

Características edáficas y su relación con usos del suelo en Santa Marta, Colombia *

Sonia Esperanza Aguirre-Forero

Doctora en Ciencias Agrarias (Manejo y Conservación de suelos). Docente Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia.
saguirre@unimagdalena.edu.co  orcid.org/0000-0002-6975-1940

Nelson Virgilio Piraneque-Gambasica

Doctor en Ciencias agropecuarias (Manejo y Conservación de suelos). Docente Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia.
npiraneque@unimagdalena.edu.co  orcid.org/0000-0002-4264-9428

José Rafael Vásquez-Polo

Doctor en Ciencias ambientales. Docente Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia.
jvasquez@unimagdalena.edu.co  orcid.org/0000-0002-2485-8226

RESUMEN

El análisis de cambios de uso de la tierra es esencial para comprender la condición actual y prospectar el estado del suelo toda vez que puede generar impactos en las condiciones del mismo, pero estas respuestas no han sido suficientemente caracterizadas en las condiciones de clima seco tropical. Mediante muestreo aleatorio estratificado, se recolectaron muestras de suelo ($n=5$) a dos profundidades y tres tipos de uso de la tierra (natural, agrícola y zonas verdes) en Santa Marta Colombia, para evaluar los efectos del uso sobre características físicas y químicas del suelo. Los resultados mostraron cambios significativos en el contenido de carbono, nitrógeno total, humedad, temperatura, densidad aparente, porosidad total y CIC. El análisis de componentes principales logró separar las características edáficas por uso donde los mayores contenidos de carbono se asociaron a las zonas verdes, los de porosidad a la zona de bosque y los mayores valores en conductividad, pH y humedad se encontraron en la zona agrícola, demostrando que el uso del suelo influye sobre las características físicas y químicas, por lo que se requiere seguimiento para un manejo sostenible del recurso.

PALABRAS CLAVE

Uso de la tierra, clima seco tropical, bosque, zonas verdes, sistemas agrícolas.

Soil characteristics and its relationship with soil uses in Santa Marta, Colombia

ABSTRACT

The analysis of land use change is essential to understand the current condition and prospect the soil state soil whenever it can generate impacts in soil conditions, but these responses are not well characterized under dry tropical climate conditions. Using a stratified random sampling, samples ($n = 5$) at two soil depths and three types of land use (natural, agricultural and green zones) were collected in Santa Marta, Colombia, to evaluate the land use effects on some physical and chemical soil properties. The results showed significant changes in carbon content, total nitrogen, humidity, temperature, bulk density, total porosity and CEC. The principal components analysis differed edaphic characteristics by use, where the higher contents carbon was associated to green areas, the porosity to forest area and the highest values in conductivity, pH and humidity were found in the agricultural area, thus, the soil use influences physical and chemical characteristics, so it is necessary to follow up for a sustainable soil management.

KEYWORDS

Land use, dry tropical climate, forest, green zones, and agricultural systems.

Recibido: 17/09/2017 Aceptado: 20/11/2017

* <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27141> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) Publicado por Universidad Libre - Cali, Colombia.

Cómo citar este artículo: AGUIRRE-FORERO, Sonia Esperanza; PIRANEQUE-GAMBASICA, Nelson Virgilio; VÁSQUEZ-POLO, José Rafael. Características edáficas y su relación con usos del suelo en Santa Marta, Colombia. *En:* Entramado. Enero - Junio, 2018. vol. 14, no. 1, p. 242-250 <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27141>



Características edáficas e sua relação com usos de solo em Santa Marta, Colombia

R E S U M O

A análise das mudanças no uso da terra é essencial para entender a condição atual e prospectar o estado do solo sempre que ele pode gerar impactos nas condições da terra, mas essas respostas são mal caracterizadas em condições climáticas tropicais secas. As amostras ($n = 5$) foram coletadas em duas profundidades do solo e três tipos de uso do solo (natural, agrícola e verde) em Santa Marta, Colombia, para avaliar os efeitos do uso em algumas características físicas e químicas do solo. Os resultados mostraram mudanças significativas no teor de carbono, nitrogênio total, umidade, temperatura, densidade aparente, porosidade total e CTC. A análise dos componentes principais foi capaz de separar as características edáficas pelo uso em que o maior teor de carbono estava associado às áreas verdes, a porosidade na área da floresta e os maiores valores de condutividade, pH e umidade foram encontrados na área agrícola, demonstrando que o uso do solo influencia as características físicas e químicas, razão pela qual o monitoramento é necessário para uma gestão sustentável do recurso.

PALAVRAS-CHAVE

Uso da terra, clima tropical seco, floresta, zonas verdes e sistemas agrícolas.

