



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO
DE SUELO (COS) EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN
BOSQUE MONTANO, CHANCHAMAYO – PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:
Adaía Belén Alegre Oré (0000-0003-3571-5586)

Asesor:
Karen Ilse Eckhardt Rovalino (0000-0001-6165-6597)

Lima – Perú
2021



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 06 de octubre 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. José Eloy Cuellar Bautista

Miembro: Mg. José Fernando Delgado Andrade

Miembro: Ing. Sandra Duarte Guardia

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO DE SUELO (COS) EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN BOSQUE MONTANO, CHANCHAMAYO - PERÚ"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Adaia Belén Alegre Oré**

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

Asesorado por: M.Sc. Karen Ilse Eckhardt Rovalino

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental a en la sustentación, concluyen por mayoría simple (x) calificar a:

Tesista: Adaia Belén Alegre Oré

Nota (en letras): diecise

Aprobado () Aprobado - Muy buena(x) Aprobado - Sobresaliente () Desaprobado ()

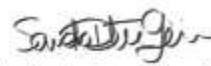
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dr. José Eloy Cuellar Bautista
Presidente



Mg. José Fernando Delgado Andrade
Miembro 1



Ing. Sandra Duarte Guardia
Miembro 2



M.Sc. Karen Ilse Eckhardt Rovalino
Asesor

T//081 60 6739
informes@cientificadupes
cientificadupes

ÍNDICE

- **Resumen**
- **Abstract**
- **Introducción**
- **Metodología**
- **Resultados**
- **Discusiones**
- **Referencias Bibliográficas**
- **Anexos**

‘Capacidad de almacenamiento de Carbono Orgánico de Suelo (COS) en diferentes Sistemas de Uso en Bosque Montano, Chanchamayo-Perú’

Soil Organic Carbon (SOC) storage in different land use systems in Montane Forest, Chanchamayo-Peru.

Adaía Alegre-Oré¹ & Karen Eckhardt²

Resumen

Los Bosques Montanos de los Andes de Perú son importantes sumideros de carbono orgánico de suelo (COS), sin embargo, la expansión de la frontera agrícola convierte al ecosistema vulnerable, afectando su capacidad de almacenamiento de carbono orgánico. En esta investigación se comparó el carbono orgánico en suelo y raíces, y se evaluó las diferencias significativas entre las variables físico químicas del suelo en cuatro sistemas de uso de suelo. El área de estudio corresponde a la zona de vida Bosque húmedo pre Montano Tropical (Bh – PT) y Bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT). Se evidenciaron diferencias significativas del COS entre los sistemas de uso de suelo Bosque Montano Conservado y Cultivo principalmente, y se registró un mayor almacenamiento de COS en los sistemas BMR y BMC con 231.17 tn C / ha (DE = 101.46) y 299.28 tn C / ha (DE = 147.93) respectivamente. La biomasa contenida en raíces finas presenta una media de 18.6 tn C / ha. Se evidenció además que el almacenamiento de COS es influenciado por la Capacidad de Intercambio Catiónico y Conductividad eléctrica, además de la Densidad Aparente. Concluyendo que el cambio de uso de suelo impacta la capacidad de almacenamiento de COS hasta un 47%.

Palabras clave: Bosques montanos, carbono orgánico del suelo (COS), usos del suelo, sumidero, cultivos, agroforestería, regeneración y conservado.

Abstract

The Montane Forests of the Andes of Peru are important sinks of soil organic carbon (SOC), however, the expansion of the agricultural frontier makes the ecosystem vulnerable, affecting its organic carbon storage capacity. In this research, organic carbon in soil and roots was compared, and the significant differences between the physical-chemical variables of the soil in four land use systems were evaluated. The study area corresponds to the pre-montane tropical humid forest life zone (Bh - PT) and very humid lower tropical montane forest (bmh-MBT). Significant differences in COS were evidenced between the Conserved Montane Forest and Cultivated land use systems, mainly, and a greater storage of COS was recorded in the BMR and BMC systems with 231.17 tn C / ha (DE = 101.46) and 299.28 tn C / ha (SD = 147.93) respectively. The biomass contained in fine roots presents an average of 18.6 tn C / ha. It was also evidenced that COS storage is influenced by the Cation

¹ Bachiller de Ingeniería Ambiental de la Departamento Ciencias de la Salud y la vida y Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. alegreadaia@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3571-5586>

² Magister en Ciencias Ambientales. Departamento Ciencias de la Salud y la vida y Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. kareckhardt@gmail.com (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6165-6597>)

Exchange Capacity and Electrical Conductivity, in addition to the Apparent Density. Concluding that the change in land use impacts the storage capacity of COS up to 47%.

Keywords: Montane forests, soil organic carbon (SOC), land use, sink, crops, agroforestry, regeneration and conserved.

1. Introducción

Los bosques montanos de los Andes en América del Sur se distribuyen a lo largo de la cadena montañosa de los Andes desde Venezuela hasta Argentina a alturas que bordean los 1000 a 3500 msnm (Kometter, R. et. al 2014, Young, K. 2000), estos representan el 1% del área total del suelo del mundo (Hughes, C. E. 2016) y se encuentran incluidos en los *hotspots* o ecosistema de prioridad de conservación a nivel mundial debido a la gran biodiversidad (Myers, N. et. al, 2000). En el Perú, estos bosques montanos Andinos constituyen el 11.71% del territorio nacional, que incluye a los bosques basimontanos de Yunga (6.37%), bosque montano de Yunga (3.5%) y bosque altimontano de Yunga (1.84%) (MINAM, 2019).

La geomorfología de estos bosques ha sido moldeada por el levantamiento de la cadena montañosa de los Andes (Gradstein, S. et al 2008), generando diferencias altitudinales importantes lo que condiciona una alta variabilidad ambiental y climática (Pennington, R. et al., 2010, Bussmann, R., 2005). Estas características se relacionan con una elevada diversidad alfa y beta, debido a su heterogeneidad de hábitats y altas tasas de recambio de especies (Sonco, 2013). A su vez, estas condiciones únicas han generado endemismos de flora y fauna, que responden a la disponibilidad de micro hábitats con una estructura y riqueza biológica única (Tejedor, N. et. al, 2012, Kessler, M. & Kluge J. 2008).

Estudios registran entre 696 y 781 individuos de especies de flora por hectárea, en bosques montanos y pre montanos, respectivamente (Giacomotti, J. 2019) y cerca de 782 especies endémicas de plantas vasculares, anfibios, mamíferos y aves para Perú y Bolivia (Beck, et al 2007). Entre las especies de plantas vasculares endémicas se destacan las familias *Asteraceae*, *Melastomataceae*, *Orchidaceae*, *Fabaceae*, *Cunoniaceae* (Van der Werff & Consiglio., 2004, Tovar, A. et al., 2010) entre ellas la *Brunellia dichapetaloides* de distribución restringida del departamento de Junín y su estado de

conservación Crítico (CR), además de la especie *Weinmannia microphylla* var. *Tenuior*, considerada como variedad endémica y en estado de conservación Vulnerable (VU) (Rutte, J & Reynel, C., 2016^a).

Dentro de este ecosistema albergan cerca de 1 567 especies de vertebrados endémicos como *Thomasomys notatus* (Pacheco, V. & Barriga, C. 2019) además de especies muy raras como los marsupiales *Gracilinanus aceramarcae* y *Marmosops bishopi* (Pacheco & Noblecilla, 2019). Dentro de este tipo de ecosistemas también se reportan especies de mamíferos amenazadas en situación Vulnerable (VU) y En Peligro crítico (CR) como el oso andino (*Tremarctos ornatus*) y el mono de cola amarilla (*Lagothrix flavicauda*) respectivamente (Figueroa J, 2013, Aquino, R. et. al, 2017).

