



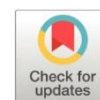


Carbono en el suelo de bosque secundario y pasturas

Soil Carbon in secondary forest and grass

- ¹ Raúl Armando Ramos Veintimilla  <https://orcid.org/0000-0001-5181-1039>
Docente, Facultad de Recursos Naturales, Carrera Ingeniería Forestal, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba-Ecuador.
raul.ramos@esPOCH.edu.ec
- ² Roy Vera Vélez  <https://orcid.org/0000-0002-4716-4390>
Department of Plant Sciences, University of Saskatchewan. 51 Campus Drive, Saskatoon, SK. S7N 5A8-Canada
roy.vera@usask.ca
- ³ Jorge Eduardo Grijalva Olmedo  <https://orcid.org/0000-0001-8301-531X>
Docente, Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador
jgrijalva@uce.edu.ec
- ⁴ Mario Rolando Ramos Veintimilla  <https://orcid.org/0000-0003-2264-2808>
Investigador Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Ecuador.
mario.ramos@iniap.gob.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 09/07/2022

Revisado: 24/08/2022

Aceptado: 05/09/2022

Publicado: 16/09/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2.2322>

Cítese:

Ramos Veintimilla, R. A., Vera Vélez, R., Grijalva Olmedo, J. E., & Ramos Veintimilla, M. R. (2022). Carbono en el suelo de bosque secundario y pasturas. *ConcienciaDigital*, 5(3.2), 91-106. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2.2322>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras claves:

Fraccionamiento del carbono orgánico, pasivo, lento, lábil, suelo, sumidero.

Keywords:

Fractioning of organic carbon, passive, slow, labile, soil, carbon sink.

Resumen

Introducción: El suelo contiene la mayor reserva de carbono orgánico de los ecosistemas terrestres y quizá es el recurso natural de mayor vulnerabilidad al cambio climático. **Objetivo:** Determinar cómo influye el cambio de uso de la tierra en el secuestro de carbono orgánico y su fraccionamiento en el suelo de bosque secundario y pasturas. **Metodología:** La investigación se condujo en San Miguel de Barranca, Puntarenas, Costa Rica, a un rango altitudinal de 150 a 200 m.s.n.m. precipitación de 2043 mm año⁻¹, relieve quebrado y fuertes pendientes (23-55%). Estudiamos pasturas mejoradas más árboles (PmA), pasturas degradadas (Pd) y bosque secundario (Bs). En cada repetición del sistema evaluado se hicieron nueve puntos de muestreo, tres calicatas (1x1x1 m) centrales en dirección a la pendiente y seis mini-calicatas (0.5x0.5x0.5 m) distribuidas equidistantemente a 20 m entre ellas. En laboratorio el fraccionamiento fue físico químico y se determinó en autoanalizador modelo Flash EA 1112. **Resultados:** El mayor valor de carbono orgánico almacenado en suelo, hasta 0,8 m de profundidad, presentó el sistema PmA (141,79 Mg ha⁻¹), seguido del Pd (133,22 Mg ha⁻¹) y el menor valor registró el Bs (85,80 Mg ha⁻¹); de los cuales, los sistemas con pasturas presentaron el 68,2 % carbono pasivo y el 65% el bosque secundario. **Discusión:** La tendencia PmA > Pd > Bs probablemente se deba algún fenómeno biofísico, topográfico y acompañado de las fuertes precipitaciones pudo haber influenciado cíclicamente para que el carbono en el suelo de bosque secundario sea menor. **Conclusiones:** Entre 0 y 20 cm de profundidad del suelo, se encuentra el 50% del carbono orgánico total secuestrado, y en gran medida en la forma lábil por lo que probablemente se libere debido a la deforestación o al cambio climático. Esto nos intuye en la necesidad de preservar las áreas boscosas y restaurar áreas degradadas.

Abstract

Introduction: Soil contains the largest reserve of organic carbon in terrestrial ecosystems, and it is the natural resource with the greatest vulnerability to climate change. **Objective:** To determine to what extent land use change influences carbon sequestration and fractioning in secondary forests and pastures soil. **Methodology:** This study was conducted in San Miguel de

