



INFLUENCIA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE ECOSISTEMAS-ALTO ANDINOS

Claudia X. Martínez¹ ✉, Isabel Bravo², Francisco J. Martín³

¹Universidad del Cauca
Grupo de Agroquímica,
departamento de Química
²Universidad del Cauca
Grupo de Agroquímica,
departamento de Química
³Universidad de Granada
(España), departamento
de Edafología y Química
Agrícola

✉
cxmartinez2@gmail.com

Palabras clave:
ciclo del carbono; suelos
Altoandinos; gases efecto
invernadero; cambio
climático global.

RESUMEN

La dinámica del ecosistema terrestre depende de las interacciones entre los ciclos biogeoquímicos, particularmente el ciclo del carbono, ciclo de nutrientes y el ciclo hidrológico, que pueden ser modificados por actividades humanas. La materia orgánica del suelo (MOS), contribuye a la fijación de carbono (C) en suelos y a mitigar la emisión de gases efecto invernadero (GEI). Por ello se estudió el almacenamiento de carbono en suelos de bosque, tierras de cultivo y pastura en Typic Hapludands de ecosistemas Altoandinos con el fin de determinar la influencia del cambio de uso en el almacenamiento de C en el suelo. Se recolectó muestras de suelo de seis parcelas, una de cultivo, tres de bosque y dos de pastura. El almacenamiento de carbono se cuantificó teniendo en cuenta la densidad aparente y el espesor del horizonte A de cada sistema de uso. El almacenamiento de C, fue significativamente superior en suelo de cultivo, y los menores valores fueron para suelos de pasturas. Estos resultados muestran la influencia del sistema de uso y de las propiedades físicas y químicas de los suelos en el proceso de transformación de la materia orgánica, por lo que exhiben altos contenidos de almacenamiento de carbono que contribuye a mitigar el cambio climático global.

INFLUENCE OF THE SOIL USE CHANGE IN THE CARBON STORAGE OF HIGH ANDEAN ECOSYSTEMS

Key words:
carbon cycle; high Andean
soils; greenhouse gases;
global climate change

**SUELOS
ECUATORIALES**
44 (1): 29-34

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

The dynamics of the terrestrial ecosystem depends on the interactions between biogeochemical cycles, particularly the carbon cycle, nutrients cycle and the hydrological cycle, which can be modified by human activities. Soil organic matter (SOM), contribute to carbon (C) fixation in soils and to mitigating the emission of greenhouse gases (GHG). We studied the carbon storage in soils of forest, crop and pasture in Typic Hapludands of High Andean ecosystems to determine the influence of the use change in the carbon storage in soils. Soil samples were collected from six plots, one of crop, three of forest, and two of pasture. Carbon storage was quantified bearing in mind bulk density and depth of the horizon A of every use system. Carbon storage, was significantly increased in soil of crop, and the lowest values were for pasture soils. Results show the influence of the soil use and of the physical and chemical properties of soils in transformation processes of soil organic matter, therefore exhibit high content of carbon storage, what contribute to mitigating Global Climate Change.

INTRODUCCIÓN

En el ciclo del carbono juega un papel importante el carbono retenido en la biomasa viva, materia orgánica descompuesta y en el suelo. Los mayores depósitos de carbono se encuentran en los sedimentos, océanos, combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y en la materia orgánica del suelo. Las plantas también fijan y almacenan carbono. Si el sistema global está en un estado de equilibrio dinámico, la concentración de CO₂ en la atmósfera permanece constante. El carbono, principalmente en forma de CO₂, se intercambia mediante procesos naturales entre la atmósfera, la vegetación terrestre, y la hidrosfera. El ciclo se lleva a cabo por la fotosíntesis en plantas, respiración en organismos, y por la disolución de CO₂ en el agua y depende de factores climáticos como temperatura y precipitación, por lo que entre otras cosas, los cambios estacionales influyen en las concentraciones de CO₂. En condiciones naturales, sin intervenciones antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, y fertilización, el carbono se movería en un ciclo natural que estaría en equilibrio (Robert, 2002).