Los bosques montanos de los Andes proveen importantes servicios ecosistémicos, particularmente en lo que se refiere a la provisión del servicio hídrico, ya que se ubican en el flanco oriental de los Andes en las nacientes de la cuenca andino amazónica, la cual representa el 97.7% del recurso hídrico total del Perú. (Kometter, R. et al, 2014, Young, K. & León, B., 2000, Bruijnzeel, L.A. et al 2011), estos bosques actúan como fuente hídrica no solo por la captación de lluvias sino también por las zonas de neblina permanente, lo que garantiza el flujo hídrico regular (Bubb, L. et al 2004). Las condiciones climáticas como la precipitación, la temperatura y la estacionalidad influyen en la dinámica y el balance hídrico de las cuencas orientales de los Andes tropicales (Bach, K et. al, 2003, de Rutte y Reynel, 2016b), el tamaño de los árboles además ayuda a la regulación del clima y captura de carbono, permitiendo el balance entre la absorción, almacenamiento y liberación de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), que contribuyen al cambio climático (Kometter, R. et al 2014).

El suelo es el principal suministro de carbono orgánico de la biosfera terrestre a nivel mundial ya que almacenan aproximadamente 1 500 Pg /C (Pg = Gt) en todo el planeta (Smith, P et al 2009, FAO, 2002), cuatro veces más que la biomasa vegetal (Ruesch, A., 2008, Hiederer, R., et al 2011). Los suelos de este tipo de ecosistema tienen alta capacidad de almacenamiento de carbono orgánico, lo que permite una dinámica del flujo de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Rojas et

al. 2018, Cuesta, et al 2009, Hernández, J. et al 2014, Sylvester, S. et al 2017). Estudios estimaron el flujo de carbono en un bosque montano húmedo de aproximadamente $0.14 \text{ tnCO}_2/\text{ha}$ por día, valor que en un año ascendería a $49.33 \text{ tonCO}_2/\text{ha}$ (Zahily et. al, 2017).

El COS resulta de la formación y descomposición de la materia orgánica y mineralización (Cuellar, E. 2015, Julca Otiniano, A. 2006). El COS forma parte de la composición y estructura del suelo quien ayuda a la retención del agua favoreciendo el crecimiento de raíces, captación de nutrientes y crecimiento de la planta (Scheer, M. B. et al 2013, Aragao, L., et al 2013). La materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{1+} , Na^+ , H^+) entre el suelo y la planta, lo que mantiene la fertilidad, protege la cobertura del suelo y controla la erosión evitando desastres naturales como derrumbes, deslizamientos, inundaciones, etc. además de filtrar el agua y aportar recarga de los acuíferos. (Umaña, S., 2017, Kometter, R. et al. 2014), la fertilidad del suelo y pérdida del topsoil está vinculada además a la Capacidad de Intercambio catiónico, dependiente de coloides inorgánicos como la arcilla cristalina y la materia orgánica del suelo. (Martínez, et al 2008)

Si bien es cierto, la gradiente climática interviene en las entradas y salidas de COS, sin embargo, no son los únicos factores que influyen en la capacidad de almacenamiento del COS, estudios evidencian de que a mayor temperatura las tasas de liberación de carbono son mayores (Jobbagy y Jackson, 2000; Koven et al., 2017) sin embargo, esto no se considera concluyente ya que temperaturas altas favorecen el incremento de la actividad microbiana por el aumento de C/N (relación) contribuyendo a la descomposición de la materia (Salomé, et al 2010), de hecho, las enzimas de polimerización son altamente sensibles al calor acelerando el proceso de descomposición de materia orgánica, es decir la cantidad de materia orgánica en suelo aumentaría (Conant, R. T. et al., 2011) Brown et al, 1982, describe que el aumento de ratio T°/pp aumenta la capacidad de retención de carbono orgánico debido a la influencia del calor (Brown et al, 1982). Así también, las condiciones húmedas en el ecosistema favorecen la formación de COS y la captación de nutrientes en suelo y plantas es mayor debido a la

disponibilidad de moléculas (de la Cruz-Amo, L. 2020). Estas condiciones climáticas influirían aún más en capas superficiales del suelo debido al contacto con la atmósfera y la actividad microbiana (Álvarez-Arteaga et al 2013, Ramírez, A. & Moreno, F. 2008), estudios demostraron que el contenido de carbono cuadruplicaría el valor en las capas superficiales del suelo en comparación con el subsuelo, sin embargo, esto dependería de las propiedades del suelo, mineralización del carbono y el uso de suelo (Salomé, et al 2010).

Factores físicos del suelo como la topografía y la textura también juegan un papel importante en el COS, ya que se asocia al material parental (Sequeira et al. 2014), incluso las características topográficas influyen en el microclima del ecosistema (Weisman, et al., 2019). Así también la pendiente y la densidad de suelo influyen en la capacidad de retención de COS, ya que suelos de menor pendiente favorecen la retención de agua, retención de la biomasa microbiana y disminuyen los procesos erosivos (Seibert et al., 2007).

Otro de los factores que tienen gran influencia en el en la capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono orgánico es el uso de suelo (Martínez, E. et. al, 2008, Carbajal et al, 2009, Mathew et al., 2018, Hernández, J, et al. 2014). Las prácticas agrícola desarrolladas de manera insostenible, como el roce y quema, el exceso de labranza, la fertilización inadecuada, el sobrepastoreo, entre otras, generan pérdidas de nutrientes, variabilidad en la densidad del suelo y pérdida del COS (Llerena, C. et al., 2015, Le Keré et al., 2016), de hecho, es la actividad que genera mayor pérdida de carbono, un estudio desarrollado en un ecosistema de Bosque Húmedo Premontano Tropical (bh-PT) se determinó que una área conservada almacenan cerca de 40% más de COS en comparación a cultivos agrícolas (Díaz et al., 2016). El cambio de uso de suelo a en estos tipos de ecosistemas ha llevado a degradación y fragmentación del suelo (Tejedor, N. et al. 2012, Llerena, C. et al., 2015, Achard, F. 2002). Al respecto Torrachi, S. (2005) reporta que la tasa de recuperación en bosques montanos versus la fragmentación tiene una proporción de 1 a 5, que proyectado al 2035 se perdería el 50% del área total de estos ecosistemas.

La tasa de deforestación es alta, hasta el año 2001 se registraron 1 452 955 ha de bosques montanos deforestados debido principalmente a la expansión agropecuaria (Tovar et al. 2010). En la región Junín para el 2020 se registró una pérdida de 20 666 ha de bosques por deforestación, de los cuales el 27.1 % de área corresponden a la provincia de Chanchamayo (Geobosques, 2018). La deforestación y grandes pendientes de hasta 66 % son factores que sitúan a los bosques montano de los Andes en un grado de vulnerabilidad alto, sin embargo, en el Perú no se conocen los efectos que podrían producir el cambio de la cobertura vegetal y del uso del suelo en estos ecosistemas y la variación de sus características físico químicas. Autores como Young, K & Leon, B. (2000), Cuesta et al (2009), Kometter, R. et al (2014), De la Cruz-Amo, L. et al (2020), Pérez, M. et al. (2019) han realizado estudios en bosques montanos de los Andes en el Perú haciendo mención de la importancia de estos cambios, sin embargo, no se ha comparado la capacidad de almacenamiento del COS para diferentes usos de suelo y su relación con los parámetros físico químicos. En este sentido, esta investigación tiene como objetivos: (1) comparar el carbono orgánico del suelo en diferentes usos; Cultivos, Agroforestería, Bosque Montano en Regeneración y Bosque Montano Conservado, y (2) relacionar parámetros físico químicos del suelo y el contenido de carbono orgánico diferenciado por el uso.