Introducción

La cobertura vegetal cambia, en ocasiones por fuerzas de la naturaleza o por acciones antrópicas, los ecosistemas pasan de transiciones naturales (bosques) a sistemas ganaderos y agrícolas, lo que altera las funciones del suelo al ser utilizado sin tener en cuenta su vocación, superando la capacidad de carga del recurso. En Latinoamérica la actividad agrícola evidencia baja sostenibilidad y requiere un manejo razonable de los recursos para disminuir emisiones de CO_2 . “El estilo de desarrollo de la región muestra una inercia que erosiona sus propias bases de sostenibilidad” afectando los recursos naturales (CEPAL, 2015).

Los procesos de degradación del suelo más relevantes en Colombia son erosión, sellamiento, contaminación, pérdida de materia orgánica, salinización, compactación y la desertificación, esto amenaza los servicios eco sistémicos, entre los que se encuentra la regulación del ciclo hidrológico, el almacenamiento del CO_2 y la recarga de acuíferos entre otros. Los departamentos de la Guajira (28,1%), Magdalena (16,5%), Cesar (12%), Huila (8,4%) y Sucre (7,6%) presentan erosión severa a muy severa (IDEAM, 2015), cifras que reflejan la vulnerabilidad del territorio de la costa caribe, la pérdida de biodiversidad y productividad acentuada por la variabilidad climática en la zona. A pesar de este panorama, diversas investigaciones concluyen que cambios en las labores agrícolas que incorporen prácticas sostenibles, ofrecen oportunidades para que el sistema mitigue emisiones de gases efecto invernadero, entradas de nitrógeno y carbono a nivel edáfico permiten secuestro de N_2 , CO_2 por parte del suelo y revive la importancia del recurso, por lo que es necesario conocer el estado actual y prospectar actividades que permitan su conservación.

En el campus de la Universidad del Magdalena en Santa Marta se incorporó áreas verdes y arboretos para mantener

procesos ecológicos en equilibrio, se priorizo una zona de reserva de relictos de bosque seco tropical, donde Strewé et al. (2009), evidenciaron que este ecosistema es paso obligado de aves migratorias que descansan en árboles remanentes y se convierte en isla de conservación dentro de la institución, aledaño a este se encuentra la granja agrícola donde existen diferentes cultivos y manejo de coberturas que ofrecen un entorno académico y de bienes y servicios ambientales esenciales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propuso como objetivo evaluar los efectos de uso de la tierra sobre algunas características físicas y químicas del suelo en el campus de la Universidad del Magdalena información que al ser analizada prospecta la situación del recurso y prioriza su manejo respecto a las funciones ambientales en la institución y la zona.

En el documento se observa: introducción, marco teórico que comprende una revisión bibliográfica del tema con argumentación actual sustentando la importancia de la investigación, posteriormente se encuentra el apartado de materiales y métodos donde se describe las actividades y el método utilizado, en el apartado de resultados y discusión se muestran los datos obtenidos de manera racional comparados y analizados en el contexto y finalmente se presentan las conclusiones que dan respuesta al objetivo planteado.

1. Marco teórico

Anualmente, la actividades humanas altera el ciclo del carbono, emiten 8.6 Pg de carbono (petagramo, 1015 gramos o 1 billón de kilogramos). De este carbono emitido, 3.3 Pg son absorbidos por la atmósfera y 2.2 Pg son absorbidos por el océano (Duarte, et al., 2006). De la misma forma Robert, (2002) planteo que el carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y estimo que cerca de 1500 Pg C a 1 m de profundidad.

El carbono inorgánico del suelo representa cerca de 1700 Pg pero es capturado en formas más estables tales como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos. Los flujos entre el carbono orgánico del suelo y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO_2 (Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017). El suelo constituye un reservorio importante de carbono, que funciona como fuente y sumidero CO_2 atmosférico, por lo cual tiene un papel fundamental en el cambio climático global y en las funciones del recurso.

En los últimos 150 años, las emisiones de CO_2 a la atmósfera se han incrementado en 31 %. Una de las actividades que más aporta es la combustión de fósiles, la degradación del suelo por actividades agrícolas reduce paulatinamente el contenido de materia orgánica lo que aumenta la aplicación de agroquímicos para mantener rendimientos comerciales, aumentando la emisión de CO_2 a la atmósfera y contribuye así al calentamiento global, por lo que se pretende encontrar alternativas para reducir emisiones netas de gases de efecto invernadero, una opción viable es la conservación del recurso edáfico, sumidero natural de C y la incorporación de prácticas adecuadas a la producción agrícola (Cabadiana, & Alexandra, 2016).