Barranca, Puntarenas, Costa Rica. Elevation at this location range from 150 to 200 m.a.s.l., average annual rainfall of 2043 mm, and rough terrain with 23-55% steep slopes. We investigated three systems, mixed improved pastures with trees (PmA), degraded pastures (Pd), and secondary forest (Bs). Each replication had nine sampling points: three main trial pits (1x1x1m) across the slope and six mini-trial pits (0.5 x0.5 x0.5m) evenly spaced along a 20m transect. Laboratory analysis consisted of soil physical-chemical fractioning with a Flash EA 1112 autoanalyzer. **Results:** PmA system stored the highest value of organic carbon in the soil (141.79 Mg ha⁻¹) up to 0.8 m deep, followed by Pd (133.22 Mg ha⁻¹) and Bs (85.80 Mg ha⁻¹). Pasture systems displayed 68.2% passive carbon and 65% in secondary forests. **Discussion:** The carbon storage trend PmA > Pd > Bs is likely due to biophysical and topographical phenomena linked to heavy rainfall. Precipitation could have influenced the carbon cycle in the secondary forest floor to have the lowest value. **Conclusions:** 50% of the total organic carbon is stored between 0 and 20 cm deep in the soil and, to a considerable extent, in the labile form. Carbon is released due to deforestation or ecological anomalies associated with climate change. Our results show the need to preserve forested areas and restore degraded areas.

Introducción

A nivel mundial y en América Latina, en particular, durante las últimas décadas la deforestación, entendida como la transformación de tierras forestales para otros usos como: pastizales para ganadería y agricultura, origina los procesos de degradación y pérdida del potencial de servicios ecosistémicos de los bosques (Alonso, 2022). Desde 1950 se estima que alrededor de 250 millones de hectáreas de bosque húmedo y su biodiversidad asociada se han perdido, y a escala global el valor se incrementa a 420 millones de hectáreas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO], 2001; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PENUMA], 2020).

Los sistemas de producción ganadero que sobresalen en estas áreas están basados principalmente en pastizales, con una escasa integración de cultivos (FAO, 2001; Rocha, 2002; Ramos, 2003; Ramos et al., 2020). La sustentabilidad de estos sistemas ha sido amenazada por diversos factores como la degradación de los pastizales (ligada al impacto en los suelos), la estacionalidad de la producción forrajera y las condiciones climáticas adversas. Las consecuencias inmediatas han sido la reducción de la productividad, el aumento de costos de producción y la degradación ambiental (FAO, 2001).

Varios investigadores, entre ellos: Steinfeld et al. (2009) y Hernández et al. (2020), manifiestan que la producción pecuaria es uno de los protagonistas de la problemática ambiental a nivel global. Sánchez et al. (2020), indican que a nivel mundial la producción de carne y leche de bovino es responsable de la mayoría de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), pues contribuye con el 41 y el 29 %, respectivamente, de las emisiones del sector, aportan gases efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) a la atmósfera. El CO_2 es un gas de mucha importancia desde el punto de vista del calentamiento global, debido al volumen producido todos los años, con un aumento en su concentración y por el tiempo de residencia en la atmósfera (Mora, 2001). El CO_2 es responsable del 50% del calentamiento global a través de la absorción de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra (Veldkamp, 1993; Lorenz & Lal, 2018).

Los bosques almacenan grandes cantidades de carbono tanto en la biomasa vegetal como en el suelo (De Oliveira et al., 2017). El mismo autor manifiesta que el carbono del suelo debajo de los bosques tiene un papel importante en el cambio global, lo que hace que la información sobre las formas y profundidades de estas existencias sea de considerable interés en los esfuerzos para cuantificar las emisiones cuando la deforestación convierte estos bosques en pastizales u otros usos de la tierra.

En el suelo se encuentra la reserva de carbono orgánico terrestre más grande de la Tierra y es una fuente importante y sumidero de CO_2 atmosférico en la mitigación del efecto invernadero (Lehmann & Kleber, 2015). El carbono orgánico del suelo (COS) es un indicador clave para evaluar la calidad del suelo debido a sus propiedades fisicoquímicas, procesos biológicos y funciones ecológicas (Wu et al., 2022), y por su manejo inadecuado es probablemente uno de los recursos naturales más vulnerables al cambio climático.

En los últimos años, avances conceptuales y metodológicos sugieren un concepto clave sobre el carbono orgánico en el suelo, entre ellos Parton et al. (1987), indican que existen tipos o fracciones de carbono en el suelo con diferentes tasas de recambio (1,5 a más de 1000 años). Por su parte Meléndez (1997), indican que la dinámica del carbono en el suelo puede dividirse en tres fracciones: la fracción activa o carbono microbiano el cual representa entre 1-2% del carbono orgánico total (CO total), la fracción de carbono orgánico lento (CO lento) y el carbono orgánico pasivo (CO pasivo).

Conocer la dinámica de estas reservas es importante para evaluar el riesgo de liberación a la atmósfera que tiene el carbono en los escenarios climáticos proyectados. El carbono en fracciones lábiles es el más susceptible de liberarse si se expone a estas perturbaciones, y es más probable que se libere carbono en cualquier forma ubicada cerca de la superficie del suelo que el carbono en capas más profundas (Ramos, 2003; De Oliveira et al., 2017).