2. Materiales y método

2.1 Área de estudio

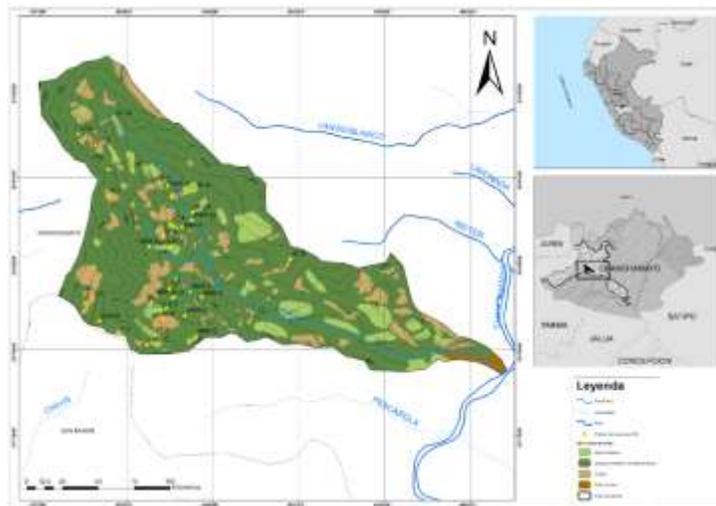
Esta investigación se desarrolló en la vertiente oriental de los Andes Centrales del Perú, en la región de Junín, provincia de Chanchamayo y los distritos de Chanchamayo y San Ramón; correspondiente a la Sub cuenca El Toro y dentro del Área Natural Protegida Santuario Nacional Pampa Hermosa.

2.1.1 Subcuenca Río Toro

El área de estudio comprende la parte media y alta de la Subcuenca del río Toro (**Figura 1**) afluente del río Chanchamayo, situado entre las coordenadas 11° 0' 12.69'' latitud Sur y 75° 23' 37.53'' longitud Oeste y con una extensión de 9.69 km². Esta área incluye las zonas de vida de Bosque

húmedo pre Montano Tropical y Bosque muy húmedo montano bajo tropical según el Mapa ecológico del Perú, 1976 y corresponde al ecosistema de Bosque Basimontano de Yunga (B-bY) (MINAM, 2019).

Figura 1. Mapa de ubicación de la Sub cuenca rio Toro, distrito de Chanchamayo, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín – Perú



El área de estudio se caracteriza por presentar fuertes pendientes llegando a más del 50% valles de gran longitud, densa cobertura vegetal y un clima cálido tropical húmedo (Gobierno Regional de Junín, 2015). Temperatura máxima de 24.5 ± 0.4 °C y mínima de 16.2 ± 0.4 °C y la precipitación media anual de 3142.0 ± 398.6 mm/año (Llauca, H. et al 2021), la época húmeda se registra entre los meses de setiembre y abril, mientras que la época seca, entre los meses de mayo y agosto. Según el Mapa de Suelos del Perú, los tipos de suelo corresponde a Leptosol dístico, Cambisol dístico y Regosol dístico (ONERN, 1985). De acuerdo a un análisis previo de suelos en el área de estudio correspondiente a la zona media realizada por uno de los propietarios del área en el año 2016, se reporta suelos con alto porcentaje de materia orgánico, (2.26%), textura Franco (39% arcilla. 41% limo y 20% arcilla), pH moderadamente ácido (5.97) y conductividad eléctrica de 0.13 dS/m;

Desde hace 120 años aproximadamente, el uso del suelo en el área ha sido destinado casi de manera exclusiva a las prácticas agrícolas dominadas por el cultivo de café (*Coffea arabica*) en sus diferentes

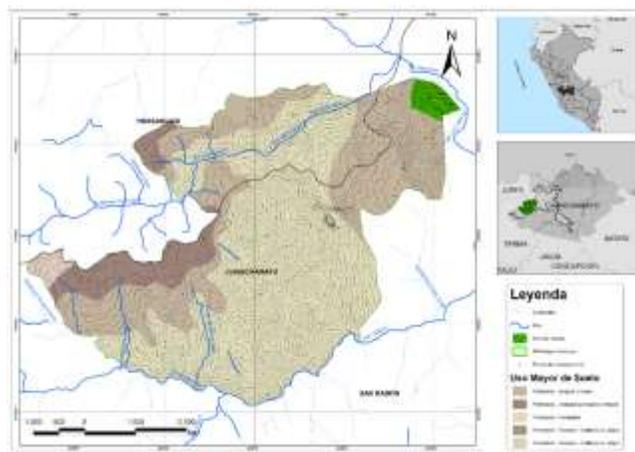
variedades (catimor, caturra, Gran Colombia, Catuahí), luego se incorporaron especies arbóreas como el pacaé *Inga feuillei* y el plátano *Musa paradisiaca*, beneficiándose de la sombra, fijación de nitrógeno, control de la velocidad del viento, fuente de materia orgánica, entre otros. El tipo de fertilización orgánica que utilizan en los cultivos agrícolas son: abono de guano de isla, excremento de ganado ovino, caprino y vacuno, y plaguicidas de cinta verde como fosfato diamónico DAP 18.46.

2.1.2 El Santuario Nacional Pampa Hermosa SNPH

La zona de estudio que corresponde a esta ANP SNPH se ubica en la vertiente oriental del valle de río Chanchamayo, distrito de Chanchamayo, región Junín, entre las coordenadas 11° 3' 13.46'' Latitud Sur y 75° 19' 9.47'' Latitud Oeste y se localiza entre los 1200 a 1700 msnm

El SNPH cuenta con una superficie total boscosa de más de 9,000 hectáreas, cuenta con muestras residuales de cedros (*Cedrela Lilloi*) con más de 100 años de antigüedad y más de 50 m de altura y se diferencian por tener las siguientes Zonas de Vida: Bosque muy húmedo premontano tropical, Bosque muy húmedo montano bajo tropical y Bosque pluvial-montano tropical (SERNANP, 2009). La temperatura máxima y mínima promedio llegan a los 19.5 + 0.5 °C y 10.7 + 0.4 °C respectivamente y la precipitación anual media alcanza los 2494.7 + 330.5 mm/año (Llauca, H. et al 2021), la época húmeda y seca se registran durante los mismos meses de la Subcuenca El Toro. Esta zona reservada alberga una muestra representativa de bosques montanos tropicales y zona de refugio de especies silvestres (La Torre Cuadros et al, 2012) ya que constituye un hábitat de refugio por la biodiversidad de flora y especies endémicas adaptadas en las condiciones de la zona por las diferencias significativas de la temperatura y la influencia de vientos provenientes de la zona Alto andina además de especies con alto valor económico (Jauregui, J, 2016). Así también, se observaron además que la cobertura arbórea estaba cubierta por árboles que comprendían alturas de 35 m en su mayoría. Representa 5 categorías de Uso mayor de suelo, el área donde se realizó el estudio representa a la Zona de Protección de bosque nuboso o Zona de protección (SERNANP, 2017) (**Figura 2**).

Figura 2. Mapa de ubicación del SNPH y área de estudio, distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín – Perú



2.2 Metodología

2.2.1 Clasificación de uso de suelo

Debido a las condiciones heterogéneas del área de estudio se estratificó el uso del suelo de acuerdo a las características de la cobertura vegetal y tipo de vegetación (herbácea, arbustiva, arbórea) con la ayuda de imágenes satelitales y recorridos en campo. Con ayuda de la imagen satelital Sentinel 2B con una resolución de 10 m tomada y recuperada en el año 2020 con una cobertura de nubes menor al 7%. (ESA, 2020) se identificó puntos de estudios y posterior a ello se realizó la verificación en campo con ayuda de los propietarios para establecer el sistema de uso actual de suelo y el uso precedente.

En la **Figura 3.** se puede observar la clasificación de los sistemas de uso del suelo actual de la investigación basada en la interpretación de imágenes satelitales, trabajo en campo, encuestas a las comunidades y las características de cada área, definiendo 04 criterios de uso de suelo actual:

Figura 3. Cobertura vegetal. A=Cultivos (C), B=Agroforestería (AF), C=Bosque montano en regeneración (BMR) y D=Bosque montano conservado (BMC)



- a) Cultivo (C): sistema sin cobertura arbórea y suelo cubierto por pastos o herbáceas. Los cultivos dominantes son caña de azúcar, granadilla, maíz, cítricos, plátano y sistemas de café, también se incluyen zonas de pastizales y quemas.
- b) Agroforestería (AF): sistema con cobertura arbórea poco densa entre 10 a 15 m de altura, representado por sistemas agroforestales de café de 18 a 40 años integrado con cultivos como plátano, palta, piña, y especies de árboles como “ulcumano” *Nageia rospigliossi* Pilger, “matico” *Piper aduncum* L. y el “huampo” *Heliocarpus americanus* L.
- c) Bosque Montano en Regeneración (BMR): sistema con cobertura arbórea continua y dosel entre 20 a 30 m de altura. Está representado por bosques montanos secundarios que han seguido un proceso de regeneración natural entre 9 a 50 años por el abandono de áreas de cultivos.
- d) Bosque Montano Conservado (BMC): sistema que corresponde al área estudio ubicada en el SNPH, que se caracteriza por un bosque montano tropical maduro de más de 50 años, muy poco perturbado solo por la extracción selectiva de madera.