El almacenamiento de carbono en el suelo depende de los principales factores relacionados con la formación del suelo a largo plazo, que pueden ser fuertemente modificados – degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra. La expansión de la frontera agrícola es un problema latente para la biodiversidad, puesto que cada vez se demanda más producción de alimentos y materias primas. Por esta razón, en las últimas décadas, se vienen ocupando ecosistemas naturales para la producción masiva de alimentos, provocando disminución de la biodiversidad, pérdida de la capacidad de intercepción, almacenamiento y regulación hídrica de los suelos, incremento de los fenómenos de erosión y aumento en la emisión de gases efecto invernadero. Otra causa de emisión de gases efecto invernadero se asocia a la actividad agrícola con el uso inadecuado de diferentes agroquímicos, que generan, además, graves problemas de contaminación ambiental.

En la actualidad, los procesos relacionados con el almacenamiento de carbono en el suelo, constituyen áreas de investigación de gran importancia. Tras el establecimiento del Protocolo de Kyoto sobre cambio climático, donde se planteó la necesidad de crear una

amplia base de datos que permita originar políticas claras respecto a cómo enfrentar la problemática a nivel global, se puso de manifiesto la importancia de los suelos como sumideros de carbono atmosférico y su contribución a la mitigación del cambio climático. El carbono orgánico del suelo (Corg), representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera (Robert, 2002). La cantidad de C total presente en la tierra es casi constante, sin embargo, las formas y cantidad de C de los diferentes compartimentos geoquímicos (atmósfera, biosfera, pedosfera, hidrosfera y litosfera) no son constantes, y las transferencias tienen lugar como consecuencia de los ciclos naturales o actividades antropogénicas, existiendo pérdidas por flujo de compuestos de carbono de bajo peso molecular a la atmósfera (Macías y Camps 2010).

Considerando la importancia de los suelos Altoandinos de la microcuenca Santa Teresa (subcuenca río Las Piedras) como fuente de regulación hídrica que alimenta a la Cuenca del Río Cauca, y su importancia para el ciclo global del carbono, el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del cambio de uso en suelos altoandinos y la contribución a la mitigación del cambio climático global estimada mediante el almacenamiento de carbono en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y muestreo.

El trabajo se desarrolló en suelos altoandinos de la subcuenca río Las Piedras, localizados entre las coordenadas 2° 26' 17.73" N, 76° 24' 17.32" W, en alturas de 2850 a 3238 msnm, con clima frío-húmedo (temperatura media anual de 10.4°C y precipitaciones medias anuales entre 1050 a 1200 mm). Los suelos estudiados pertenecen al orden *Andisoles*, suborden *Udands*, gran grupon *Hapludands* y subgrupo *Typic*, desarrollados a partir de cenizas volcánicas, son profundos y presentan buen drenaje (Soil Survey Staff, 2010).

Las unidades experimentales se seleccionaron considerando el uso de suelo (con sistemas de bosque, cultivo de papa y pastura) e inclinación en la zona. Teniendo en cuenta el área dedicada a cada uso y con base en los resultados previos de Corg del suelo se aplica la metodología de Pearson (Pearson *et al.* 2005), con el fin de identificar el número de parcelas,

obteniéndose: tres unidades de muestreo para bosque, dos para pastura y una para cultivo, para un total de seis unidades experimentales (parcelas), dando como resultado un diseño experimental aleatorio estratificado.

Las muestras de los tres usos de suelo se tomaron en el horizonte A. Cada parcela se delimitó por una cuadrícula de 400 m², y las unidades de muestreo separadas cada 5 m estuvieron debidamente georeferenciadas usando GPS Garmin 60CS (Van Der Kamp *et al.* 2009; Pearson *et al.* 2005; Casal y Mateu, 2003). En cada parcela se tomaron 25 submuestras de 1 Kg para formar la correspondiente muestra compuesta. El grado de inclinación se midió usando un CLINOMETRO Konus y varió de 6° a 33°. El plan de muestreo es aleatorio estratificado (Casal y Mateu, 2003; Alef y Nannipieri, 1995).