En este contexto nuestra investigación pretendió determinar cómo influye el cambio de uso de la tierra en el secuestro de carbono orgánico y su fraccionamiento en el suelo de bosque secundario y pasturas en el trópico, información relevante para ayudar a entender mejor cómo la deforestación impacta el potencial que tiene el suelo como sumidero de carbono y promover estrategias para su manejo sostenible.

Metodología

Esta investigación se realizó en el sector San Miguel de Barranca perteneciente a la provincia Puntarenas, Costa Rica. Las fincas estudiadas se encuentran ubicadas a 10°09' de latitud norte y Bosque Sub-húmedo Tropical (bh-T), el relieve es quebrado con fuertes pendientes que se encuentran entre 23-55%.

Este estudio se realizó en un suelo Typic Rhodustalfs que pertenece al orden de los Alfisoles (Mapa de suelos de Costa Rica). Los suelos en la zona son superficiales compactados, arcillosos y baja conductividad hidráulica (Camargo, 1999).

La precipitación media anual en la zona es de 2043 mm distribuida en dos épocas, lluviosa (mayo-noviembre) y seca (diciembre-abril). La temperatura promedio es de 27.2 °C (Chinchilla, 1987).

El área de influencia del proyecto “Enfoques integrados silvopastoriles para el manejo de ecosistemas” esta entre 0 y 600 m.s.n.m., las fincas en estudio se encuentran de 150 y 200 m.s.n.m, con topografía irregular y fuertes pendientes.

Metodológicamente la investigación ejecutada correspondió a: Diseño experimental de tipo cuasiexperimental y nivel de tratamientos múltiples, como se detalla a continuación: Los tratamientos estudiados fueron pasturas mejoradas más árboles (PmA), pasturas degradadas (Pd) y bosque secundario (Bs).

Las pasturas mejoradas más árboles fueron apartos o potreros con *Brachiaria brizantha* de 3 años y varias especies leñosas dispersas. Las pasturas degradadas fueron apartos que tenían como pasto principal jaragua (*Hyparrhenia rufa* Stapf.) y varias gramíneas nativas, presentaron una población de árboles muy baja, además se observó un alto porcentaje de arvenses y de suelo descubierto. El bosque secundario en las tres fincas estudiadas está estimado en una edad entre 15 y 25 años (Ramos, 2003).

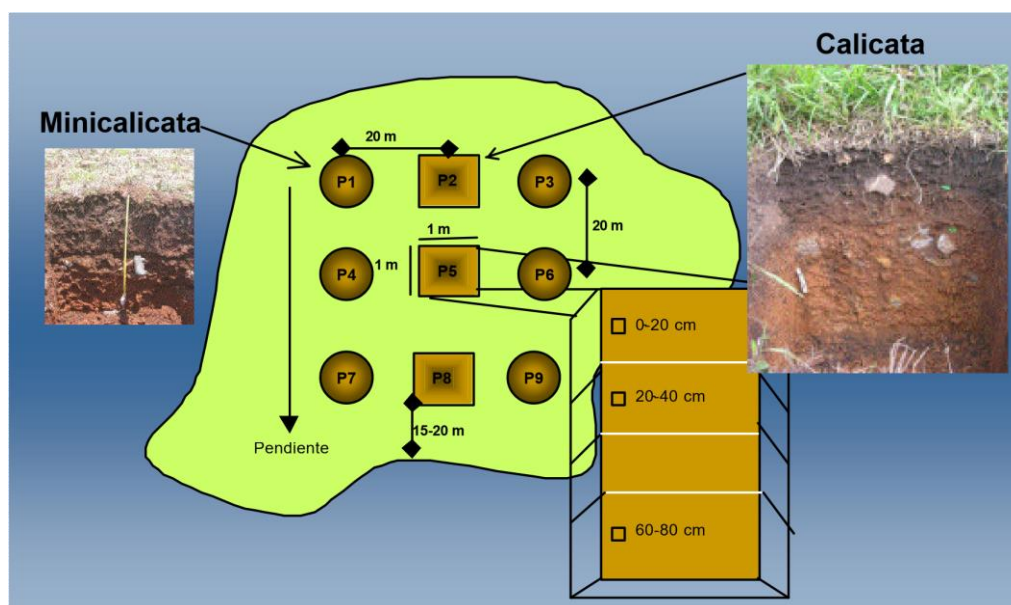
Se utilizó un diseño Irrestringido al azar con parcelas divididas con muestreo, donde la parcela grande estaba conformada por el tipo de uso de la tierra y la parcela pequeña por la profundidad del suelo. Las repeticiones fueron cinco.