2.3 Colecta de datos

Se instaló 48 puntos de muestreo, 12 en casa sistema de uso de suelo, cada punto tuvo una dimensión de 1 x 1, muestreo realizado de acuerdo a la Guía para determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (Rugnitz, et al, 2009).

2.4 Determinación de Carbono en la Biomasa en raíces finas

Se instalaron de 20 x 20 y 10 cm de profundidad, hasta llegar a 1 m de profundidad) luego se procedió a retirar todo el suelo y las piedras para coleccionar las raíces finas. En el laboratorio se procedió a tamizar las muestras y se colocaron en la estufa a 40°C hasta tener un peso constante y así determinar el peso seco (Cuellar, E. et al 2016). Para la estimación del contenido de carbono orgánico se halló el valor de biomasa en las raíces finas (tn C/ha), multiplicado por un factor de corrección de 0.5 establecida por la IPCC (2003) ya que el valor de carbono en raíces representa el 50% de la biomasa (Brown, 1997)

2.5 Análisis de caracterización y COS (tn C/ha)

Para determinar el COS se tomaron muestras de suelo a 1 m de profundidad, para el análisis de caracterización donde incluía la determinación de porcentaje de carbono las muestras fueron llevadas al Laboratorio de suelos acreditado de la Universidad Nacional Agraria La Molina donde emplearon el método de Walkley y Black (1947), así también se determinó el COS a profundidades: 0-30 cm, 30-50 cm y 50 a 100 cm. Para determinar el COS en tn C/ha, se empleó la fórmula de Cuellar et al. (2016), mostrada en las siguientes ecuaciones:

a) Cálculo de volumen del suelo

$$[Vs] = DA * Prof\ suelo * 10\ 000$$

Vs: Volumen de suelo

DA: Densidad aparente (t/m³)

Prof suelo: Profundidad de suelo (m)

10 000: Constante

b) Cálculo del carbono en el suelo

$$COS \left(\frac{tn}{ha} \right) = V_s * C$$

COS (tn C/ha): Carbono orgánico en suelo

DA: Volumen del suelo

Prof. Aparente: profundidad de la muestra

%C: valor dado por el laboratorio

2.5.1 Análisis de Caracterización física- química

Los valores de caracterización física se obtuvieron en campo; altitud (msnm), pendiente (%), uso del suelo a través de años y profundidad de la capa de hojarasca sobre el suelo (cm) o litter y en el Laboratorio se determinó: densidad aparente (g/cc) y Clase textural (arena%, limo%, arcilla%).

Los valores de caracterización química que se determinaron en laboratorio fueron: pH, conductividad eléctrica (Ds/m), $CaCO_3$ (%), Carbono orgánico (%), P (ppm), K (ppm), capacidad de intercambio catiónico (meq/100g), Ca^{+2} (meq/100g), Mg^{+2} (meq/100g), K^{+} (meq/100g), Na^{+} (meq/100g), Al^{+3} y H^{+} (meq/100g), Suma de cationes, suma de bases y porcentaje de bases.

2.5.2 Análisis Estadístico

Se empleó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con un nivel de significación del 5% ($p \geq 0.05$) para evaluar la distribución de los valores del contenido del COS (tn C/ha), carbono orgánico en suelo (%) y parámetros fisicoquímicos por sistema de uso de suelo. Las variables que presentaron una distribución normal se les aplicó la prueba paramétrica ANOVA de un factor y Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) para comparaciones múltiples. Las variables que no se distribuyeron normalmente se les aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y Dunn's post hoc método de Benjamini-Hochberg ($p \leq 0.025$) para comparaciones múltiples. Para determinar las correlación se realizaron Correlaciones lineales de Pearson y para observar el comportamiento de

las variables se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA) (Hotelling 1933). Para las pruebas se utilizaron el software PAST versión 3.06 y RStudio 1.4.1106.

3. Resultados

3.1 Almacenamiento de COS por sistema de uso de suelo

De acuerdo a los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia de 0.05 ($p > 0.05$), se comprobó que los valores de COS (tn C/ha) para todos sistemas siguen una distribución no paramétrica. Se registran una mayor diferencia significativa del COS (tn C/ha) entre los sistemas de uso de suelo correspondientes a BMC – C y BMC – AF, evidenciando diferencias de hasta 136.52 tn C/ha entre el uso de BMC y C. Los valores más altos de COS corresponden a los sistemas BMR y BMC, cuyas medias se estiman en 231.17 tn C/ha (DE = 101.46) y 299.28 tn C/ha (DE = 147.93) respectivamente, y un menor contenido de COS en uso de suelo C y AF con 159.76 tn C/ha (DE = 76.22) y 173.1 tn C/ha (DE = 121) respectivamente.

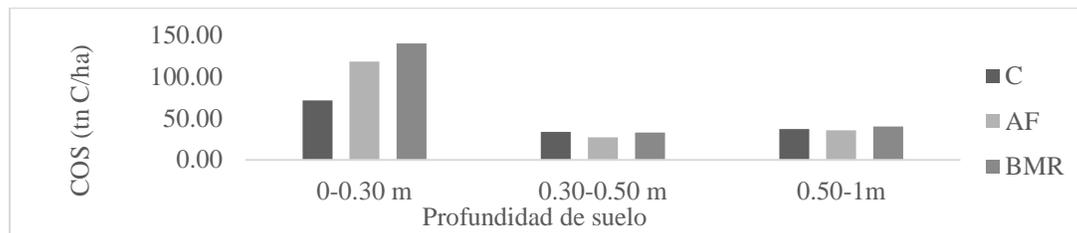
Cuadro 1. Estadísticos descriptivos para cada sistema de uso de suelo de los valores de porcentaje de carbono en suelo (%) y Carbono orgánico de suelo (tn C/ha)

Uso de suelo profundidad a 1 m	Carbono (%)				COS (tn C/ha)			
	Mín.	Máx.	Media	D. E.	Mín.	Máx.	Media	D. E.
C	0.28	2.02	1.24 b	0.62	31.64	282.8	159.76 b	76.22
AF	0.21	2.84	1.27 b	0.95	30.63	375.1	173.1 b	121
BMR	0.88	3.39	1.84 ab	0.84	103.8	431.2	231.17 ab	101.46
BMC	0.84	5.96	2.61 a	1.52	110.9	579.4	299.28 a	147.93

D.E: Desviación estándar

En cuanto a los valores de COS a diferentes profundidades (0 – 0.30 m, 0.30 – 0.50 m y 0.50 – 1 m) se registró que a 30 cm de profundidad el COS es mayor para los tres sistemas uso de suelo del área de estudio de la Subcuenca El Toro: C, AF y BMR con valores de 71.42 tn C/ha, 117.93 tn C/ha y 139.97 tn C/ha respectivamente, cuyos promedios representan entre el 50 y 70 % del contenido total en el suelo en un perfil de 1 m de profundidad. Figura 4.