Las muestras compuestas de suelo se secaron a temperatura ambiente y tamizaron por malla No.10. Las propiedades físicas y químicas de los suelos se analizaron de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC ISO/IEC 17025:2005 siguiendo la metodología descrita por el IGAC (2006) y las metodologías estandarizadas en el Laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca (Bravo y Giraldo, 2003).

Cuantificación del almacenamiento de carbono en el suelo.

Para evaluar la influencia del cambio de uso de suelo sobre el almacenamiento de carbono en el suelo, se realizó esta investigación cuantitativa, comparativa como prueba de hipótesis. El experimento de campo llevado a cabo fue observacional, con un diseño transversal, que permite identificar la asociación entre el almacenamiento de carbono y el uso de suelo, en un período puntual.

El almacenamiento de C se cuantificó en el horizonte A de cada uso, teniendo en cuenta la descripción de Baker *et al.* (2007) quienes señalan que la concentración más alta de C se encuentra cerca a la superficie en suelos con sistemas de labranza de conservación, y que a profundidades mayores a 30 cm no se muestra ninguna ganancia de C.

El almacenamiento de C se estimó mediante la Ecuación 1 (Carvalho *et al.* 2009; Avila *et al.* 2012; Delgadillo y Quechulpa, 2006), utilizando el porcentaje de Corg del suelo determinado por el método de Walkley Black colorimétrico; la Dap que corresponde a la densidad del suelo es determinada por el método del cilindro y la profundidad a la cual se tomó la muestra en el horizonte A, siendo 20 cm para suelos de bosques y cultivo y 10 cm para suelos de pastura.

Ecuación 1

$$\text{COS (tonC/ha)} = \text{Corg} \times \text{Dap} \times \text{espesor del horizonte}$$

Donde COS= almacenamiento de C en ton C/ha suelo

Corg= gramos de Corg en 100 g de suelo

Dap= densidad aparente en (g/cm³) del suelo

Espesor del horizonte en suelo en cm

1 ha = 1x 10⁸ cm².

1 ton C= 1X10⁶ g C

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de propiedades físicas y químicas de los suelos

Los resultados de las propiedades físicas y químicas de los suelos con diferente uso, se muestran en la Tabla 1 y son el producto de tres réplicas. La letra S se refiere a suelo seguida de cada uso: cultivo, bosque I, bosque II, bosque III, pastura II, pastura III que corresponden a las seis unidades experimentales.

Tabla 1. Resultados propiedades físicas y químicas de los suelos con diferente uso

a) PROPIEDADES FÍSICAS						
Muestra	Humedad higroscópica (%)	Da (g.cm ⁻³)	Arenas (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Textura
S-cultivo	14,34 ^c	0.70 ^b	68,27 ^s	8,73 ^c	23,01 ^a	Franco Arenosa
S-bosque I	13,78 ^t	0.90 ^a	72,29 ^e	7,88 ^d	19,83 ^c	Franco Arenosa
S-bosque II	19,72 ^a	0.53 ^e	70,76 ^t	6,76 ^s	22,48 ^b	Franco Arenosa
S-bosque III	18,80 ^b	0.52 ^e	78,74 ^a	6,85 ^t	14,41 ^t	Franco Arenosa
S-pastura II	19,85 ^a	0.63 ^{cb}	77,65 ^b	7,57 ^e	14,79 ^e	Franco Arenosa
S-pastura III	18,45 ^c	0.60 ^{dc}	76,17 ^c	8,81 ^b	15,03 ^e	Franco Arenosa

Tabla 1. Resultados propiedades físicas y químicas de los suelos con diferente uso (Continuación)

b) PROPIEDADES QUÍMICAS							
Muestra	pH	Corg %	N	C/N	Acidez	Al	P mg.kg ⁻¹
					Intercambiable	Intercambiable	
					Cmol+/kg		
S-cultivo	5.05 ^d	12,50 ^a	0,91 ^d	13,78 ^a	1,26 ^c	0,99 ^c	68,71 ^a
S-bosque I	5.14 ^c	7,48 ^f	0,56 ^f	13,24 ^b	1,17 ^d	0,96 ^d	6,38 ^c
S-bosque II	4.96 ^f	11,80 ^c	0,92 ^d	12,84 ^c	2,32 ^b	2,02 ^b	9,5 ^b
S-bosque III	4.33 ^g	11,91 ^b	1,10 ^a	10,86 ^e	2,52 ^a	2,15 ^a	5,64 ^f
S-pastura II	5.16 ^b	10,53 ^d	1,06 ^b	9,98 ^g	0,95 ^f	0,63 ^e	6,71 ^d
S-pastura III	5.24 ^a	10,58 ^d	1,03 ^c	10,31 ^f	0,83 ^g	0,65 ^e	7,07 ^c

c) CIC y BASES DE CAMBIO					
Muestra	CIC	Ca	Mg	Na	K
S-cultivo	47,22 ^a	3,09 ^a	1,01 ^a	0,69 ^a	0,72 ^a
S-bosque I	39,55 ^g	0,65 ^d	0,28 ^e	0,42 ^d	0,31 ^e
S-bosque II	45,68 ^c	0,27 ^f	0,27 ^e	0,53 ^b	0,38 ^d
S-bosque III	46,61 ^b	0,39 ^e	0,31 ^d	0,33 ^e	0,37 ^d
S-pastura II	43,58 ^e	2,74 ^b	0,51 ^c	0,30 ^f	0,39 ^c
S-pastura III	44,56 ^d	3,06 ^a	0,69 ^b	0,44 ^c	0,41 ^b

Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes $p=0,05$.

Las propiedades físicas-químicas de los suelos presentan diferencia significativa, incluso dentro del mismo uso. La densidad aparente es baja, producto de altos contenidos de materia orgánica (12,89-21,55%), las arcillas presentan un nivel bajo (6,76 a 9,68 %) que demuestra pérdida de partículas finas evidenciando un proceso de erosión severo en estos suelos (Silva, 2000).

Entre los factores que determinan el contenido de MOS se encuentra el pH y la relación C/N la cual en todos los casos está dentro de un rango normal. En principio la rata de mineralización es igual a la rata de inmovilización del N y se presenta una mineralización normal de la MOS, con excepción del suelo de pastura II que exhibe alta mineralización. Sin embargo, la acumulación de MOS en la mayoría de los suelos no demuestra una mineralización normal, por el contrario hay acumulación de materia orgánica en estos suelos. Lo que conlleva a concluir que existe fijación simbiótica y/o asimbiótica de N en todos los suelos por los altos contenidos observados de este elemento. En el cultivo la relación C/N es significativamente superior y podría resultar de la aplicación de abonos orgánicos que incrementan el nivel de Corg.

Los valores bajos de pH corresponden a acidez extrema para el bosque III, muy fuerte para el bosque II y fuerte para los demás usos, acidez que proviene tanto de la MOS como del Aluminio, teniendo más

influencia este último demostrada por la asociación lineal negativa, y significativa entre el pH y Al intercambiable (Coeficiente de Pearson $-0,821^{**}$), mientras que la correlación con la MOS es negativa pero no significativa. Los suelos de bosque II y bosque III presentan contenidos de Al significativamente superiores y acidez más fuerte.

La acidez intercambiable proviene principalmente del Al intercambiable con niveles bajos excepto en los suelos de bosque II y III en los cuales el nivel está en un rango medio. El bajo contenido de Al intercambiable es producto de su complejación con aniones orgánicos provenientes de la MOS.

La fuerte acidez conlleva a lavado y pérdida de bases, como el Ca, observándose deficiencia en todos los suelos, con excepción de cultivo y pastura III. La correlación significativa y positiva entre estos dos parámetros (Coeficiente de Pearson $0,561^{**}$) corrobora dicha afirmación. Igualmente produce pérdida de Mg y tiene efecto en la disponibilidad de P observándose deficiencia en todos los suelos debido a su inmovilización por adsorción específica sobre los alofanos. La contribución de alofanos a la CIC es baja, por la fuerte acidez de este tipo de suelos y por el pequeño espacio interlaminar. Por tanto, la alta CIC, se atribuye principalmente a la MOS como se demuestra con la correlación positiva significativa

entre estas dos variables, (Coeficiente de Pearson 0,979**). La mayor contribución de cargas negativas de la MOS en estos suelos se debe al coloide húmico por hidrólisis del H⁺ de los grupos carboxílicos, fenólicos y en menor grado los grupos alcohólicos, metoxilícos y amínicos.

Se resalta la influencia del cambio de uso de suelo a cultivo en donde la aplicación de abonos orgánicos, corrección de acidez, suministro de nutrientes y manejo conservacionista del suelo modifican las propiedades físicas y químicas de este suelo incrementando su nivel de fertilidad.

Almacenamiento de carbono

El almacenamiento de C en suelos altoandinos *Typic Hapludands* de la microcuenca Santa Teresa es alto (Tabla 2) si se compara con otros *Typic Hapludands* de la cordillera Oriental Andina, en jurisdicción del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca (Avila *et al.* 2010). La correlación positiva y altamente significativa (coeficiente de Pearson = 0,845**) con la relación C/N confirma la relación inversa entre el almacenamiento de C y la mineralización.

Tabla 2. Almacenamiento de C en los diferentes usos de suelo

Uso de suelo	Almacenamiento de C Suelo (Ton C/ ha)
cultivo	175 ^a
bosque I	135 ^b
bosque II	125 ^c
bosque III	124 ^c
pastura II	66 ^d
pastura III	64 ^e

El cambio de uso de suelo de bosque a cultivo incrementa significativamente el almacenamiento de C en el suelo, probablemente la aplicación de abonos orgánicos y el sistema de labranza conservacionista del suelo de cultivo, contribuye al mantenimiento de la estructura integral de los agregados del suelo, reduciendo la degradación del suelo, almacenando mayor contenido de carbono y reduciendo la emisión de gases efecto invernadero. Esta labranza provoca una descomposición gradual de la materia orgánica asociada a la fracción mineral, garantizando una disminución de flujo continuo y energía que permite la acumulación del C en el suelo. Además la corrección en la deficiencia de P incrementa el almacenamiento de C como se demuestra por la correlación positiva y altamente significativa con el

fósforo (coeficiente de Pearson = 0,689**) porque se mejoran las condiciones nutricionales para los microorganismos encargados del proceso de biosíntesis.

En tanto que el cambio a pastura produce disminución altamente significativa del C almacenado en el suelo, asociado a la disminución en el espesor del horizonte A por procesos de compactación que impiden una adecuada transformación a materia orgánica humificada estable. El pastoreo en estos suelos es extensivo por lo tanto el aporte de materia orgánica proveniente del ganado no se ve reflejado en el almacenamiento de C.

El alto valor de almacenamiento de C constituye una ventaja ambiental que evita pérdidas de carbono por procesos de mineralización y por un manejo inadecuado del suelo, ya que el carbono almacenado en el suelo mayoritariamente se encuentra en la materia orgánica humificada y no es susceptible a alta mineralización. El C almacenado en el suelo de cultivo es significativamente superior y el C almacenado en los suelos de pasturas es significativamente inferior al de todos los demás usos.

En el uso de bosque, el suelo de bosque I almacena más C, y es significativamente superior al de los bosques II y III indicando diferencias en el proceso de humificación.

El cambio de uso influye drásticamente en el almacenamiento de C en los suelos. Gran parte del C atmosférico captado por los bosques a través de la biomasa aérea que es el mayor contribuyente a sus reservas de C, se acumula en el suelo debido a las condiciones de clima frío húmedo y temperatura de la zona que ocasionan procesos de transformación lentos de la materia orgánica. Se encuentran altos contenidos de Corg en la hojarasca de estos bosques: 30,51%, 26,91% y 29,53% en bosque I, bosque II y bosque III respectivamente. El carbono orgánico (Corg) tiene una influencia marcada en la capacidad de retención de agua y nutrientes y en el adecuado desarrollo de la estructura de los suelos; así mismo, al aumentar el Corg del suelo se reduce significativamente las emisiones de CO₂ y se contribuye a mitigar el cambio climático (Burbano y Silva, 2010).

CONCLUSIONES

Los suelos altoandinos de la microcuenca Santa Teresa (subcuenca río Las Piedras) analizados, tienen capacidad de estabilizar grandes cantidades de MOS.

El almacenamiento de carbono en todos los suelos es positivo, demostrando la circulación de cantidades de C de la atmósfera mediante procesos de fotosíntesis, mineralización y humificación, y favorecido especialmente por los procesos pedogenéticos que promueven el desarrollo de horizontes ricos en materia orgánica y el crecimiento de biomasa.

Las bondades del suelo de cultivo se manifiestan en contenido de Corg y almacenamiento de carbono estable, sin embargo no se pudo asegurar que el efecto positivo se mantenga por largos períodos de tiempo.

El cambio de uso de suelo de los tres bosques a cultivo produce incremento en el almacenamiento de C en el suelo, mientras que el cambio de bosques a pasturas produce efecto contrario. Así, la mayor contribución al cambio climático por disminución en la emisión de gases efecto invernadero la constituyen en orden descendente Suelos de cultivo, Suelos de bosques y Suelos de pastura.

REFERENCIAS

- ALEF K, NANNIPIERI P (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London, 49-121 p.
- AVILA E, MARTÍNEZ L, LEIVA F (2012). Influencia del uso de la tierra sobre el almacenamiento de carbono orgánico en dos Andisoles de la Cordillera Oriental Andina. En: Memorias XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, 128 p.
- BAKER JM, OCHSNER TE, VENTEREA RT, GRIFFIS TJ (2007). Tillage and soil carbon sequestration what do we really know?. *Agric. Ecosyst. Environ* 118: 1-5.
- BRAVO I, GIRALDO E (2003). Manual de prácticas de química agrícola: Análisis de suelos. Editorial Universidad del Cauca, Popayán, 76 p.
- BURBANO OH, SILVA MF (2010). Ciencia del Suelo. Principios básicos. Primera ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, 310 p.
- CASAL J, MATEU E (2003). Tipos de muestreo. *Epidem. Med. Prev* 1: 3-7.
- CARVALHO JLN, CERRI CEP, FEIGL BJ, PICCOLO MC, GODINHO VP, CERRI CC (2009). Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research* 103: 342-349.
- DELGADILLO M, QUECHULPA S (2006). Manual de Monitoreo de carbono en sistemas agroforestales. Comisión Nacional Forestal México, México
- IGAC (2006). Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. VI ed. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá.
- MACIAS F, CAMPS A (2010). Soil carbon sequestration in a changing global environment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 15: 6: 511.
- PEARSON T, WALKER S, BROWN S (2005). Sourcebook for Land use, land-use change and forestry project. [online]. Winrock, I., Ed. Available from internet:<http://www.winrock.org/ecosystems/files/winrock-biocarbon_fund_sourcebook-compressed.pdf>.
- ROBERT M (2002). Captura de C en los suelos para un mejor manejo de la tierra [online]. FAO, Ed. Roma, 4-57 p. Available from internet:<<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96s.pdf>>.
- SILVA MF (2000). Fundamentos para la interpretación de análisis de los suelos, plantas y aguas de riego. Tercera edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
- SOIL SURVEY STAFF (2010). Keys to Soil Taxonomy. Eleventh Edition. United States Department of Agriculture, Washington.
- VAN DER KAMP J, YASSIR I, BUURMAN P (2009). Soil carbon changes upon secondary succession in Imperata grasslands (East Kalimantan, Indonesia). *Geoderma*. 149: 1-2: 76-83 p.