En cada repetición del sistema de uso de la tierra evaluado se hicieron nueve puntos de muestreo, tres calicatas (hoyos de 1x1x1 m) que se ubicaron en la parte central del aparcamiento distribuidas equidistantemente a 20 m entre ellas y en dirección a la pendiente del terreno y seis mini-calicatas (hoyos de 0.5x0.5x0.5 m) distribuidas en forma paralela a 20 m de distancia de las calicatas, igualmente en sentido de la pendiente, como se observa en la figura 1. En cada punto de muestreo y a tres profundidades de suelo 0-20 cm, 20,1-40 cm y 60-80 cm, se midieron las siguientes variables: densidad aparente, fertilidad, textura, biomasa de raíces finas y carbono orgánico, tema del presente artículo científico (Ramos, 2003).

Los datos obtenidos se analizaron con la ayuda de *Statistical Analysis Systems* para Windows V8 (SAS V8). El nivel de significancia utilizado en las pruebas estadísticas realizadas fue 95% ($p=0.05$). Para comparar las medias de las variables se realizaron pruebas de rangos múltiples de Duncan.

Figura 1

Croquis de distribución de los puntos de muestreo de suelo en el campo, en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica



Fuente: Ramos (2003)

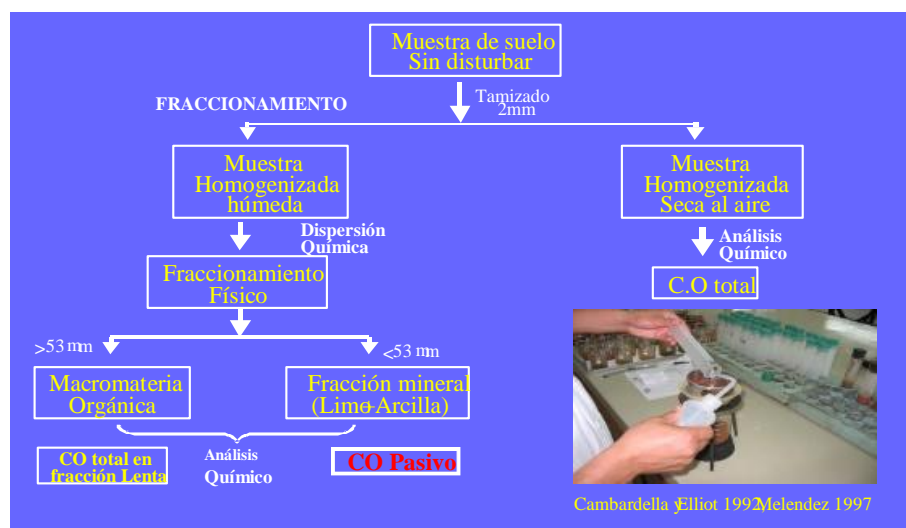
En los nueve puntos de muestreo con la ayuda de un barreno se tomaron muestras de suelo sin disturbar a tres profundidades (0-20, 20,1-40 y 60-80 cm), ubicando el cilindro

muestreador en el tercio medio de cada profundidad en estudio, luego el suelo se pasó a una bolsa plástica bien etiquetada y se llevó al Laboratorio de Suelos del CATIE a realizar el respectivo procesamiento y análisis (Ramos, 2003).

En el laboratorio las muestras de suelo fresco fueron pasadas por un tamiz de 2 mm y se dividió en tres submuestras. En una submuestra se determinó la humedad, secando el suelo a una temperatura de 105 °C durante 24 horas en una estufa de aire forzado. Otra submuestra fue secada al aire libre y se analizó carbono orgánico total por el analizador de carbono y nitrógeno, y en la tercera submuestra se realizó el fraccionamiento y análisis del carbón pasivo como se explica en la figura 2 (Ramos, 2003).

Figura 2

Fraccionamiento del carbono orgánico de suelo basado en el tamaño de partículas, de muestras tomadas en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica



Fuente: Ramos (2003)

El fraccionamiento del carbono orgánico como se indica en la figura 2 se realizó combinando un método de dispersión química de suelo seguido de una separación física basada en el tamaño de partículas (Cambardella & Elliot, 1992).

De cada submuestra se pesó 10 g de suelo fresco en tubos plásticos de agitación de 100 ml, luego se adicionó 30 ml de solución de hexametáfosfato de sodio Na (PO₃)₆ de concentración 5g L⁻¹ y se agitó durante 1 hora en un agitador horizontal a una velocidad de 120 rPmA. Luego del periodo de agitación se pasó la suspensión por un tamiz de 53 μm, pasando todas las partículas del tubo al tamiz; utilizando una peseta y con pequeñas alícuotas de agua se lavaron las partículas de suelo adheridas al tubo y con una espátula

de hule se desprendieron ligeramente los agregados que quedaron encima del tamiz (Ramos, 2003).