Figura 4. Análisis de COS (tn C/ha) a profundidades del suelo de: 0 – 0.30 m, 0.30 – 0.50 m y 0.50 – 1 m



En el Cuadro 2 se observa los resultados de COS a profundidad de 1 m, biomasa de raíces finas y la suma de ellos, donde se evidencia diferencia significativa entre los promedios de la biomasa de raíces finas (tn C/ha) del sistema BMC y los sistemas C, AF y BMR. El sistema C con 11.23 tn C/ha representa el menor valor de carbono orgánico en biomasa de raíces finas, valor equivalente a solo el 31.2% respecto sistema BMC. La mayor acumulación de raíces finas en suelo se encuentra a una profundidad de 30 cm para los sistemas C, AF y BMR, mientras que en el sistema BMC se sitúan a 40 cm de profundidad. Se evidencia además una relación positiva entre el COS y la biomasa de raíces finas. La mayor reserva de carbono orgánico total en suelo (COS y biomasa en raíz), corresponden a los sistemas de suelos conservados es decir BMR y BMC cuya suma asciende a 245.65 y 335.7-tn C/ha respectivamente.

Cuadro 2. Capacidad de almacenamiento de Carbono por uso actual de suelo en un Bosque

Montano Tropical de los Andes

Uso de suelo	Suelo (tn C/ha)	Raíz (tn C/ha)	Suelo + Raíz (tn C/ha)
C	159.76 b	11.23 b	170.99
AF	173.1 b	12.25 b	185.35
BMR	231.17 ab	14.48 b	245.65
BMC	299.28 a	36.42 a	335.7

3.2 Carbono orgánico de suelo (tn C/ha) y variables físicas

No se registró correlación entre el COS (tn C/ha) y la altitud o pendiente, sin embargo, sí se evidencia una correlación positiva entre la altura y pendiente.

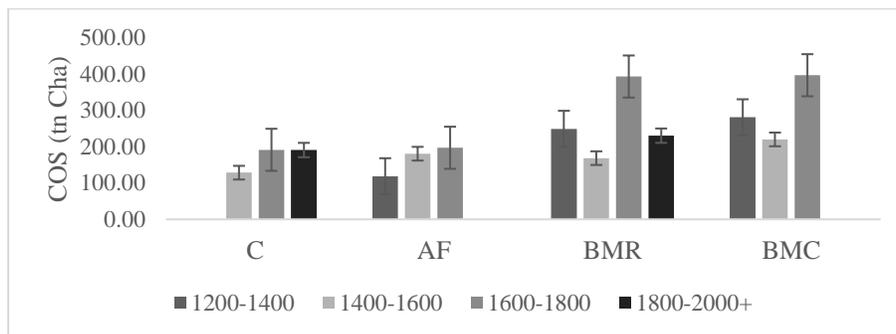
El tiempo de descanso en suelos posterior al desarrollo de actividades agrícolas u otras actividades influyen en el COS, esto se evidenció en la recuperación de suelos en parcelas correspondientes al sistema BMR, suelos en periodo de descanso o abandono de hasta 50 años con altos valores de COS almacenando hasta 339 tn C/ha. (Cuadro 3)

Cuadro 3. Análisis de variables físicas por cada uso actual de suelo

Uso de suelo (1 m)	Altura (msnm)	Pendiente (%)	DA (g/cm ³)	Edad (Años)
C	1400 – 2017	28 - 66 %	1.3	1 a 40
AF	1400 - 2000	31 - 60 %	1.41	7 a 40
BMR	1200 – 1900	10 - 60%	1.27	9 a 50
BMC	1200 -1700	2 - 52 %	1.2	40

En la Figura 6 se presentan las diferencias de los promedios entre el COS a una profundidad de 1 m y altitud cada 200 msnm para los tipos de uso de suelo evaluados, se reportó que el contenido de COS mostró valores superiores a alturas de 1600 – 1800 msnm para los cuatro sistemas de uso de suelo estudiados, C, AF, BMR y BMC correspondientes a valores de 191.464 tn C/ha, 197.09 tn C/ha, 393.24 tn C/ha y 396.85 tn C/ha respectivamente.

Figura 6. Análisis del COS (tn C/ha) y altitud (msnm)



Los suelos del área de estudio están representados por el tipo franco arcilloso (53%) y franco (33%) principalmente y al suelo del área de referencia de tipo franco arcilloso (58%) y arcilloso (25 %). Los valores de arcilla son mayores para los sistemas AF (40.7 %) y BMR (46.8 %) y no se evidencia relación significativa entre el COS y la densidad aparente.

3.3 Carbono orgánico de suelo (tn C/ha) y variables químicas

Los suelos agrícolas (C y AF) son fuertemente ácidos, los suelos del sistema BMR y BMC son suelos fuertemente ácidos a neutro y se evidencian suelos con pH neutro. En el cuadro 4, se muestran a las variables químicas y las diferencias significativas entre los sistemas. Los valores de CIC de los sistemas C (14 meq/100g) y AF (13.41 meq/100) son significativamente diferentes con respecto al sistema BMC (22.77 meq/100g). Existe diferencia significativa entre el área de estudio (C, AF y BMR) y el área de referencia (BMC) para los valores Fosforo (P) y para el potasio disponible (K) con 119.39 ppm y 66.17 ppm respectivamente.

Cuadro 4. Análisis de variables química por cada uso de suelo

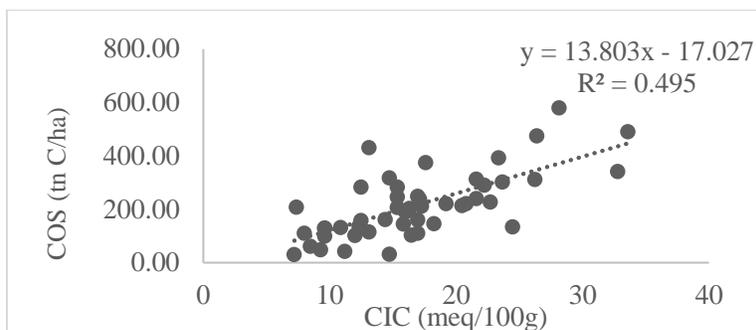
Uso actual de suelo	pH	CIC (meq/100g)	C.E (1:1) dS/m	P (ppm)	K (ppm)	Ca +2	Mg+2	K+	Suma de cationes	Suma de bases
C	5.02 b	14.05b	0.11 b	9.33 b	114.75 a	4.44 c	0.89 a	0.33 a	6.83 b	5.84 b
AF	5.38 b	13.41 b	0.16 ab	9.8 b	117.5 a	6.88 bc	1.22 a	0.37 a	9.37 b	8.6 b
BMR	6.66 a	17.27 ab	0.27 a	6.83 b	125.92 a	13.51 a	1.67 a	0.39 a	17.79 a	15.7 a
BMC	5.76 ab	22.77 a	0.26 a	39.95 a	66.17 b	14.32 ab	1.21 a	0.18 b	16.91 a	15.76 a

C.E. = Conductividad eléctrica, CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico

Los valores de Ca+2 para sistemas agrícolas (C y AF) son menores respecto al sistema BMR y BMC difiriendo en 8.3 cmol/Kg y valores de K+ resultan mayores para el área de estudio (C, AF y BMR) respecto al área de referencia (BMC). El promedio de los valores de la Suma de cationes en suelos agrícolas, es decir C (6.83) y AF (9.37), corresponden al 47 % respecto a suelos de los sistemas de suelos en regeneración (BMR con 17.79) y conservados (BMC con 16.91).

