUAN 12	Caña de azúcar	1993	2013	1,030	0,830	-0,010
SAN JUAN 6	Caña de azúcar	1993	2013	0,980	0,850	-0,007
INEGI 38	Caña de azúcar	2003	2013	1,886	1,269	-0,062
UAN 62	Pastizal	1992	2013	0,410	1,320	0,043

Tabla II. Cambios en las reservas de COS por cobertura y unidades de suelo (0 a 20 cm) en la cuenca del río Mololoa, Nayarit.

Cobertura	Unidad de suelo	Ganancia/Pérdida $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$	Años
Bosque de pino	Andosol mólico (éutrico)	+ 0,15	20
		+ 0,38	20
Bosque de encino	Cambisol háplico (éutrico, crómico)	+ 0,40	07
		+ 0,47	10
Arboleda de aguacate	Cambisol ándico (húmico, dístrico)	+ 0,29	20
Pastizal	Cambisol ándico (éutrico)	+ 2,65	10
Caña de azúcar	Andosol mólico éutrico	- 0,41	30
		- 1,27	10
		- 1,71	19
	Cambisol ándico (húmico, dístrico)	- 1,71	10
		- 0,58	19
	Regosol háplico (éutrico)	- 0,12	21
		- 0,84	10

No obstante, en el caso de las coberturas estables la tasa mayor de ganancia en reservas de carbono se registra en el suelo con cobertura de pastizal. También se obtiene, que en el bosque de encino hay una captura anual mayor que en el de pino; mientras que en el caso del aguacate resulta un poco mayor.

El aporte que hace la vegetación de bosque de pino con una tasa de crecimiento anual relativamente baja, es debido a que los bosques de pino no acumulan cantidades significativas de carbono. En la literatura se ha informado que la tasa de acumulación de este tipo de cobertura es de $0,182 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (5).

La poca captura de carbono por el suelo bajo bosque de pino está relacionada con el tipo de hoja acucifolia, rica en lignina, que forma una hojarasca poco degradable. La degradabilidad de la hojarasca es un importante regulador de su descomposición (24, 25). La degradación de los carbohidratos estructurales tales, como la lignina puede llegar a ser crítica para la tasa de descomposición de la hojarasca y para la acumulación de materia orgánica en el suelo (26).

El tipo de vegetación y fenología de la planta tiene relación directa con la calidad de la hojarasca. Algunos autores (27) reportan que la persistencia de la materia orgánica en el suelo es debido a interacciones complejas entre la materia orgánica y el medio, tales como la interdependencia de los compuestos químicos, superficies minerales reactivas, el clima, la disponibilidad de agua, la acidez del suelo, el estado redox y la presencia de degradadores potenciales en el micro-medio inmediato.

El bosque de encino captura un poco más de carbono en el suelo que el bosque de pino. También el bosque de encino tiene hojas coriáceas que no son de buena descomposición y aunque el suelo presenta una ganancia de tasa anual de carbono mayor que el pino, la captura no corresponde con la cantidad de otras especies forestales como el eucalipto.

El mayor potencial de captura de carbono se pudo encontrar en los pastizales ($2,65 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), lo cual es debido al sistema radical del pastizal que como gramínea puede alcanzar hasta un metro de profundidad en forma diferente a los tipos de bosques de pino y encino que el mayor aporte de materia orgánica al suelo lo realizan a través de sus hojas, que en ambos casos resultan difícil de descomponer, sobre todo en un clima templado cálido.

El aporte que realizan los pastizales en la captura del carbono en los suelos está referido en diferentes trabajos. Por ejemplo, el desmonte de la selva amazónica para convertirlo en pastizales resultó en una disminución en MOS en los 20 cm superficiales de $90,0$ a $68,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ C}$ después de dos años del establecimiento de los pastizales, pero las entradas en MOS provenientes del pastizal durante un período de ocho años hicieron volver la MOS a $96 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ C}$, de las cuales $45,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ fueron derivadas del pasto (28). Se estima que la ganancia de carbono en un pastizal por

año es de $0,53$ - $0,80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1} \text{ C}$ y que la conversión de tierras severamente degradadas a pastos es de $0,25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1} \text{ C}$ y de tierras cultivadas a pastos es de $0,80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1} \text{ C}$ (2).