La reserva de carbono en el suelo comprende dos componentes: El carbono orgánico del suelo (COS) y la reserva de carbono inorgánico en el suelo (CIS). Las actividades agrícolas afectan el COS, y la degradación del carbono conlleva importantes pérdidas y representa una amenaza para la seguridad alimentaria. Pero la incorporación de prácticas sostenibles en la agricultura puede aumentar la captura del carbono en el suelo e incrementar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas; un aumento gradual de carbono orgánico en el suelo, restablece el equilibrio edáfico. La materia orgánica del suelo (MOS) es un indicador de calidad, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales entre ellas la captura de carbono. La MOS es el principal determinante de su actividad biológica, de diversidad y tiene influencia directa sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Gallardo, Delgado & Maestre, 2015).

Los estudios relacionados con los cambios progresivos en la cobertura vegetal y de uso de suelo cobran importancia, al evaluar las tendencias espacio-temporales de procesos como la deforestación y degradación ambiental, provocadas por actividades humanas y los cambios en el uso de suelo, y su impacto en la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. De mantenerse la tendencia de cambio en el uso de la tierra, lo que aumenta la variabilidad climática, la conservación del patrimonio natural que resguarda la biosfera será amenazada, por lo que deberían rediseñarse las

estrategias de manejo y monitoreo a corto y mediano plazo del recurso edáfico (Sahagún, & Reyes, 2018).

El deterioro progresivo de la calidad del suelo, conduce a pérdida de la productividad (Vallejo, 2013), y al incremento de problemas ambientales como la contaminación del recurso, el agua y el aire. En las zonas áridas y semiáridas de la región caribe colombiana, la implementación de sistemas productivos inadecuados con deficiencias en el riego, incrementa la degradación, salinización y mineralización de la materia orgánica, entre otros problemas (Molina & Lozano, 2016). Por otro lado, Hidalgo, 2018, mediante métodos de simulación a través de modelos prospecto cómo las variaciones del COS influidas por el cambio climático en una región, disminuyen el COS, para esto tomo varios escenarios dando como resultado que la reducción del C en el suelo tendrá una repercusión más negativa sobre el clima, verificado en la reducción de la capacidad del sistema para capturar carbono.

Por lo expuesto, es necesario investigar cómo el uso de la tierra afecta algunas características químicas del suelo en el campus de la Universidad del Magdalena.

2. Material y métodos

Localización. La investigación se desarrolló en el campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta Colombia (Longitud $74^{\circ} 10'56''$ W, $11^{\circ} 13' 24''$ N), Precipitación promedio anual de 672 mm, Altitud 9 msnm, temperatura y humedad relativa promedio de 29.5°C y 70% respectivamente, clima semi-árido con marcado déficit hídrico en la época seca, con climas mega-termales, con formaciones vegetales clasificadas como Zonobioma Subxerofítico (Rangel y Carvajal, 2012).

Los suelos del campus universitario (Figura 1) son de origen aluvial, con poca evolución, predominan texturas gruesas, (franco arcillo arenosa), clasificados en el orden Entisoles y suborden Psamments (Lobato, 2003). Polo (2010) los catalogó como Typic Ustipsamments con niveles bajos a medio de MO y Fe, nivel medio de Cu, Zn, CIC y contenidos altos en bases, P, Mn y B.

El trabajo se desarrolló en tres usos de suelos: natural, que corresponde a relictos de bosque seco tropical reserva ecológica del campus denominado bosque (B) con más de 20 años de edad, sistemas agrícolas (SA), que corresponden a la granja del programa de agronomía (lotes de hortalizas, Abonos verdes y mango) con un manejo intensivo convencional en riego, control fitosanitario, fertilización y preparación del terreno usados por más de 25 años; y un tercer uso, suelos de zonas verdes (ZV), que corresponden a can-



Figura 1. Localización y usos del suelo en el Campus Universidad del Magdalena.
Fuente: Adaptado por los autores de Google earth, 2018

chas de fútbol, gramas y áreas de esparcimiento establecidas hace aproximadamente 15 años.

Muestreo. Se realizó muestreo aleatorio estratificado, el área de estudio se subdividió en tres sitios y usos principales conformando los estratos o subgrupos homogéneos en el terreno y en cada uno de ellos se efectuó un muestreo aleatorio simple en cinco puntos o replicas. Cada punto fue georreferenciado, se realizó cajuela de 40 cm (largo) x 40 cm (ancho) x 40 cm (profundidad) de donde se recolectaron muestras disturbadas y sin disturbar a dos profundidades (0 a 10 cm y de 10 a 30 cm), para un total de 210 muestras que fueron procesadas en el laboratorio de suelos

de la Universidad del Magdalena para las propiedades físicas y químicas descritas en la Tabla 1, con la metodología propuesta en el manual propuesto por Zamudio *et al.* (2006).