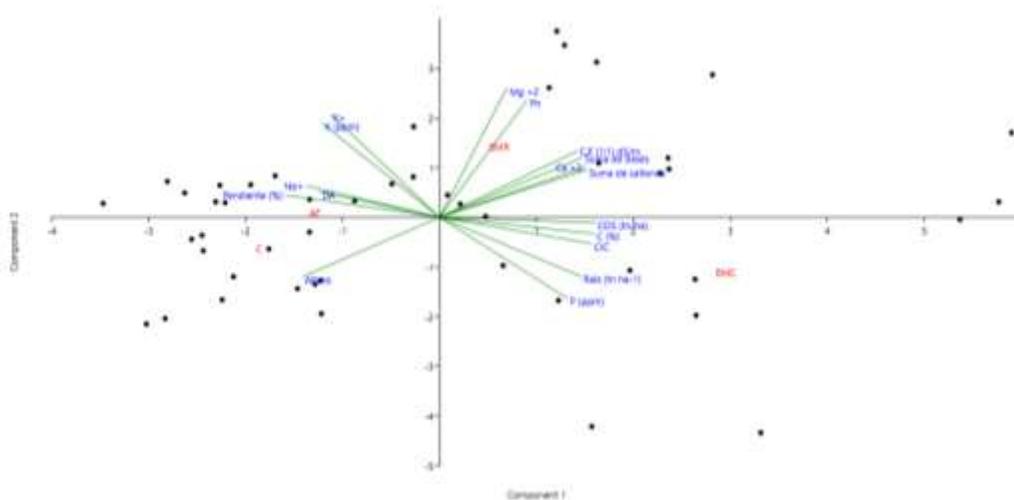
Se evidencia una correlación positiva significativa entre el CIC y el COS (0.5), además de la Conductividad eléctrica y el COS.

Figura 8. Relación entre la Capacidad de Intercambio catiónico y COS por sistemas de uso de suelo



A través del Análisis de componente principal PCA para los cuatro sistemas de uso de suelo y las variables: Altura, pendiente, C.E, pH, P (ppm), K (ppm), CIC, Ca+2, Mg+2, K+, Na+, Suma de bases, Suma de cationes, Densidad aparente, biomasa de raíz, % de carbono orgánico y COS. Se observa que la diferencia significativa entre el sistema BMC y los usos C, AF y BMR estaría explicado por las variables % de carbono, COS, CIC, carbono en biomasa de raíz y P(ppm).

Figura 9. Análisis de componente principal para los cuatro usos de suelo



Así también, se evidencia que el sistema BMR es un sistema de transición entre el sistema AF y BMR. De acuerdo a los ángulos entre vectores, se evidencia que existe relación entre el COS, C% y CIC, además del C.E., suma de bases y suma de cationes. Los componentes 1 y 2 representan el comportamiento un 97 % de la variabilidad de datos(Figura 9).

4. Discusión

Los Bosques Montanos Tropicales de los Andes son ecosistemas que tienen gran capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de suelos (Dilas-Jiménez, J & Huamán, A., 2020) en comparación con otros Bosques tropicales (Quichimbo et al. 2015), La media del COS en esta investigación corresponde a 215 tn C/ha valor cercano al estudio de Arteaga et al 2013 (214.44 tn C/ha) considerando medias a alturas de 1500 a 2050 estudio realizado en bosque montano bajo o de niebla, y encontrándose dentro del promedio de un Bosque tropical en Papús Nueva Guinea (40 a 210 tn C/ha), sin embargo si se compara el COS con bosques tropicales amazónicas, la media podría triplicar el resultado (Díaz et al 2016), el principal determinante explicaría de que el sistema estudiado integra bosques intangibles, suelos conservados por 40 a 50 años y áreas con una densa cobertura forestal, generando un ecosistema capaz de suministrar altos valores de COS (Hidalgo, P., 2011) comprobado lo descrito por Jobbágy & Jackson, R., 2000 quienes afirman que la cobertura forestal y el uso de suelo a través de los años contribuyen a la capacidad de almacenamiento de COS, de hecho, la presencia de individuos forestales maduros no solo influyen en el contenido de COS sino también en el secuestro de CO_2 , ya que la edad de las plantaciones forestales y el secuestro de CO_2 serían directamente proporcionales (del Águila, 2015), evidenciado además que cada sistema estudiado es particular y muestra diferencia entre ellas, esto explicaría los altos valores de desviación estándar.

Así también, el sistema BMC suministra casi 47 % más de COS en relación al sistema C, afirmando que la capacidad de almacenamiento de COS está influenciada por el cambio de cobertura vegetal y uso de suelo (Wang, Y., et al, 2011, Carbajal et al, 2009 Mathew et al., 2018, Hernández, J, et al. 2017, Díaz et al, 2016).

El manejo de suelo también influiría en la distribución vertical de COS, especialmente en el topsoil o las capas superficiales de 20 cm (Jobbágy & Jackson, R., 2000) o 30 cm profundidad (Quichimbo, P. et al 2015), en el presente estudio se registra que en las capas superficiales de los sistemas C (51.42

tn C/ha) la capacidad de almacenamiento (30 cm de profundidad) en comparación de los sistemas AF 117.93), esto se explicaría debido a que actividades agrícolas intensivas están más expuestas a prácticas de labranza, arado constante y remoción de la capa superficial generando pérdida de la materia orgánica (Olso, K.R. & Al Kaisi M.M. 2015, Jobbágy & Jackson, R., 2000).

Se evidencia además que el COS es mayor en las capas superiores (0 a 30 cm) para los sistemas estudiados, esto se debería a que el topsoil tiene mayor interacción con la atmósfera, raíces y biomasa (Dielaman et al., 2015, Carbajal et al. 2009), y las raíces finas son grandes secuestradores de carbono orgánico (Orrego & Del Valle 2001, Suxo & Cruz 2017, Medina, 2006).

De acuerdo a los resultados obtenidos respecto al carbono en raíces finas, no se evidencia diferencias significativas entre los sistemas C y AF (11.23 tn C/ha y 12.25 tn C/ha respectivamente), sin embargo, si se compara con el sistema BMC el valor se triplica, esto se debería a que las raíces se encuentran a mayor profundidad en bosques maduros (Aragao, L., et al 2013) y en consecuencia el peso es mayor.

Al comparar el COS y gradiente altitudinal, se determinó que a alturas de 1600 – 1800 msnm el contenido de COS es mayor para los cuatro sistemas C (191.46 tn C/ha), AF (197.09 tn C/ha), BMR (393.24 tn C/ha) y BMC (396.8) con un promedio de 294.7 tn C/ha, sin embargo no se evidencia una relación proporcional entre el COS y la altitud, esto se debería a que no se obtuvo datos de COS en todos los rangos de altitud, y si se compara los valores de COS a alturas de 1500 a 2000 msnm se obtendría un promedio de 225 tn C/ha, valor ligeramente mayor a la investigación de Álvarez-Arteaga et al, 2013, que registró 214 tn C/ha de COS a alturas de 1500 a 2050 msnm en un ecosistema de bosque montano nuboso.

Las variables químicas también nos explican la variación de COS entre sistemas, C y BMC son sistemas con mayor diferencia significativa entre variables influenciado por el porcentaje de arcilla, P, K, CIC, Ca⁺², C.E y suma de cationes. El CIC tiene un promedio de 14.05 meq/100 g dentro del sistema C, mientras que en BMC resulta un 40 % más de CIC (22.77 meq/100 gr), esto

se podría explicar por la cantidad de cargas negativas disponibles en el suelo conservado (Martínez et al 2008) ya el sistema BMC tiene 60 % más de Suma de cationes respecto al sistema C. Se evidencia además una correlación positiva que existe entre el contenido de COS (tn C/ha) y la Capacidad de Intercambio catiónico (meq/100g), esto estaría relacionado debido a que más del 56 % son suelos franco arcillosos y en el sistema AF y BMR se registra suelos arcillosos. Así también se registra una correlación entre el COS (tn C/ha) y la Conductividad Eléctrica (dS/m), esto se debería al flujo hídrico del área por su alta precipitación y los altos valores de Capacidad de campo registrado en el área.

Se registra además una diferencia significativa de los valores de P entre el sistema BMC y los sistemas C, AF y BMR, esto se debería a la demanda de los cultivos de este macronutriente, valores ligeramente mayores al sistema BMR debido al aporte de los agricultores a través de la fertilización (Sadeghian K. S. 2003). Así también, se evidencia que el contenido de K es mayor en los suelos del área de estudio (media: 119.4 ppm) en comparación de los suelos del área de referencia, esto se debería a la influencia de la arcilla en estos suelos, ya que la el K disponible tiene relación con los suelos arcillosos (Aguado-Lara, G., et al 2002)

5. Conclusiones

Los resultados de este estudio indican que existe diferencias significativas en las reservas de carbono entre los **sistemas de uso de suelo agrícola (C y AF), suelos en regeneración (BMR) y conservados (BMC)**, además de la alta capacidad de almacenamiento de COS en suelos de los Bosques Montanos.