La fracción de arena más la macro materia orgánica retenida sobre el tamiz de $>53 \mu\text{m}$ (carbón lento) y la fracción de materia orgánica $<53 \mu\text{m}$ (carbón pasivo) asociada a limos y arcillas, fueron recolectados en vasos de precipitación pre-pesados, luego se puso a secar ambas fracciones a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta obtener el peso seco. Cuando los vasos estaban secos se determinaron las cantidades de material en cada uno de ellos (Cambardella & Elliot, 1992). La fracción de suelo $<53 \mu\text{m}$ fue morterizada, tamizada a $250 \mu\text{m}$ y finalmente se analizó el carbono orgánico total en un autoanalizador modelo Flash EA 1112. El funcionamiento de este equipo se basa en una oxidación completa de la muestra dentro de un reactor de alta temperatura (aproximadamente 1800°C), transformando la muestra en una mezcla de gases. Los gases se separan a través de una columna cromatográfica la misma que está conectada a un detector de conductividad térmica (TERMO QUEST) (Ramos, 2003).

La población fue compuesta por fincas de productores ganaderos que manejan los sistemas de uso de la tierra con al menos una de las tres formas de uso en estudio. La selección de las parcelas a evaluar se realizó considerando los siguientes criterios:

1. Que las fincas a evaluar se encuentren en un rango de altitud máximo de 100 m.
2. Que en las fincas se practique el mismo tipo de explotación ganadera.
3. Que las parcelas a estudiar se encuentren en un mismo orden de suelo.
4. Que las parcelas no hayan sufrido quemas durante los últimos 15 años.
5. Que el manejo de la pastura en términos de especie, edad, fertilización, malezas, carga animal, tiempos de utilización y recuperación de la pastura sean lo más parecidos posibles.
6. Que el bosque secundario (comparador) tenga al menos 15 años.

La ubicación de las fincas se realizó con apoyo de información (base de datos, mapas y fotografías aéreas 1:40000) disponible en el proyecto antes mencionado e información secundaria (mapa de clasificación).

Resultados y discusión

La evaluación de CO total y CO pasivo se realizó a través de un análisis de varianza para un diseño de parcelas divididas con muestreo, donde la parcela grande fue el sistema y la parcela pequeña las profundidades. En este análisis se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0001$) para sistemas de uso de la tierra y profundidades. No se encontró diferencias estadísticas para la interacción sistemas*profundidad, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1

Análisis de varianza para carbono orgánico total (CO total) y carbono orgánico pasivo (CO pasivo) a tres profundidades de suelo en tres sistemas de uso de la tierra

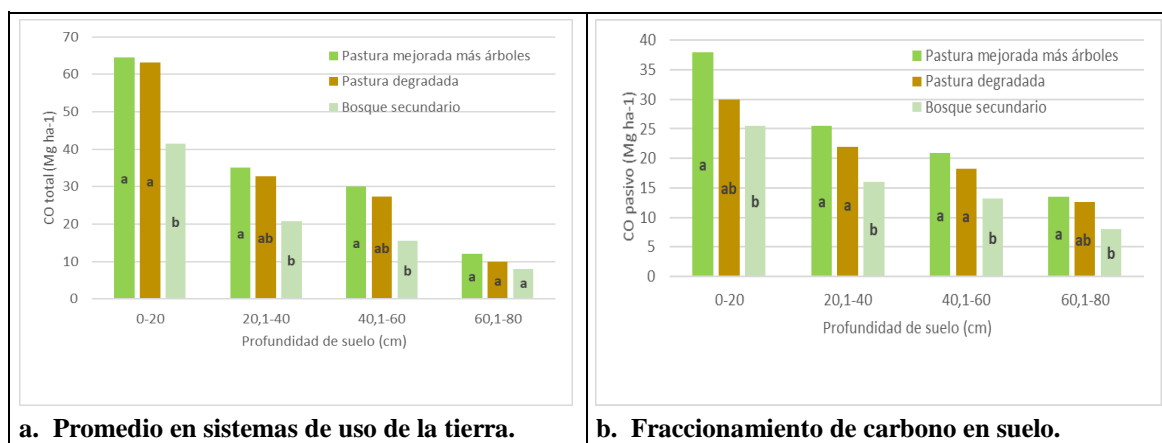
Fuentes de Variación	gl	CO total	CO pasivo
Sistemas de uso del suelo	2	11259,95 *	4951,64 *
Error a (R*S)	12	2420,56	793,18
Profundidad	2	25289,38 **	6303,84 **
Tratamiento*Profundidad	4	694,13 ns	133,24 ns
Error b. (R*S*P)	24	620,76	255,39
Error de Muestreo	360	449,96	160,39
Total	404		

Nota: R= Repetición; S= Sistema (PmA= Pastura mejorada, Pd= Pastura degradada, Bs= Bosque secundario); P= Profundidad; *= Significativo ($p < 0,05$); **= Altamente Significativo ($p < 0,01$); ns = No significativo ($p > 0,05$)

La comparación múltiple de Duncan al 5% para sistemas de uso del suelo en la variable contenido de CO total, encontró que PmA (64.44 t ha^{-1}) y Pd (63.11 t ha^{-1}) fueron significativamente mayores que Bs (41.41 t ha^{-1}) en la profundidad superficial de suelo (0-20 cm). En la profundidad de 20,1-40 cm, PmA superó un 15% a Pd y 49.15% a Bs. En la tercera profundidad 40,1-60 cm, PmA superó 11% a Pd y 35% a Bs y finalmente en la cuarta profundidad (60,1-80 cm) PmA fue 15% mayor que Pd, y 29.9% superior que Bs, como se muestra en la figura 3a. La fracción CO pasivo presentó una tendencia similar, como se muestra en la figura 3b.