Procesamiento estadístico de la información. Las diferencias estadísticas entre usos se evaluaron empleando elementos de la estadística descriptiva como media, desviación estándar y coeficiente de variación y a nivel inferencial, los datos se sometieron a análisis de varianza ($P < 0.05$) y prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.01$). Los datos se agruparon en componentes principales (ACP) a fin de reducir el número de variables originales a un conjunto mínimo de datos. Las variables fueron asociadas al uso del

Tabla 1.

Métodos para determinar formas de carbono en suelo.

Variable	Símbolo	Unidad	Método
pH	pH	unid	Método potenciométrico relación 1:2
Densidad aparente	Da	(g cm ⁻³)	Cilindro de vol. conocido
Densidad real	Dr	(g/cm ⁻³)	Picnómetro
Porosidad	Pt	%	Cálculo
Humedad	H	%	Multiparámetro
Temperatura	T	°C	Multiparametro
Conductividad Eléctrica	CE	dS m ⁻¹	Pasta de Saturación.
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	Cmol kg ⁻¹	absorción atómica
Carbono Orgánico	CO	%	Walkley & Black
Materia Orgánica	MO	%	CO x 1,723
Nitrógeno total	Nt	%	Digestión ácida

Fuente: Elaboración de los autores

suelo. Los análisis se realizaron con el programa estadístico R versión 3.02 (R *Development Core Team 2015 disponible en: www.r-project.org*) y la versión libre de Infostat (2015).

3. Resultados

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre usos ($P < 0.01$). La prueba de comparación de medias indicó diferencias significativas en las variables T, H, CO, Pt, MO, N, Da, y CIC, mientras que en pH y CE no evidenciaron cambio significativo respecto al uso (Tabla 2).

El análisis al interior de los sistemas agrícolas SA (Tabla 3), exhibieron que el pH y la CE no presentan diferencias entre cultivos. Mientras que el contenido de CO, MO, Pt, son parámetros sensibles al cambio de cultivo, tendencia que se mantiene cuando se compara las medidas al interior de las zonas verdes ZV (Tabla 4).

El análisis mostró diferencias significativas por sitios de muestreo, mientras que el ACP evidenció que cuatro componentes principales explicaron el 81% de la variabilidad total. Siendo el CP1 el que explica 35.31% de la variabilidad y el CP2, 23.32% de la misma (Figura 2), con significativos parámetros de ordenación. El primer componente (dimensión) separó los usos por el contenido de CO, MO y N, el segundo por Da y Pt, el CP3 por CE y el CP4 por pH y T.

En la Figura 2 se aprecia que el comportamiento de la mayoría de las variables dependió del uso y sitio de muestreo. Los usos del suelo en el campus universitario están perfectamente diferenciados dadas las propiedades de cada lugar y se presentaron asociaciones directas e inversas entre las variables medidas.

En zonas semiáridas, el uso y la cobertura del suelo, son parámetros importantes que protegen el recurso (Raimun-

Tabla 2.

Usos del suelo y medidas de las variables medidas.

Uso	pH	H %	T °C	Da g/cm ³	CE dS m ⁻¹	CIC cmol(+) kg ⁻¹	CO	Pt	MO	N
							%			
Natural o B	8.01 A	15.32 A	28.17 B	1.41 B	0.339 A	29.7 A	1.44 A	46.97 A	2.48 A	0.12 B
S. A	8.09 A	17.58 A	31.55 A	1.65 A	0.85 A	20.10 B	1.23 B	37.63 B	2.11 B	0.11 B
Z. V	7.99 A	8.09 B	31.1 A	1.59 A	0.48 A	26.79 A	1.66 A	39.87 B	2.87 A	0.14 A

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.05$ según el test de Tukey

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 3.

Medias en las variables medidas como efecto del uso de la tierra en sistemas agrícolas.

SA	pH	H %	T °C	Da g/cm ³	CE dS m ⁻¹	CIC Cmol+ kg ⁻¹	CO	Pt	MO	N
							%			
Mango	8.13 A	23.74 A	30.34 B	1.65 A	1.02 A	22.3 A	0.88 C	37.65 B	1.51 C	0.08 C
Abonos verdes	8.26 A	16.64 B	31.84 A	1.60 B	1.11 A	20 A	1.12 B	39.72 A	1.93 B	0.10 B
Hortalizas	7.90 A	12.37 C	32.47 A	1.71 A	0.42 A	18 B	1.68 A	35.5 B	2.89 A	0.14 A

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.05$ según el test de Tukey

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 4.

Medias en las variables medidas como efecto del uso de la tierra en zonas verdes.

ZV	pH	H %	T °C	Da g/cm ³	CE dS m ⁻¹	CIC Cmol+ kg ⁻¹	CO	Pt	MO	N
							%			
Gramas	7.89 A	5.06 B	31.1A	1.05 B	0.61 A	24.6 B	1.5 B	43.A	2.67 B	0.13 B
Cancha de fútbol	7.93 A	7.76 A	31.1A	1.64 A	0.32 A	31.5 A	2.0 A	38.B	3.51 A	0.12 B
Gramas	8.15 A	11.4 A	31.0 A	1.64 A	0.51 A	24.2 B	1.4 B	38.B	2.42 B	0.18 A

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.05$ según el test de Tukey.

Fuente: Elaboración de los autores

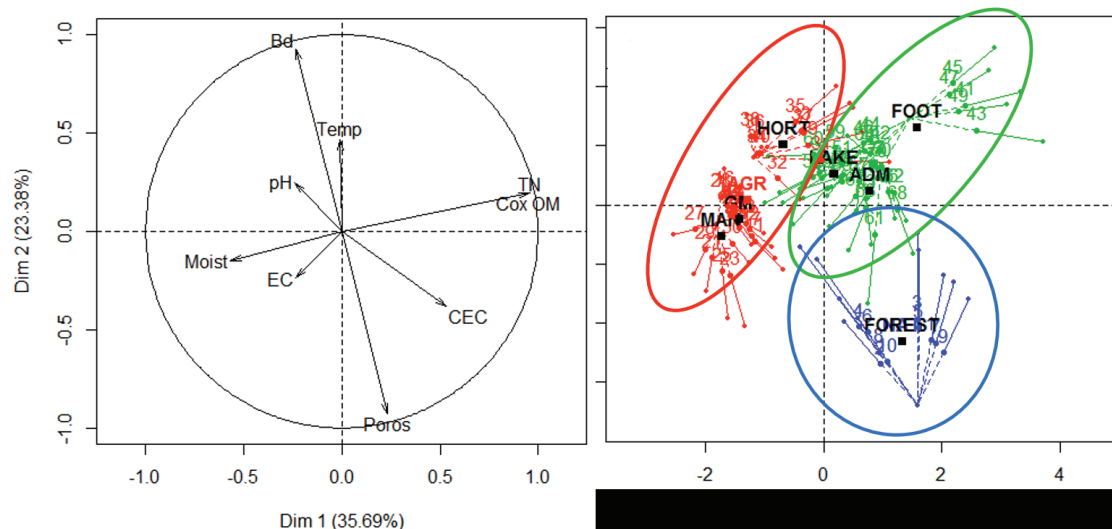


Figura 2. Aportes de las variables a la conformación de los componentes, factores o dimensiones y la distribución las variables según el uso. En verde zona natural (B), rojo sistemas agrícolas (SA) y en azul las zonas verdes (ZV).

Fuente: Elaboración de los autores.

do *et al.*, 2015). Se observó que el sistema de zonas verdes (ZV), específicamente el área de gramas alcanzó los contenidos más altos en % de MO (2.87), CO con (1.66) y N (0.14), en las praderas se alcanzan mayor aporte de biomasa, lo que significa mayor posibilidad de que el suelo retenga CO_2 y menor vulnerabilidad del recurso a la degradación.

4. Discusión

Los resultados obtenidos coinciden con Silva (1998), quien argumenta que las raíces de los pastos de ciclo de vida corto, se descomponen rápidamente y contribuyen al incremento MO y a la síntesis de humus que se lleva a cabo en la rizósfera que es más activa y extensa en estas especies. En el bosque, las raíces de larga vida (árboles) y la adición de residuos (hojas y madera) sobre la superficie del suelo aumenta el tiempo de incorporación y de descomposición de la materia orgánica (Cruz *et al.*, 2012).

Las zonas verdes del campus universitario, (gramas, cancha de Fútbol, softball, y otras áreas de esparcimiento) proveen cobertura vegetal permanente al suelo, son manejadas y mantenidas constantemente (riego, fertilización y podas, entre otras) condiciones que favorecen la producción de biomasa y por lo tanto el contenido MO, coincidiendo con lo reportado por Orjuela, Rubiano y Aguirre (2009) lo que pone de manifiesto la importancia ambiental de estas zonas como sumideros de C en la institución, que permiten mitigar el impacto de la actividad antrópica sobre el campus. Robert (2002) informó que praderas bien manejadas tienen alto potencial de captura de carbono en tierras pobres y son sistemas que incrementan la productividad primaria que

generan bioporosidad, y mayor tasa de infiltración, disminuyen la escorrentía y la erosión. El incremento del contenido de MO y carbono del suelo, pueden superar el contenido en los suelos forestales y el cambio en la biomasa de las raíces parece ser clave en la dinámica de los microorganismos, siendo mayor en los suelos de pastizales (Beniston, Dupont, Glover, Lal y Dungait, 2014).