Los sistemas BMC y BMR son suelos de mayor capacidad de almacenamiento de COS, en comparación de los suelos agrícolas (C y AF). El sistema AF podría captar o fijar carbono en mayor proporción comparado a sistemas tradicionales de uso de suelo como es el sistema C, debido a que la relación entre la Capacidad de Intercambio es mayor y se evidencia una ligera diferencia de medias entre los dos sistemas agrícolas.

El uso de suelo tiene gran influencia en la capa superficial y en la distribución vertical del COS en los tres sistemas correspondientes al área de estudio, el COS es mayor en las capas superficiales de los 3 sistemas estudiados: C (71.42 tn C/ha) y AF (117.93 tn C /ha) como el sistema BMR (139.97), y se evidencia una pérdida de COS en el sistema C.

Los suelos de uso agrícola intensiva, están expuesto a las prácticas de manejo como la remoción de suelo, compactación, arado, lo que genera una ruptura de agregados y disminución del carbono orgánico en suelo.

El COS es proporcional a la Capacidad de Intercambio Catiónico debido a la interacción de los cationes, particularmente en suelos franco arcillosos. Además de la relación lineal del COS y Conductividad eléctrica, considerando medias de C.E (dS/m) de 0.10 a 0.27.

6. Recomendación

Una de las estrategias para aumentar la capacidad de carbono del suelo incluye la restauración y regeneración de suelos, y una de las estrategias que se establecen es el desarrollo de policultivos, policultivos bajo sombra o la promoción de sistemas agroforestales.

Las reservas de carbono orgánico en suelo en ecosistemas de Bosque Montano de los Andes son importantes reservorios de carbono orgánico, por lo tanto, su conservación debería ser prioridad, cabe resaltar que estos bosques son ecosistemas frágiles al cambio de uso de suelo y manejo del suelo.

7. Agradecimientos

Agradecer a la Universidad Científica del Sur por el apoyo económico a través de la Beca Cabieses 2020.

8. Referencias

1. Achard, F., Eva, H., Stibig, H.J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J. P. 2002. Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests. Revista: Science, New Series, Vol(297), No. 5583. pp. 999-1002.

2. Aguilar, D. 2015. Dinámica del carbono de raíces finas en el bosque de terraza media y Bosque De Varillal Seco De La Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú. Tesis
3. Álvarez-Arteaga, G., García, N., Krasilnikov, P., Almacenes de Carbono en Bosques Montanos de niebla de La Sierra Norte de Oaxaca, México. 2013. Revista: Agrociencia 47: 171-180. 2013.
4. Aquino, R., García, G., Charpentier, E., López, L., 2017. Estado de conservación de *Lagothrix flavicauda* y otros primates en bosques montanos de San Martín y Huánuco, Perú.
5. Aragao, L., Silva, J., Huaraca, W., Wittaker, R., 2013. Fine root dynamics along an elevational gradient in tropical Amazonian and Andean forests. *Global Biogeochemical Cycles* 27(1):252-264 DOI:10.1029/2011GB004082
6. Bach, K., Schawe, M., Beck, S., Gerold, G. S.R. Gradstein1 & Mónica Moraes R. Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. 2003. *Ecología en Bolivia*, 38(1): 3-14.
7. Beck, S. G., P. A. Hernandez, P. M. Jørgensen, L. Paniagua, M. E. Timaná y B. E. Young. 2007. Plantas vasculares. Pp. 18-34 en B. E. Young (editor), *Distribución de las especies endémicas en la vertiente oriental de los Andes en Perú y Bolivia*. NatureServe, Arlington, Virginia, EE UU.
8. Bruijnzeel, L. A., Scatena, F. N., Hamilton, L. S. 2011. *Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world*. Cambridge University Press 978-0-521-76035-5.
9. Bubb, P., I. May, L. Miles, and J. Sayer (2004). *Cloud Forest Agenda*. Cambridge, UK: UNEP–World Conservation Monitoring Centre. Disponible <http://sea.unep-wcmc.org/forest/cloudforest/index.cfm>
10. Bussman, R. 2005. Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso Andean Forests of Southern Ecuador, classification, regeneration and use. *Rev. peru. biol.* 12(2): 203 – 216.
11. Carvajal, A., Feijoo, A., Quintero, H., Rondón, H. 2009, Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos
12. Castellanos, R. J. Z. 2000. *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas*. Ed. Intagri. Gto., México. 186 p
13. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.
14. Conant, R.T., Ryan, M., Agreeen, C., Birge, H., Davidson, E., Eliasson, P., Evans, S., Frey, S., Giardina, C., Hopkins, F., Hyvonen, R., Firschbaym, M., Lavallee, J., Leifeld, J., Parton, W., Steinweg, J., Wallenstein, M., Wetterstedt, J. A., Bradford, M., 2011. Temperature and soil organic matter decomposition rates -synthesis of current knowledge and a way forward. *Glob. Chang. Biol.* 17 (11), 3392–3404.
15. Cuéllar, E.; Salazar, E.; Fernández, K. Efecto del cambio de uso del bosque tropical sobre carbono total almacenado, cuenca de Aguatía, Perú. 2015 *Revista Forestal del Perú*. Vol. XXVII N° 1 y 2.
16. Cuesta, F. & Peralvo, M. 2009. *Los Bosques Montanos de los Andes Tropicales*. Revista ECOBONA, Intercooperation. ISBN: 978-9942-9966-0-2.

17. De la Cruz-Amo L, Bañares-de-Dios G, Cala V, Granzow-de la Cerda I, Espinosa CI, Ledo A, Salinas N, Macía MJ and Cayuela L (2020) Trade- Offs Among Aboveground, Belowground, and Soil Organic Carbon Stocks Along Altitudinal Gradients in Andean Tropical Montane Forests. *Front. Plant Sci.* 11:106. DOI: 10.3389/fpls.2020.00106.
18. Díaz, P., Fachí, G., Tello, C., Arévalo, L. 2016 Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú.
19. Dieleman, W., Venter, M., Ramachandra, A. Krockenberger, A., Bird, M 2013. *Geoderma* 204–205 59–67 Soil carbon stocks vary predictably with altitude in tropical forests: Implications for soil carbon storage DOI: 10.12933/therya-13-108.
20. Figueroa, J. 2013. Composición de la dieta del oso andino *Tremarctos ornatus* (Carnivora: Ursidae) en nueve áreas naturales protegidas del Perú. Vol.4(2):327-359
21. Giacomotti, J. 2019. Cambios en la diversidad y Composición Florística en Bosques Montanos Y Premontanos en la Selva Central del Perú. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
22. Gradstein, S. Robbert; Homeier, Jürgen; Gansert, Dirk (Ed.). 2008. The tropical mountain forest; patterns and processes in a biodiversity hotspot. - Universitätsverlag Göttingen (Biodiversity and ecology series; 2)
23. Hernández, J.; Tirado-Torres, D., Beltrán-Hernández, R., 2014. Captura de carbono en los suelos. ISSN 2007-6363 (1) https://www.researchgate.net/publication/321958980_Captura_de_carbono_en_los_suelos
24. Hiederer R, Köchy M. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database. EUR 25225 EN. Publications Office of the EU, Luxembourg (2011).
25. Hughes, C. E. 2016. The tropical Andean plant diversity powerhouse. *New Phytologist*, **210**(4), 1152– 1154. <https://doi.org/10.1111/nph.13958>
26. Jóbbágy, E. & Jackson, R. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2), 2000, pp. 423– 436
27. Julca-Otiniano, A., Meneses-Florían, L., Blas-Sevillano, R., Bello-Amez, Segundo. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. Vol(24). Revista IDESIA. Junín, Perú.
28. K.R. Olson a, *, M.M. Al-Kaisi b . 2015 The importance of soil sampling depth for accurate account of soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss. *CATENA* Volume 125, February 2015, Pages 33-37. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.004>
29. Kessler, M. & Jürgen, K., 2008. Diversity and endemism in tropical montane forests - from patterns to processes. Albrecht von Haller Institute of Plant Sciences, Department of Systematic Botany, University of Göttingen, Untere Karspüle 2, 37073.
30. Kometter, R., Gonzales-Iwanciw, J., Hernández-Manrique, O., Omaza, F., Frederik Prins, A., Zambrano, T. 2014. Línea de base. Conservación de los bosques altoandinos frente al cambio climático: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina
31. Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623–1627.
32. Le Quéré, C. et al. Global carbon budget 2016. *Earth Syst. Sci. Data* **8**, 605–649.