Figura 3

Promedios de CO total y la fracción CO pasivo en suelo bajo pasturas mejoradas más árboles, pasturas degradadas y bosque secundario en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica.

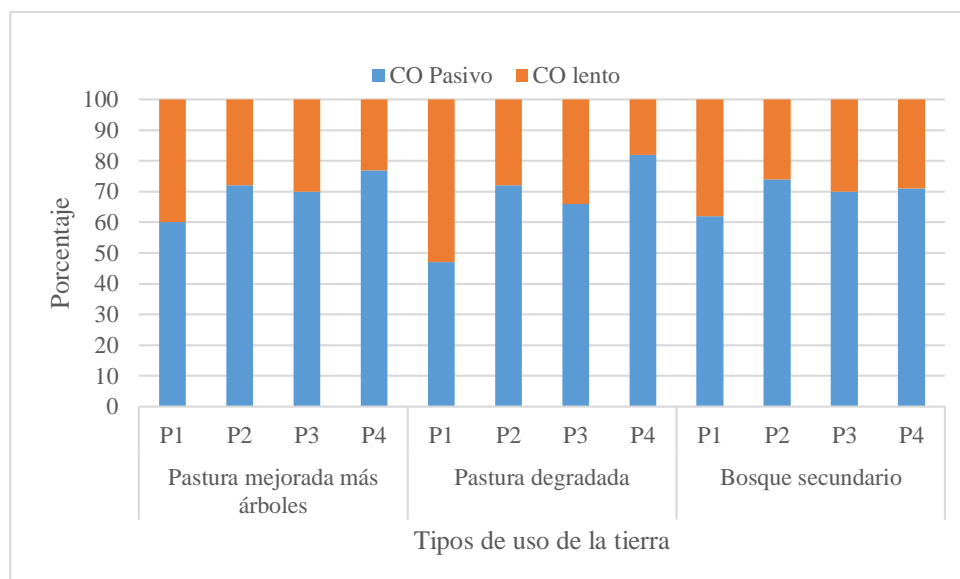


Nota: Letras iguales en cada profundidad no difieren significativamente Duncan $p < 0.05$

La figura 4 muestra el CO lento y CO pasivo en los tres tipos de uso de la tierra y a las cuatro profundidades en estudio. Aquí se puede observar una relación directa entre el contenido de CO pasivo y la profundidad de suelo, aunque no muy clara en Bs. La baja tendencia en Bs puede estar dado por la posible erosión laminar que sufre el suelo bajo este sistema, lo cual probablemente hizo que las muestras se hayan tomado a una profundidad mayor dentro del perfil y los cuatro puntos de evaluación se encuentren en un mismo horizonte.

Figura 4

Fraccionamiento de carbono orgánico en cuatro profundidades de suelo, bajo pasturas mejoradas más árboles (PmA), pasturas degradadas (Pd) y bosque secundario (Bs) en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas Costa Rica.



La profundidad 0-20 cm tiene una tendencia a contener un mayor porcentaje de CO lento en comparación a las tres profundidades restantes (20,1-40, 40,1-60 y 60,1-80 cm), esto posiblemente se debe a una mayor cantidad de raíces, material vegetal en descomposición y probablemente una mayor cantidad de arenas en la parte superficial del perfil, aunque un poco más acentuado en Pd que posiblemente al estar el suelo menos protegido hay una mayor acción de las variables climáticas lo que conlleva a una descomposición más rápida de la materia orgánica, como muestra la figura 4.

Discusión

En esta investigación se determinó t analizó únicamente la fracción de CO pasivo y el CO total. Los datos de la fracción de carbono orgánico lento (CO lento) se estimaron por diferencia entre el CO total y el CO pasivo.

Las tendencias observadas en esta investigación sobre el carbono orgánico del suelo son parecidas a las reportadas por López et al. (1999) y Ruiz (2002), y superior en 30% el CO total en bosque secundario al reportado por Rojas-Solano et al. (2021), en estudios de suelo bajo sistemas silvopastoriles en Turrialba, Costa Rica. El comportamiento del CO total del suelo en las diferentes profundidades se relaciona con el comportamiento de biomasa de raíces finas; es decir, tiene una tendencia a disminuir con el incremento en profundidad lo cual era de esperarse ya que una de las principales entradas de carbono al suelo está dado por la constante muerte de raíces finas (MacDiken, 1997; FAO, 2018).

En la figura 3a se observa también que en la profundidad de, suelo de 0-20 cm se encontró alrededor del 45% de carbono y en la profundidad de 20-80 cm se encontró alrededor del 55% del carbono secuestrado en el suelo. Estos datos muestran que en un perfil de 0.8 m de profundidad, en estas condiciones bioclimáticas, aproximadamente el 60% de carbono secuestrado se encontró en una profundidad mayor a los 0.2 m, esta característica hace que éste carbono esté menos expuesto a procesos de oxidación y por tanto su pérdida como gas efecto invernadero (Fisher et al., 1994; Rojas, 2021).

El sistema de PmA presentó el mayor promedio de CO total almacenado en las tres profundidades de suelo, aunque no difiere estadísticamente con Pd, pero sí con Bs. Estos promedios bajos, no esperados, de contenido de CO total en suelo de Bs puede estar dado por que las pendientes de los bosques secundarios en estudio fueron mayores (23-55%) que en PmA y Pd (28-30%), este factor combinado con las fuertes precipitaciones provoca arrastre del material orgánico depositado en el sistema como producto de la senescencia y muerte de órganos vegetales. Situación que no ocurre en PmA y Pd dado que una de las principales entradas de carbono al suelo es producido por el cambio permanente y de intensidad periódica de raíces de los pastos y que directamente se quedan atrapadas en el suelo (MacDiken, 1997; Wiesmeier et al., 2019), que indican que las características topográficas desempeñan un papel importante para el almacenamiento de carbono en suelo.

Es importante considerar también que los sistemas de bosque tienen la biomasa aérea como fuente principal de almacenamiento de carbono, además existe carbono almacenado en la biomasa radicular que va mucho más allá de la profundidad que se está evaluando en este estudio, por lo cual es necesario realizar la comparación en términos de sistema. Dixon et al. (1994), indican que la mitad del carbono almacenado por el sistema bosque se encuentra en la parte sobre el suelo. Por su parte Richter & Markewitz (2001), indican que encontraron en el Calhoun Forest, Carolina del Norte, un incremento de 165 t ha^{-1} de carbono, donde el 65% se acumuló en la biomasa y el 35% en la hojarasca, las raíces y el suelo.

Los porcentajes promedios de la fracción de CO pasivo encontrados en esta investigación fueron parecidos a los citados por Meléndez (1997), en su trabajo realizado en un Typic

Humitropept de Turrialba-Costa Rica bajo diferentes sistemas de uso de la tierra. Esto se dio posiblemente porque la fracción mineral esta menos sujeta a los cambios causados por el manejo debido a su complejidad química y/o a su protección física con las arcillas (Cambardella & Elliott, 1992; Meléndez, 1997; De Oliveira et al., 2017).

Es importante también indicar que las partículas con las cuales está ligado este tipo de carbono (arcilla y limo) principalmente la arcilla, tiene una relación directa con la profundidad, en los suelos tropicales.

Conclusiones

- El almacenamiento de carbono orgánico total en el suelo presentó la siguiente tendencia $PmA > Pd > Bs$. La baja diferencia en almacenamiento de carbono entre los sistemas bajo pasturas, posiblemente se debe a que las parcelas de PmA son muy jóvenes (3 años). Algún fenómeno biofísico, topográfico y acompañado de las fuertes precipitaciones en la zona de estudio pudo haber influenciado cíclicamente para que el carbono en el suelo de bosque secundario haya experimentado dicha tendencia.
- La profundidad del suelo fue un factor determinante en el almacenamiento de carbono en el suelo. El patrón de comportamiento de esta variable fue inversamente proporcional con la profundidad, es decir la mayor cantidad de carbono (50 %) se encontró en la capa superficial (0-20cm), esto nos intuye en la necesidad de preservar las áreas boscosas, que el carbono en suelo se encuentra mayormente en la parte superficial, en gran medida en la forma lábil por lo que probablemente se libere debido a la deforestación o al cambio climático.
- El CO pasivo presentó una relación directamente proporcional con la profundidad de suelo, probablemente porque este tipo de carbono se encuentra en la parte mineral del suelo ligado a las partículas de arcilla y limo.

Referencias Bibliográficas

- Alonso J. (2022). La deforestación en América Latina tiene más que todo una causa humana. Ciencia y Ecología. <https://www.dw.com/es/la-deforestaci%C3%B3n-en-am%C3%A9rica-latina-tiene-m%C3%A1s-que-todo-una-causa-humana/a-61795305>.
- Camargo, J.C. (1999). *Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de Cordia alliodora (Ruiz y Pavon) en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE].

- Cambardella, C.A., & Elliot, E.T. (1992). Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56:777-783
- Chinchilla, V.E. (1987). *Atlas Cantonal de Costa Rica*. 1. ed. San José, C.R. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. 396 p.
- De Oliveira Marques, J.D., Luizão, F.J., Teixeira, W.G., Nogueira, E.M., Fearnside, F.M., & Sarrazin, M. (2017). Soil Carbon Stocks under Amazonian Forest: Distribution in the Soil Fractions and Vulnerability to Emission. *Scientific Research Publishing*. *Open Journal of Forestry*, 2017, 7, 121-14. https://www.scirp.org/pdf/OJF_2017032815305488.pdf
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C., & Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190. <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.263.5144.185>
- Fisher, M. J., Rao, I. M., Ayarza, C. E., Saenz, J. I., Thomas, R. J., & Vera, R. R. (1994). Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 31:236-238.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2018). Measuring and Modelling Soil Carbon Stocks and Stock Changes in Livestock Production Systems. FAO. <http://www.fao.org/3/I9693EN/i9693en.pdf>.
- Hernández, G., López, D., Moya, F. (2020). Gestión ambiental en el sector ganadero doble propósito de los pequeños productores en Maicao, Colombia. *Revista Espacios*. Vol. 41 (27), Art. 3.
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The Contentious Nature of Soil Organic Matter. *Nature*, 528, 60–68. <https://www.nature.com/articles/nature16069>
- López, A., Schlönvoigt, A., Ibrahim, M., Kleinn, C., Kanninen, M. (1999). Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6, p. 51-53 <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5996>
- Lorenz, K., & Lal, R. (2018). *Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92318-5>
- MacDiken, K. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International, 1611 N. Kent St., Suite 600, Arlington, VA 22209, USA. 87 p.

- Meléndez, G. (1997). *Transformaciones de carbono, nitrógeno y fósforo del suelo, en sistemas agroforestales, cultivos anuales y bosque natural*. [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica].
- Mora, V. (2001). *Fijación, Emisión y Balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2149>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO]. (2001) Protección de los recursos naturales en sistemas ganaderos: Los sistemas agroforestales pecuarios en América Latina. Consulta de expertos FAO. EMBRAPA (18-22 septiembre de 2000. Juiz de Flora, MG, Brasil).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PENUMA]. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020*. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Parton, W.J., Schimel D.S., Cole C.V., & Ojima, D.S. (1987). Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1173-1179.
- Ramos, R. (2003). *Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE] <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2736>
- Ramos Veintimilla, R.A., MacFarlane, D., Cooper, L. (2020). The carbon sequestration potential of ‘analog’ forestry in Ecuador: an alternative strategy for reforestation of degraded pastures. *Forestry* 2021; 94, 102–114. <https://academic.oup.com/forestry/article/94/1/102/5861619>
- Richter, D., & Markewitz, D. (2001). *Understanding Soil Change—Soil Sustainability over Millennia, Centuries, and Decades* Cambridge University Press, Cambridge, UK, ISBN 0-521-77171-4. 255 pages.
- Rocha, R. (2002). *Cambio en el uso del suelo y factores asociados a la degradación de pasturas en la cuenca del Río Bulbul, Matiguas, Nicaragua*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE] <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2736>

- Rojas-Solano, J., Brenes-Gamboa, S., & Abarca-Monge, S. (2021) Carbono en el suelo: comparación entre un área de pastos y un bosque *InterSedes*, vol. XXIII, núm. 47, pp. 184-205, 2022. <https://www.redalyc.org/journal/666/66671467009/html/#article-ref-4aec85601d9945a16db26335bb6a3bbf>
- Ruiz, A. (2002). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2148>
- Sánchez, B. M., Flores Villalva, S., Rodríguez Hernández, E., Anaya Escalera, A., & Contreras Contreras, E. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*;11(Supl 2):126-145. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v11s2/2448-6698-rmcp-11-s2-126.pdf>
- Steinfeld, V., Pierre G., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & De Haan, C. (2009). La larga sombra del ganado. problemas ambientales y opciones. FAO. Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>
- Veldkamp, E. (1993). Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. Ph. D. Wageningen, Netherlands, Agriculture University of Wageningen. 117 p.
- Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., Van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, HJ. & Kögel-Knabner, I. (2019). Soil Organic Carbon Storage as A Key Function of Soils - A Review of Drivers and Indicators at Various Scales. *Geoderma*, 333, 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>.
- Wu, X., Fu, D., Duan, C., Huang, G., & Shang, H. (2022). Distributions and Influencing Factors of Soil Organic Carbon Fractions under Different Vegetation Restoration Conditions in a Subtropical Mountainous Area, SW China. *Forests* 2022, 13, 629. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/4/629>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