En los relictos de bosque seco de la Universidad, la biomasa no es exuberante. Sin embargo, las capas de hojarasca que se encuentran en la superficie del suelo promueven un incremento de materia orgánica, pero por las condiciones climáticas de la zona (prolongados veranos) se genera escases hídrica lo que disminuye drásticamente la vida en el bosque.

De igual manera, el aumento de biomasa de los cultivos puede ampliar el ingreso de materia orgánica en el suelo, que en ecosistemas semiáridos está limitado por la disponibilidad de agua, temperatura, así como por las condiciones de salinidad. Los resultados en temperatura edáfica mostraron que su media es menor en la zona natural (Bosque), con diferencias significativas respecto a otros usos, pero el porcentaje de humedad no evidenció diferencias significativas con respecto a SA a pesar que los sistemas de producción agrícola poseen riego lo que sitúa en desventaja al sistema natural (B).

Es oportuno mencionar la importancia de la materia orgánica en el suelo para mantener la calidad (Lal, 2014; 2004). Por su parte, Gregorich, Greer, Anderson y Liang (1998), reportaron que el aumento en temperatura propicia pérdidas de carbono y acelera la mineralización de la MO. Sin em-

bargo, una estimación exacta es difícil por la heterogeneidad del recurso edáfico en el tiempo y espacio. Así mismo Sánchez, Buresh y Leakey (1997) discuten que el desarrollo de la agricultura implica pérdida de MO del suelo, a pesar de que se utilice prácticas amigables (residuos orgánicos, compostaje y cultivos de cobertura, entre otras). Esto concuerda con los resultados encontrados, donde en el sistema agrícola (SA) redujo significativamente el contenido de MO, respecto a los demás usos. Al respecto Bissonais (1996) mencionó que no solo el uso del suelo, sino también el tipo de labranza, afectan la calidad del recurso y asegura que prácticas inapropiadas generan sellamiento superficial y desmoronamiento de los agregados.

Lo anterior concuerda con lo obtenido en esta investigación, donde se muestra cómo la densidad aparente (D_a), propiedad directamente relacionada con la porosidad, presentó diferencias significativas entre el uso natural (bosque) con D_a de 1.41 g cm⁻³ respecto a las zonas verdes (1.59 g cm⁻³) y los sistemas agrícolas (1.65 g cm⁻³), lo que indica que existe mejor funcionalidad del sistema para el transporte de fluidos (agua) y gases en el bosque. En SA se evidenció el mayor nivel de D_a con 1.71 g cm⁻³, exponiendo que el suelo es vulnerable a la compactación y por ende a la degradación de su porosidad.

Amézquita (1999) sostiene que por los macroporos se infiltra y mueve el agua y el aire que lleva oxígeno a las raíces y dentro de ellos crecen las raíces y los pelos absorbentes de las plantas. En los mesoporos (5,0-0,2 μ m) se almacena el agua aprovechable, que no es otra cosa que la solución nutritiva del suelo, la cual es absorbida por las raíces de las plantas y que en los microporos (<0,2 μ m) se encuentran, en forma reducida, elementos como el Fe y Mn, los cuales sólo en esta forma pueden ser absorbidos por las raíces.

Así mismo Aguirre, Piraneque y Menjivar (2012), argumentan que características físicas del suelo (porosidad) constituyen un factor clave para mejorar disponibilidad y el balance de los nutrientes, ya que el comportamiento de fluidos y aire está en función de la distribución del tamaño de poros. Baja permeabilidad, alta retención de humedad con tendencia a la compactación afecta significativamente la circulación de fluidos y gases lo que interviene en el metabolismo y en el desarrollo de las plantas.

Desde otro punto de vista, algunos autores sostienen como sistemas productivos llegan a ser sostenibles (Cardona y Sadeghian, 2005; Murray, Orozco, Hernández, Lemus y Nájera, 2014), mejorando las propiedades físicas y químicas de suelos. Los sistemas agroforestales adecuadamente manejados propician el incremento de la MO y almacenamiento de carbono en el suelo (COS), lo que aumenta la velocidad de infiltración y capacidad de retención de humedad al ser

comparados con monocultivos y otros sistemas. Gelaw, Singh, y Lal (2014) y Benavides, Morales y Navia (2016), encontraron diferencias altamente significativas para usos del suelo de sistema agroforestal y el bosque con efecto positivo en las variables MO, D_a , Porosidad Total, estabilidad de agregados en agua y conductividad hidráulica respecto a otros Usos, lo que sugiere que si se conoce e interpreta holísticamente el sistema no existirá contradicción entre producción y funcionalidad del mismo.

El contenido de MO del suelo en el trópico seco está fuertemente relacionado con otras propiedades y la sostenibilidad del sistema, descenso en sus tenores aumenta la degradación del recurso, situación que se refleja en los resultados apreciados en la zona agrícola, con incremento progresivo del pH y la conductividad eléctrica y reducción en porosidad, lo que denota progreso hacia condiciones salinas y compactación, y por lo tanto, es fundamental intensificar el monitoreo en ecosistemas áridos y semiáridos, condiciones en las que se realizó este trabajo.

El establecimiento de las características de los suelos con diferentes usos en el campus de la Universidad del Magdalena permitió identificar el estado del recurso, insumo que permitirá la incorporación de este componente en los planes ambientales y será incluido en el programa integral de gestión de la institución.

Conclusiones

De los resultados mostrados, de su análisis y de su discusión, se pueden obtener las siguientes conclusiones, sobre el efecto del uso de la tierra sobre las características edáficas del campus universitario de la Universidad del Magdalena.

- Las variables analizadas se relacionan según el uso actual del recurso.
- Las zonas verdes presentaron los mayores contenidos de carbono, lo que las prioriza como sumideros de dióxido de carbono (CO₂) su conservación contribuye a mitigar el impacto que genera la actividad humana.
- En el bosque o sistema natural se evidencio mayor porosidad lo que contribuye a la regulación hídrica función indispensable en el mantenimiento del acuífero.
- En los sistemas agrícolas se presentaron los valores más altos de conductividad eléctrica y pH. Señalando que el sistema agrícola está perdiendo funciones eco sistémicas para el almacenamiento de carbono y de regulación hídrica.
- El uso del suelo incide de forma directa sobre las características físicas y químicas del recurso por lo que se requiere su seguimiento para un manejo adecuado en la zona de estudio. ■■■

Agradecimientos

Los Autores expresan su agradecimiento a la vicerrectoría de Investigación de la Universidad del Magdalena por la financiación del proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

- AGUIRRE, Sonia.; PIRANEQUE, Nelson y MENJIVAR, Juan. Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la zona bananera del Magdalena-Colombia. *En: Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 2012. vol. 3, p. 13-25
- AMÉZQUITA, Edgar. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. *En: Revista Palmas*. 1999. vol. 20, no. 1, p. 73-86
- BENISTON, Joshua; DUPONT, Tianna; GLOVER, Jerry; LAL, Rattan, and DUNGAIT, Jennifer. Soil organic carbon dynamics 75 years after land-use change in perennial grassland and annual wheat agricultural systems. *In: Biogeochemistry*, 2014. vol. 120, no. 1-3, p. 37-49.
- BENAVIDES, E.; MORALES, L.; & NAVIA, J. Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego. *En: Colombia. Revista Agroforestería Neotropical*. 2016. vol. 1, no. 5, p. 27-41
- BISSONNAIS, Y. le. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *In: European Journal of soil science*. 1996. vol. 47, no. 4, p. 425-437
- CABADIANA, A. & ALEXANDRA, M. Evaluación del contenido de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo según su uso en tres agroecosistemas (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). 2016. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/6579>
- CARDONA, Alejandro; SADEGHIAN, Siavosh. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *En: Revista Cenicafé*. 2005. vol. 56, no. 4, p. 348-64
- CASTAÑEDA-MARTÍN, Abel Efrén; MONTES-PULIDO, Carmen Rosa. Carbono almacenado en páramo andino. *En: Entramado*. Enero - junio, 2017. vol. 13, no. 1, p. 210-221 <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- CEPAL, NU. *En: La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. 2015. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656_es.pdf;jsessionid=FCC1EAB4228A726A850DBAD50DB-B5F3F?sequence=4 (accesado el 17 de junio de 2017)
- CRUZ, E.; CRUZ, A.; AGUILERA, L.; NORMAN, H.; VELÁZQUEZ, R.; NAVA, G., & REYES, B. Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *En: Terra Latinoamericana*. 2012. vol. 30, no. 2, p. 189-197
- DUARTE, C. M., Alonso, S., BENITO, G., DACHS, J., MONTES, C., PARDO BUENDÍA, M., & VALLADARES, F. Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. 2006. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.
- HIDALGO, M. G. Simulación de la dinámica del carbono orgánico del suelo frente al cambio climático en Matanzas. *En: Revista Ingeniería Agrícola*. 2018. vol. 6, no. 3. p. 54-59.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). *En: Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia*. 2015. Disponible en: documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/.../documento_nacional_departamental.pdf. (accesado el 12 de mayo de 2017).
- GALLARDO, A., DELGADO B., M., & MAESTRE, F. T. Vulnerabilidad de los ciclos de nutrientes y los procesos del suelo frente a los principales impactos del cambio climático. Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático. 2015. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, Madrid España. p. 353-360. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/portadayautorespapel2_tcm30-70198.pdf
- GELAW, Aweke; SINGH, B. and LAL, R. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia. *In: Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014. vol. 188, p. 256-263
- GREGORICH, G.; GREER, J.; ANDERSON, W.; LIANG, B. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *In: Soil & Tillage Research*. 1998. vol. 47, no. 3, p. 291-302
- MOLINA, L y LOZANO, L. The desertification of the soil, aspects and control strategies. *In: Journal specializing in engineering*. 2016. Vol. 10. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1591/1938>
- MURRAY, R.; OROZCO, G.; HERNÁNDEZ, A.; LEMUS, C.; y NÁJERA, O. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *En: Avances en Investigación Agropecuaria*. 2014. vol. 18, no. 1, p. 23-31
- LAL, Ratan. Societal value of soil carbon. *In: Journal of Soil and Water Conservation*. 2014. vol. 69, no. 6, p. 186A-192A
- LAL, Ratan. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *In: Science*. 2004. vol. 304, no. 5677, p. 1623-1627
- LOBATO, R. *En: Mapa taxonómico de los suelos de la Universidad del Magdalena*. 2003. 36p
- ORJUELA, Rodrigo.; RUBIANO, Yolanda y AGUIRRE, Sonia. Variación de algunas propiedades biológicas del suelo bajo dos sistemas productivos conservacionistas en la cuenca alta del río Chicamocha. *En: Suelos Ecuatoriales*. 2009. Vol. 39, no. 1, p. 72-76 <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWVpbnxzZWVsb3NIY3VhdG9yaWFsZXN8Z3g6NzI5MDQ2YWMxZTk0ZjE4MA>
- POLO, José.; GARCIA, Diosdado y FLORES, Juan. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *En: Acta Agronómica*. 2010. vol. 59, no. 4, p. 449 https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/20129
- RAIMUNDO, F.; COUTINHO, João; MARTINS, Afonso and MADEIRA, Manuel. Soil management system effects on N availability and tree productivity in chestnut plantations under Mediterranean conditions. *In: Revista de Ciências Agrárias*. 2015. vol. 38, no. 4, p. 547-563 http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0871-018X2015000400007&lng=pt&nrm=iso&tng=en
- RANGEL Orlando, CARVAJAL, Juan. Clima de la región Caribe colombiana. *En: Colombia Diversidad Biótica XII: La región Caribe de Colombia*. Bogotá: Instituto de Ciencia Naturales, Universidad Nacio-

- nal de Colombia. 2012. p. 67-129. Disponible en: <http://www.uneditorial.net/pdf/TomoXII.pdf> (accesado el 10 de julio de 2017)
26. ROBERT, M. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma: FAO Food & Agriculture. 2002. 69 p. serie Informes sobre recursos mundiales de suelos. ISSN 1020-4030-X <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>
27. SÁNCHEZ, P.; BURESH, Roland and LEAKEY Roger. Trees, soils and food security. In: Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1997. vol. 353, no. 1356, p. 949-961. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/352/1356/949>
28. SAHAGÚN-SÁNCHEZ, F. J., & REYES-Hernández, H. Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. En: Ciencia UAT. 2018. vol. 12, no. 2, p. 6-21. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582018000100006&script=sci_arttext
29. SILVA, Alfredo. La materia orgánica del suelo. Montevideo: Facultad de Agronomía. 1998. 34p. Disponible en: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/materia%20organica%20del%20suelo.pdf> (accesado el 23 de mayo de 2017)
30. STREWE, R; VILLA-De León, C; ALZATE, J; BELTRÁN, J; MOYA, J; NAVARRO, C; & UTRIA, G. 2009. Las aves del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. En: Intropica. 2009. vol. 4, p. 79. Disponible en: <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/141>
31. VALLEJO-Quintero, V. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. En: Colombia Forestal. 2013. vol. 16, núm. 1, pp. 83-99. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939619006>
32. ZAMUDIO, Adriana; CARRASCAL, C; PULIDO, J; GALLARDO, E; ÁVILA, M; VARGAS, A; & VERA, D. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 6ª edición. Subdirección de Agrología. 2006, 648 p. ISBN: 9789589067987