Además, los pastizales mantienen condiciones físico mecánicas adecuadas en los suelos. La comparación de los suelos de tierras de cultivos con suelos de praderas no cultivadas dio como resultado que la práctica del cultivo causó una reducción de macroagregados estables al agua de 73 % (29).

Una de las mejores opciones para mantener una buena reserva de carbono en el suelo, después de la deforestación y cultivo de las tierras, es adoptar prácticas con mayor entrada de residuos vegetales como el establecimiento de pastizales (30).

Para los suelos cultivados con caña de azúcar, todos los resultados fueron de pérdidas de carbono anual. En el caso específico de este cultivo, cuando el ecosistema se pone en explotación después de la tala del bosque, el suelo tiene un contenido en materia orgánica que oscila entre 6-10 %, a los pocos años (3-5 años) este contenido disminuye hasta la mitad y tiende a estabilizarse entre 3-4 % cuando se cultiva la caña en forma manual y sin quema, pero cuando se aplica la quema y requema de los residuos de cosecha de caña, como es el caso de México, hay transformaciones en el suelo, con pérdidas en el contenido de materia orgánica, lo que constituye lo que se conoce actualmente como cambios globales en los suelos (31).

Para el caso específico de este estudio, donde la práctica del cultivo de la caña de azúcar, con la quema, conlleva a pérdidas de carbono en el ecosistema, que representa 43,9 % de la superficie total de la cuenca, por lo que sería conveniente ensayar formas para mejorar esta situación, mediante modelos de manejo sostenible de las tierras como es señalado por diversos autores (12, 32).

Según datos citados por algunos autores (33), la quema de una hectárea de caña libera $6,6 \text{ Mg año}^{-1}$ de C, equivale a una emisión de $24,3 \text{ Mg año}^{-1}$ de CO_2 . Plantea, además, que esta última cifra comparada con la capacidad de fijación de CO_2 por este cultivo, resulta no significativa; ya que una hectárea de caña con alta tasa de crecimiento capta 80 Mg año^{-1} de CO_2 .

Una medida muy beneficiosa que pudiera atenuar la emisión de gases invernadero en los estados de Veracruz y Oaxaca, México, sería suspender la quema y requema de la caña de azúcar, ya que si una hectárea de caña quemada emite $24,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de CO_2 , entonces, para $286\,367,53 \text{ ha}$ de caña que se cultivan en estos dos estados representaría una mitigación de cerca de 7 Mt de CO_2 al año en la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, contribuyendo, en esta forma, al mejoramiento del medio ambiente, con la disminución de la concentración de los GEI, que está dando lugar en estos momentos al cambio climático (32).

Sin embargo, en Cuba donde no se quema el cultivo de la caña de azúcar, se han tenido resultados que muestran que en suelo Nitisol ferrálico, lúxico, éutrico, arcílico y ródico, se tuvo una reducción en las reservas de materia orgánica desde 83 Mg ha⁻¹ hasta 68 Mg ha⁻¹ en la capa superior del suelo de 0-20 cm; mientras que en la capa de 0-50 cm fue de 136 Mg ha⁻¹ hasta 108 Mg ha⁻¹ (34). Esto significa que independientemente de los efectos de la quema en la emisión del carbono, el cultivo de la caña de azúcar por sí solo conlleva a la disminución de la materia orgánica y del carbono del suelo. Esto coincide con los datos de otros autores (28), que plantean que en la selva amazónica brasileña, la introducción del cultivo de caña de azúcar redujo el C del suelo de 72,0 Mg ha⁻¹ a 38,5 Mg ha⁻¹ en un período de 50 años, con un nivel de equilibrio de 0,8 % C. Tal disminución en 14,4 x 10⁶ ha de tierras de cultivo representa 0,25 % del incremento de CO₂ atmosférico global.

El establecer pastizales en las áreas degradadas de la zona en estudio sería una medida aceptable para la captura del carbono y para mejorar las propiedades de los suelos. Aunque existen otras opciones, para incrementar la captura del COS, que tendrían que valorarse (3, 35, 36).

CONCLUSIONES

- ◆ Las coberturas estables de bosque y pastizal generan ganancias en las reservas de carbono orgánico del suelo; siendo el pastizal el que registra la mayor cantidad, seguido por el bosque de encino, el bosque de pino y finalmente la arboleda de aguacate.
- ◆ La cobertura de cultivo con caña de azúcar, donde se practica la quema para la cosecha y la requema de los residuos agrícolas, genera pérdidas en las reservas de COS.
- ◆ De los resultados del presente trabajo se deduce la importancia de conservar las coberturas estables de bosques de encino y de pino de la zona en estudio para incrementar las reservas de COS, que representan el 37,7 % del territorio. Asimismo, para la producción de alimentos se debe privilegiar el cultivo de frutales como el aguacate.

BIBLIOGRAFÍA

1. 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, 1 de enero de 2013, pp. 80-99, ISSN 0167-8809, DOI 10.1016/j.agee.2012.10.001.
2. Lal, R. "Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect.", *Progress in Environmental Science*, vol. 1, no. 4, 1999, pp. 307-326, ISSN 1460-4094.
3. Carvalho, J.L.N.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L.N.; Mello, C.R. de. y Cerri, C.E.P. "Potential of soil carbon sequestration in different biomes of Brazil", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, no. 2, abril de 2010, pp. 277-290, ISSN 0100-0683, DOI 10.1590/S0100-06832010000200001.
4. Don, A.; Schumacher, J. y Freibauer, A. "Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis", *Global Change Biology*, vol. 17, no. 4, 1 de abril de 2011, pp. 1658-1670, ISSN 1365-2486, DOI 10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x.
5. Xiong, X.; Grunwald, S.; Myers, D.B.; Ross, C.W.; Harris, W.G. y Comerford, N.B. "Interaction effects of climate and land use/land cover change on soil organic carbon sequestration", *Science of The Total Environment*, vol. 493, 15 de septiembre de 2014, pp. 974-982, ISSN 0048-9697, DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.06.088.
6. Vågen, T.-G.; Lal, R. y Singh, B.R. "Soil carbon sequestration in sub-Saharan Africa: a review", *Land Degradation & Development*, vol. 16, no. 1, 1 de enero de 2005, pp. 53-71, ISSN 1099-145X, DOI 10.1002/ldr.644.
7. Bergamin, A.C.; Vitorino, A.C.T.; Franchini, J.C.; Alves de Souza, C.M. y Régis de Souza, F. "Compactação em um latossolo vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, no. 3, 2010, pp. 681-691, ISSN 0100-0683.
8. Silva, A.F.; Cavalcante, S.A.A.; Carvalho, L.L.F.; Menezes, de S.Z. y Mendes, de S.C.M. "Qualidade física de un latossolo amarelo sob sistema de integração lavoura-pecuária no cerrado piauiense", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, no. 3, 2010, pp. 717-723, ISSN 0100-0683.
9. Hernández, J.A.; Cabrera, R.A.; Borges, B.Y.; Vargas, B.D.; Bernal, F.A.; Morales, D.M. y Ascanio, G.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, septiembre de 2013, pp. 45-51, ISSN 0258-5936.
10. Lal, R. "Soil carbon sequestration to mitigate climate change", *Geoderma*, vol. 123, no. 1-2, noviembre de 2004, pp. 1-22, ISSN 0016-7061, DOI 10.1016/j.geoderma.2004.01.032.
11. Nair, P.K.R.; Nair, V.D.; Kumar, B.M. y Haile, S.G. "Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal", *Environmental Science & Policy*, vol. 12, no. 8, diciembre de 2009, (ser. Sustainability impact assessment and land-use policies for sensitive regions), pp. 1099-1111, ISSN 1462-9011, DOI 10.1016/j.envsci.2009.01.010.
12. 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, 15 de julio de 2011, pp. 185-195, ISSN 0167-4366, 1572-9680, DOI 10.1007/s10457-011-9417-0.

13. Youkhana, A. y Idol, T. "Addition of Leucaena-KX2 mulch in a shaded coffee agroforestry system increases both stable and labile soil C fractions", *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 43, no. 5, mayo de 2011, pp. 961-966, ISSN 0038-0717, DOI 10.1016/j.soilbio.2011.01.011.
14. Padmanabhan, E.; Eswaran, H. y Reich, P.F. "Soil carbon stocks in Sarawak, Malaysia", *Science of The Total Environment*, vol. 465, 1 de noviembre de 2013, (ser. Soil as a Source & Sink for Greenhouse Gases), pp. 196-204, ISSN 0048-9697, DOI 10.1016/j.scitotenv.2013.03.024.
15. Nájera, G.O. y Bojórquez, S.J.I. "Caracterización hidrográfica de la cuenca del río Mololoa", en: Marcelaño, F.S. y Nájera, G.O., *La cuenca del río Mololoa y su problemática socioambiental*, 1.ª ed., edit. Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, 2014, pp. 37-46, ISBN 978-607-7868-73-6.
16. Nájera, G.O. y Bojórquez, S.J.I. "El clima de la cuenca del río Mololoa", en: Marcelaño, F.S. y Nájera, G.O., *La cuenca del río Mololoa y su problemática socioambiental*, 1.ª ed., edit. Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, 2014, pp. 67-81, ISBN 978-607-7868-73-6.
17. Bojórquez, S.J.I.; Nájera, G.O.; Hernández, J.A. y Murray, N.R.M. "Formas del relieve en la cuenca del río Mololoa", en: Marcelaño, F.S. y Nájera, G.O., *La cuenca del río Mololoa y su problemática socioambiental*, 1.ª ed., edit. Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, 2014, pp. 47-66, ISBN 978-607-7868-73-6.
18. Vivanco, J.C.; Bojórquez, J.I.; Murray, R.M.; Nájera, O.; Flores, F. y Hernández, A. "Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa, Tepic, Nayarit, México", *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 1, marzo de 2010, pp. 00-00, ISSN 0258-5936.
19. Nájera-González, O.; Bojórquez-Serrano, J.I.; Cifuentes-Lemus, J.L. y Marcelaño-Flores, S. "Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit", *Revista Bio Ciencias*, vol. 1, no. 1, 1 de julio de 2010, ISSN 2007 3380, DOI 10.15741/rev bio ciencias.v1i1.8, [Consultado: 19 de junio de 2015], Disponible en: <<http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/articulo/view/8>>.
20. Bojórquez, S.J.I. "Levantamiento de suelos de la reserva ecológica Sierra de San Juan, Nayarit, México", *Investigaciones Geográficas*, vol. 30, 1995, pp. 9-35, ISSN 0188-4611.
21. Klute, A.; Blake, G.R. y Hartge, K.H. "Bulk Density" [en línea], *SSSA Book Series*, edit. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1986, ISBN 978-0-89118-864-3, [Consultado: 19 de junio de 2015], Disponible en: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/sssabookseries/methodsofsoiln1/363>>.
22. Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Conservación, Protección, Restauración y Aprovechamiento de los Recursos Forestales de Suelos y Costas *Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. [en línea], Diario Oficial de la Federación, México, no. NOM-021-RECNAT-2000, 31 de diciembre de 2002, [Consultado: 29 de agosto de 2015], Disponible en: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002>, [Norma Oficial Mexicana].
23. González-Molina, L.; Etchevers-Barra, J.D. y Hidalgo-Moreno, C. "Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo", *Agrociencia*, vol. 42, no. 7, noviembre de 2008, pp. 741-751, ISSN 1405-3195.
24. Sanaullah, M.; Chabbi, A.; Lemaire, G.; Charrier, X. y Rumpel, C. "How does plant leaf senescence of grassland species influence decomposition kinetics and litter compounds dynamics?", *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 88, no. 2, 11 de octubre de 2009, pp. 159-171, ISSN 1385-1314, 1573-0867, DOI 10.1007/s10705-009-9323-2.
25. Mehta, N.; Dinakaran, J.; Patel, S.; Laskar, A.H.; Yadaba, M.G.; Ramesh, R. y Krisnayya, N.S.R. "Changes in litter decomposition and soil organic carbon in a reforested tropical deciduous cover (India)", *Ecological Research*, vol. 28, no. 2, 2013, pp. 249-248, ISSN 0912-3814.
26. Klotzbücher, T.; Kaiser, K.; Guggenberger, G.; Gatzek, C. y Kalbitz, K. "A new conceptual model for the fate of lignin in decomposing plant litter", *Ecology*, vol. 92, no. 5, 1 de mayo de 2011, pp. 1052-1062, ISSN 0012-9658, DOI 10.1890/10-1307.1.
27. 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, 6 de octubre de 2011, pp. 49-56, ISSN 0028-0836, DOI 10.1038/nature10386.
28. Cerri, C.C.; Bernoux, M. y Blair, G.J. "Reservas y flujo de carbono en sistemas naturales y agrícolas del Brasil y las implicaciones para el balance global de CO₂", *Terra Latinoamericana*, vol. 14, no. 1, 1996, pp. 1-12, ISSN 2395 - 8030.
29. Williams, A. y Veneman, P. "Effect of cultivation on soil organic matter and aggregate stability", *Pedosphere*, vol. 15, no. 2, 2005, pp. 255-262, ISSN 1002-0160.
30. González Molina, L.; Acosta Mireles, M.; Carrillo Anzures, F.; Báez Pérez, A.; Camacho, G. y Manuel, J. "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, noviembre de 2014, pp. 1275-1285, ISSN 2007-0934.
31. Ascanio, O. y Hernández, A. *Suelos de agrosistemas cañeros de Veracruz y Oaxaca: Cambios globales y medio ambiente. Cuadernos Universitarios*, 1.ª ed., edit. Veracruzana, Xalapa, México, 2006, p. 285, ISBN 968-834-734-5.
32. Eswaran, H. "Role of soil information in meeting the challenges of sustainable land management", *Journal of the Indian Society of Soil Science*, vol. 40, no. 1, 1992, pp. 6-24, ISSN 0019-638X.
33. Espinoza, L. del C.L.; García, C.F.O.; López, D.J.P.; García, S.S. y Rivera, J.M.A. "Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de tabasco, México", *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, vol. 30, no. 7, 2005, pp. 395-403, ISSN 0378-1844.
34. Hernández, A.; Ascanio, M.; Morales, M.; Bojórquez, I.; García, N. y García, D. *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*, edit. Univ. Autónoma de Nayarit, 2008, p. 264, ISBN 978-968-833-072-2.

35. Gatto, A.; BARROS, N. de.; Novais, R.F.; SILVA, I. da.; Leite, H.G.; Leite, F.P. y VILLANI, E. de A. "Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, no. 4, 2010, pp. 1069–1080, ISSN 0100-0683.
36. 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, 1 de octubre de 2014, pp. 98-111, ISSN 0167-8809, DOI 10.1016/j.agee.2014.05.005.

Recibido: 19 de noviembre de 2014

Aceptado: 27 de enero de 2015

¿Cómo citar?

Bojórquez Serrano, J. I.; Castillo Pacheco, L. A.; Hernández Jiménez, A.; García Paredes, J. D. y Maduaño Molina, A. "Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas" [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 63-69. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <-----/>.