34. Llerena, C., Yalle, S., Silvestre, E. 2015. Los bosques y el cambio climático en el Perú: situación y perspectivas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Lima, Perú
35. Martínez, E., Fuentes, J., Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo
36. Ministerio del Ambiente – MINAM 2019. Mapa Nacional de Ecosistemas.
37. Myers, N.; Mittermeier, R.; Mittermeier, C.; da Fonseca, G.; Kent, J. 2000. * Green College, Oxford University, Upper Meadow, Old Road, Headington, Oxford OX3 8SZ, U. NATURE. VOL 403. www.nature. Com
38. Nottingham , A., Whitaker , J., Benjamin L., T., Salinas, N., Zimmermann, M., Malhi, Y., Meir, P. 2015. Climate Warming and Soil Carbon in Tropical Forests: Insights from an Elevation Gradient in the Peruvian Andes *BioScience* • September 2015 / Vol. 65 No. 9
39. Pacheco V. & M. Noblecilla. 2019. Diversidad de mamíferos en el bosque montano de Carpish, Huánuco, Perú. *Revista peruana de biología* 26(2): 217 – 226 (Julio 2019). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i2.16372>
40. Pennington RT, Lavin M, Sarkinen T, Lewis GP, Klitgaard BB, Hughes CE. 2010. Contrasting plant diversification histories within the Andean biodiversity hotspot. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 107: 13783–13787.q 2000 by the Ecological Society of America. Estados Unidos de América.
41. Pérez, M., Medina, M., Hurtado, A., Arboleda, E., Medina, M. 2019. Reservas de carbono del pasto *Cenchrus clandestinus* (Poaceae) en los sistemas de manejo tradicional y silvopastoril, en diferentes relieves.
42. Ramírez, A. & Moreno, F., Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios. 2008. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 61(1):4381-4393. Porce, Colombia.
43. Rojas, A.S.; Andrade, H.J.; Segura M., M.A.: Carbono orgánico del suelo alto-andino 2018. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.* 21(1): 51-59 DOI:10.31910/rudca.v21.n1.2018.662
44. Ruesch A, Gibbs H. New Global Biomass Carbon Map for the Year 2000 Based on IPCC Tier-1 Methodology. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, USA (2008).
45. Rugnitz M., Chacon M., Porro R., 2009. Guía para la determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales. 1ra edición. Lima Perú. Centro Mundial agroforestal ICRAF/ Consorcio Iniciativa Amazonica. 79 p.
46. Rutte C., J & Reynel R., C. Composición y diversidad arbórea en la cumbre del Bosque Montano Nublado Puyu Sacha, Chanchamayo, Dp. de Junín, Perú. Centro de Estudios en Dendrología – Fundación para el Desarrollo Agrario
47. Salomé, C., Nunan, N., Pouteau, V., Lerch, T., Chenu, C. 2010. Carbon dynamics in topsoil and in subsoil may be controlled by different regulatory mechanisms. *Global Change Biology.* 16, 416–426, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01884.x
48. Scheer, M. B., Cursio, B. R.M, Roderjan, C.V. 2013. Carbon and Water in Upper Montane Soils and Their Influences on Vegetation in Southern Brazil. Hindawi Publishing

Corporation. ISRN Soil Science Volume 2013, Article ID 348905, 12.
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/348905>

49. Seibert, J., Stendahl, J., Sorensen, R., 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma* 141 (1–2), 139–148.
50. Serra, E, Nuñez, M. Valleter, E. Respiración de dióxido de carbono de suelo, bosque tropical, Gamboa - Panamá
51. Sheer, M., Gurcio, G., Roderjan, C. 2013. Carbon and Water in Upper Montane Soils and Their Influences on Vegetation in Southern Brazil. Hindawi Publishing Corporation ISRN Soil Science Volume 2013, Article ID 348905, 12 pages
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/34890>.
52. Solis, R., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Marín-Díaz, J., Ñique-Alvarez, M., Engedal, T., Bruun, T.B. 2020. Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon. www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/carbon-stocks-and-the-use-of-shade-trees-in-different-coffee-growing-systems-in-the-peruvian-amazon/EFBC4767DB3C355403F162F6286E2373
53. Sonco, R. 2013. Estudio de la diversidad alfa y beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés
54. Sylvester, S., Heitkamp, F., Sylvester, M., Jungkunst, H., Sipman, H., Toivonen, J., Gonzales Inca, C. Ospina, A. Kessler, M. Relict high-Andean ecosystems challenge our concepts of naturalness and human impact. 2017. *Scientific Reports*. 7: 3334 | DOI:10.1038/s41598-017-03500-7
55. Tejedor Garavito, N., Álvarez, E., Arango Caro, S., Araujo Murakami, A., Blundo, C., Boza Espinosa, T.E., La Torre Cuadros, M.A., Gaviria, J., Gutiérrez, N., Jørgensen, P.M., León, B., López Camacho, R., Malizia, L., Millán, B., Moraes, M. Pacheco, S., Rey Benayas, J.M., Reynel, C., Timaná de la Flor, M., Ulloa Ulloa, C., Vacas Cruz, O., Newton, A.C. 2012. Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas* 21(1-2):148-166.
56. Torrachi, S. 2005. Deforestación de bosques montanos y patrones de pérdida de hábitat en la región sur del Ecuador.
57. Tovar, A., Tovar, C., Saíto, J., Soto, A., Regal, F., Cruz, Z., Véliz, C., Vásquez, P., Rivera, G. 2010. Yungas Peruanas-Bosques montanos de la Vertiente oriental de los Andes del Perú. Una perspectiva ecorregiones de la conservación. Punto Impreso S.A., Miraflores, Perú.
58. Van Der Werff, H* & Consiglio, H. 2004. Distribution and conservation significance of endemic species of flowering plants in Peru. *Biodiversity and Conservation* **13**: 1699–1713.
59. Young, K & León, B. 2000. *Mountain Research and Development*, 20(3):208-211.
60. Young, K. 2009. Andean Land use and Biodiversity: Humanized Landscapes in a time of change," *Annals of the Missouri Botanical Garden* 96(3), 492-507.

9. Anexos

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD



Constancia N° 26-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2018

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: 070-2018-PRE11

Título: Capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo en relación a los diferentes patrones de uso de suelo en un bosque montano, La Merced, Chanchamayo

Investigador principal: Adala Belén Alegre Oré

La aprobación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, que se sustentan en la normativa internacional; no obstante, creemos que también es necesario cumplir los requisitos solicitados por el gobierno peruano; esto es, la obtención del permiso de colecta dado por SERNAMP. Le pedimos que regularice dicho trámite y nos envíe la aprobación correspondiente en un plazo que no exceda los tres meses.

Esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (hasta el 19 de mayo del 2020), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 20 de noviembre de 2018



Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno

Presidente

Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°049-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 10 de abril de 2019.

VISTO:

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo en relación a los diferentes patrones de uso de suelo en un bosque montano, La Merced, Chanchamayo**, presentado por:

- **Adaía Belén Alegre Oré**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al **Director Académico de Carrera**.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo en relación a los diferentes patrones de uso de suelo en un bosque montano, La Merced, Chanchamayo** con N° de registro: **070-2018-PRE11**, y establecer el inicio del período de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **MSc. Karen Ilse Eckhardt Rovalino** como asesora para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental