Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

Distribución espacial del carbono orgánico del suelo en el sector Huacapamba, parroquia Jimbilla, cantón Loja

Trabajo de Titulación previa a la obtención del título de Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

Autora:

Estefania Carolina Jimenez Peña

Director:

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2022

Certificación del Trabajo de Titulación

Loja, 07 de marzo de 2022

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifico:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación del grado titulado: "Distribución espacial del carbono orgánico del suelo en el sector Huacapamba, parroquia Jimbilla, cantón Loja" de autoría de la estudiante Estefania Carolina Jiménez Peña, portadora de la cédula de ciudadanía N° 1105878365, previa a la obtención del título de Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Firmado electrónicamente por:
CARLOS GUILLERMO
CHUNCHO MOROCHO

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, Estefania Carolina Jiménez Peña, declaro ser autora del Trabajo de titulación: **Distribución espacial del carbono orgánico del suelo en el sector Huacapamba, parroquia Jimbilla, cantón Loja**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firmado electrónicamente por:
ESTEFANIA
CAROLINA
JIMENEZ PEÑA

Nombre: Estefania Carolina Jiménez Peña

C.I.: 1105878365

Fecha: 20 de mayo del 2022

Correo electrónico: estefania.jimenez@unl.edu.ec

Teléfono: 0967345039

Carta de autorización del trabajo de titulación por parte del autor para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica de texto completo.

Yo, **Estefania Carolina Jiménez Peña**, declaro ser autor(a) del trabajo de titulación titulado: **Distribución espacial del carbono orgánico del suelo en el sector Huacapamba, parroquia Jimbilla, cantón Loja** como requisito para optar el título de **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.
La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veinte días del mes de mayo del dos mil veintidós.

Firmado electrónicamente por:
ESTEFANIA
CAROLINA
JIMENEZ PEÑA

Autora: Estefania Carolina Jimenez Peña
Cédula de identidad: 1105878365
Dirección: Cdla. Daniel Álvarez. Loja, Loja, Ecuador
Correo electrónico: estefania.jimenez@unl.edu.ec **Teléfono:** 072111296 – 0967345039

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del trabajo de titulación: Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg. Sc
Tribunal de Grado:

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc	**Presidente**
Ing. Diana Karina Ochoa Gordillo Mg. Sc	**Vocal**
Ing. Marjorie Cristina Díaz López Mg. Sc	**Vocal**

Dedicatoria

El amor de un padre hacia sus hijos es infinito. El presente trabajo de titulación se lo quiero dedicar con mucho amor y alegría a mis queridos padres Milton y Gladis, así como también a mis abuelitos Roque y Elena por ser la luz guía en mi camino, por enseñarme a cumplir mis sueños y objetivos, por su amor incondicional y más que todo por su apoyo durante los momentos buenos y malos de la vida.

Estefania Jimenez Peña

Agradecimiento

Una vez terminada esta fase importante de mi vida quiero agradecer inmensamente a Dios, a mis queridos padres, a mis hermanos, a mis abuelos, a mi novio y a mis demás familiares por su apoyo incondicional y por ser una fuente de inspiración, bondad, cariño y fortaleza; valores que me permitieron cumplir este gran sueño de ser profesional.

Así mismo, quiero extender mi gratitud a la planta docente de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, al personal técnico del Laboratorio de Suelos y demás miembros que conforman la comunidad de la UNL, pero de manera muy especial a mi director de tesis Ing. Carlos Chuncho Morocho quién desde un inicio me apoyó personal y académicamente durante el proceso y desarrollo del presente trabajo de titulación. Finalmente, a mis compañeros por los momentos compartidos, pero de manera especial a Roberth y Nixon por su valiosa amistad y su apoyo incondicional.

Estefania Jimenez Peña

Índice de contenidos

Portada i

Certificación del Trabajo de Titulación ii

Autoría iii

Carta de autorización. iv

Dedicatoria v

Agradecimiento vi

Índice de contenidos vii

Índice de tablas ix

Índice de figuras x

Índice de anexos xi

1. Título 1

2. Resumen 2

2.1. Abstract 3

3. Introducción 4

4. Marco teórico 6

4.1. El ciclo global del carbono 6

4.2. El carbono orgánico del suelo (COS) 8

4.2.1. El COS como estrategia para mitigar el cambio climático 9

4.2.2. El COS como indicador de la calidad del suelo 10

4.2.3. El COS en ecosistemas forestales y de pastizales 12

4.2.4. Factores que intervienen en el contenido de COS 13

4.3. Distribución espacial del COS 14

5. Metodología 16

5.1. Área de estudio 16

5.2. Cuantificación de la distribución espacial del carbono orgánico tomando en cuenta el uso del suelo y la vegetación 18

5.2.1. Muestreo del suelo 18
5.2.2. Análisis de laboratorio 19
5.2.3. Estimación de la vegetación 23
5.2.4. Interpolación de datos del contenido de carbono orgánico del suelo 24
5.3. Determinación del efecto de la vegetación, el uso del suelo, las propiedades físicas y químicas del suelo y la topografía sobre el contenido de carbono orgánico del suelo 25
5.4. Análisis estadístico 25
6. Resultados 27
6.1. Cuantificación de la distribución espacial del carbono orgánico tomando en cuenta el uso del suelo y la vegetación 27
6.1.1. Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo y factores topográficos 27
6.1.2. Análisis de vegetación 29
6.1.3. Distribución espacial del contenido de COS en el área de estudio 32
6.2. Determinación del efecto de la vegetación, el uso del suelo, las propiedades físicas y químicas del suelo y la topografía sobre el contenido de carbono orgánico del suelo 34
7. Discusión 40
8. Conclusiones 44
9. Recomendaciones 45
10. Referencias 46
11. Anexos 61

Índice de tablas

Tabla 1. Variables cuantitativas y cualitativas de la investigación. 18

Tabla 2. Factores de corrección en base de la temperatura de la suspensión..... 20

Tabla 3. Medidas resumen de las propiedades químicas del suelo por uso del suelo. 28

Tabla 4. Medidas de resumen de la densidad aparente (DA) por uso del suelo..... 28

Tabla 5. Textura del suelo presente en cada uso del suelo..... 29

Tabla 6. Medidas de resumen de los factores topográficos por uso del suelo. 29

Tabla 7. Valores del índice de diversidad alfa (Shannon-Wiener) en bosque primario y secundario..... 30

Tabla 8. Valores de las medidas de resumen del carbono almacenado en árboles por cada uso del suelo..... 30

Tabla 9. Porcentaje de abundancia de árboles en bosque primario y secundario. 31

Tabla 10. MANOVA para comparación de usos del suelo a partir de los factores de influencia 35

Tabla 11. Correlaciones entre las variables en el Análisis de Componentes Principales 37

Tabla 12. Pruebas de esfericidad de Bartlett y Kaiser, Meyer y Olkin (KMO) 38

Tabla 13. Medidas de ajuste del muestreo (MAM) para las variables de acuerdo al KMO, aplicados en el área de estudio. 38

Tabla 14. Factores y similitudes para el modelo de dos factores basado en las variables del área de estudio..... 39

Índice de figuras

Figura 1. El ciclo del carbono y su interacción con los diferentes seres vivos del planeta y las reacciones entre la suma de los ecosistemas. 7

Figura 2. Mapa del contenido de COS a 1m de profundidad [(Mg C ha^{-1}) (1 Mg= 1 t= 10^{-9} Pg)] 9

Figura 3. Componentes principales de la calidad del suelo 11

Figura 4. Mapa del área de estudio en el barrio Huacapamba – Jimbilla. 17

Figura 5. Triángulo de las clases texturales básicas del suelo a partir del análisis mecánico. . 21

Figura 6. Diseño y distribución de las subparcelas dentro del transecto..... 24

Figura 7. Distribución espacial del contenido de COS total en el área de estudio. En la parte derecha se muestra el mapa de usos del suelo (Literal a)..... 33

Figura 8. Comparación de medias (Test Tukey, alfa=0,05) de COS por uso del suelo. 34

Figura 9. Localización en el espacio bidimensional de las variables cuantitativas del área de estudio mediante el análisis de componentes principales: primer plano factorial representando un 84,5% de la varianza (líneas partiendo del origen representan las variables cuantitativas originales medidas en el nuevo espacio coordenado y los puntos representan los usos del suelo). 36

Figura 10. Prueba paralela de las variables para determinar el número de factores a utilizar en el análisis factorial..... 39

Índice de anexos

Anexo 1. Usos del suelo identificados en el área de estudio 61

Anexo 2. Digitalización de los puntos de muestreo en cada uso del suelo 62

Anexo 3. Determinación de los contenidos de carbono en el suelo 64

Anexo 4. Muestreo de vegetación en bosque primario y secundario 66

Anexo 5. Coordenadas de los puntos muestreados 67

Anexo 6. Textura del suelo por cada uso del suelo 68

Anexo 7. Contenido de carbono en el compartimiento suelo 69

Anexo 8. Levantamiento de información florística en el bosque primario y secundario..... 71

Anexo 9. Certificación de traducción del Abstract 78

1. Título

Distribución espacial del carbono orgánico del suelo en el sector Huacapamba, parroquia Jimbilla, cantón Loja

2. Resumen

El área de Huacapamba perteneciente a la parroquia Jimbilla se caracteriza por tener una producción local que se fundamenta en la agricultura, pero mucho más en la ganadería, lo que ha provocado la pérdida de la calidad del suelo y de los ecosistemas naturales. Esto se debe a la falta de información de los productores agropecuarios sobre la importancia del carbono orgánico del suelo (COS). En esta investigación se analizó la distribución espacial y la influencia de factores como la vegetación, el uso del suelo, la topografía y las propiedades físicas y químicas del suelo en el almacenamiento del carbono orgánico del suelo. Se estudió una superficie de 30 hectáreas dentro de una finca en el barrio Huacapamba, en donde se estableció 10 puntos de muestreo en cada uso de suelo identificado y se tomó dos tipos de muestra en los primeros 30 cm de profundidad: una disturbada para determinar la materia orgánica, la textura y la relación C/N; y una no disturbada para determinar la densidad aparente. Para analizar su distribución espacial, se utilizó el método de interpolación IDW en el software ArcGis. Se obtuvieron los siguientes resultados: 1) El contenido total de COS fue de 1 595,50 t ha^{-1}. El bosque secundario aportó el 41,15 %, el bosque primario el 33,15 % y el pastizal el 25,70 %. Por tanto, las áreas comprendidas por bosques presentaron mayor almacenamiento de COS en comparación con los pastizales. 2) Las propiedades químicas (materia orgánica y nitrógeno total) y la vegetación (materia cerca, índice de biodiversidad de Shannon y carbono en árboles) presentaron mayor efecto sobre el contenido de COS. La topografía (pendiente y elevación) y las propiedades físicas (densidad aparente) fueron las variables que presentaron menor correlación.

Palabras clave: Suelo; carbono orgánico; distribución espacial; factores de influencia.

2.1. Abstract

The Huacapamba area belonging to the Jimbilla parish is characterized by local production based on agriculture, but much more on livestock, which has caused the loss of soil quality and natural ecosystems. This is due to the lack of information from agricultural producers about the importance of soil organic carbon (SOC). In this research, the spatial distribution and the influence of factors such as vegetation, land use, topography and the physical and chemical properties of the soil on the storage of soil organic carbon were analyzed. An area of 30 hectares within a farm in the Huacapamba neighborhood was studied, where 10 sampling points were established in each identified land use and two types of samples were taken in the first 30 cm of depth: a disturbed one to determine the organic matter, texture and C/N ratio; and an undisturbed one to determine the bulk density. To analyze their spatial distribution, the IDW interpolation method was used in the ArcGis software. The following results were obtained: 1) The total COS content was 1 595,50 t ha^{-1}. Secondary forest contributed 41,15%, primary forest 33,15% and grassland 25,70%. Therefore, the areas covered by forests presented higher SOC storage compared to grasslands. 2) The chemical properties (organic matter and total nitrogen) and the vegetation (close matter, Shannon biodiversity index and carbon in trees) had a greater effect on the COS content. Topography (slope and elevation) and physical properties (apparent density) were the variables that presented the least correlation.

Keywords: Soil; organic carbon; spatial distribution; influencing factors.

3. Introducción

El aumento potencial de la temperatura superficial del planeta se encuentra asociado al cambio climático y al acelerado incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) especialmente de dióxido de carbono (CO_2), que trae consigo graves consecuencias como: el retiro global de los glaciares de montaña, la reducción de la cubierta de nieve, la fusión del hielo de ríos y lagos en primavera, las transformaciones en los patrones hídricos, la disminución de la biodiversidad; además, la alteración de ecosistemas terrestres y acuáticos, y la pérdida de carbono de la superficie terrestre hacia la atmósfera (Benjamín y Masera, 2001; Olivo-Garrido y Soto-Olivo, 2012). Por ende, el carbono orgánico del suelo (COS) desempeña un papel importante en el ciclo global del carbono, actuando como fuente o sumidero de CO_2 atmosférico, lo que disminuye en gran medida los efectos del cambio climático (Martin et al., 2011).

El COS es la mayor reserva de carbono en la superficie de la Tierra. De hecho, es 3,3 veces mayor que la reserva atmosférica y 4,0 veces mayor que la reserva biótica. Representa alrededor del 75% del conjunto total de carbono orgánico terrestre (Xin et al., 2016; Albaladejo et al., 2013). El COS es un indicador importante que permite comprobar la calidad del suelo y su fertilidad (Yu et al., 2019). Sin embargo, el continuo laboreo del suelo conlleva a la disminución progresiva de sus propiedades físicas y químicas lo que condiciona la capacidad productiva y pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas agrarios (Mloza-Banda et al., 2016; Jagoret et al., 2017). Estos problemas evidencia la importancia de conocer y analizar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo y su distribución espacial (Yu et al., 2020).

La distribución espacial del COS es el resultado de una combinación de varios factores relacionados con el medio ambiente natural y las actividades humanas, mostrando una diversidad a diferentes escalas espaciales (Wang et al., 2012). Los factores ambientales como el clima, la topografía, las propiedades y el uso del suelo; y, la vegetación pueden afectar el contenido de COS (Wang et al., 2015). La vegetación ha sido identificada como uno de los principales factores que afecta el COS (Tesfaye et al., 2016), ya que determina la forma en que los residuos vegetales ingresan al suelo (Gong et al., 2017). Sin embargo, la topografía juega un papel importante en la migración, transformación y acumulación de COS (Lal, 2004b). El uso del suelo es una parte vital que interviene en las existencias de COS en el suelo ya que afecta a la cantidad de insumos y a la cantidad de hojarasca en el suelo (Lehmann et al., 2001).

Así mismo, la textura del suelo, la densidad aparente y el contenido de agua del suelo también pueden ser un factor significativo en las variaciones espaciales del COS (Winowiecki et al., 2015). Estos factores son de gran valor para la variabilidad del COS, ya que conduce a cambios en la cantidad y el tiempo de residencia dentro de una misma área (Butnor et al., 2017).

En la zona de estudio, la falta de información de los productores agropecuarios sobre la importancia del COS, ha provocado la pérdida de la calidad de este recurso a causa del pastoreo excesivo de ganado derivado de la producción de productos lácteos por el que se caracteriza la parroquia Jimbilla, así como también por el suelo de la zona que es complejo y tiene una vegetación y diversos usos que son propensos a la degradación y desertificación (Yu et al., 2019). Esto afecta no solo en la fertilidad del suelo sino en la actividad de los microorganismos, lo que provoca la disminución del contenido de carbono en el suelo (Oggioni et al., 2020).

Con base a la información mencionada se hace necesaria la ejecución de la presente investigación, que pretende conocer la distribución espacial del COS y la influencia de los factores externos en el área de estudio, para así generar nueva información y con ello impedir en gran parte la degradación del suelo, a fin de brindar alternativas favorables y nuevos beneficios con lo que se denomina la "nueva" conservación de suelos, importante para el desarrollo de una agricultura y ganadería de conservación, en donde se toma en cuenta el contenido de carbono existente en el suelo.

Objetivo General

- Analizar la distribución espacial y la influencia de la vegetación, el uso del suelo, la topografía y las propiedades físicas y químicas del suelo en el almacenamiento del carbono orgánico del suelo en el sector Huacapamba, parroquia Jimbilla, cantón Loja.

Objetivos Específicos

- Cuantificar la distribución espacial del carbono orgánico tomando en cuenta el uso del suelo y la vegetación.
- Determinar el efecto de la vegetación, el uso del suelo, las propiedades físicas y químicas del suelo y la topografía sobre el contenido de carbono orgánico del suelo.

4. Marco teórico

4.1. El ciclo global del carbono

En el universo uno de los elementos orgánicos más abundantes es el carbono (C), que forma parte de casi todos los individuos que componen la naturaleza y por ello, constituye el 50% de su peso (Houghton, 2007; Pino, 2015). En la tierra al C se lo puede encontrar en tres depósitos: en los océanos 38 000 Pg, en la atmósfera 750 Pg; y, en el sistema terrestre 550 Pg distribuidos en biomasa – vegetación y 1 550 Pg como COS. Estos depósitos están en equilibrio dinámico e interactuando entre sí. El flujo de carbono entre los depósitos mencionados ocurre a través de procesos químicos, físicos y biológicos, fundamentalmente en el intercambio entre la atmósfera y el suelo a razón de la fotosíntesis, la respiración y las emisiones de gases de origen antrópico (Burbano Orjuela, 2018; Sandoval et al., 2003).

La fijación del dióxido de carbono (CO_2) atmosférico es el paso inicial en el ciclo de carbono. Se lleva a cabo a través de la fotosíntesis que es un proceso que realizan las plantas y algunos microorganismos; en donde, el CO_2 y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno hacia la atmósfera. Una fracción de los carbohidratos es transformada en energía, que paralelamente es suministrado a las plantas y posteriormente liberados en forma de CO_2 a través de las hojas y las raíces. La otra fracción la consumen los animales que por medio de sus procesos metabólicos también liberan CO_2. Del mismo modo, los seres vivos al estar formados por compuestos de carbono, cuando mueren, los microorganismos se encargan de oxidar sus tejidos formando CO_2 que es devuelto a la atmósfera (Figura 1) (Orellana et al., 2012).

Relacionado con lo anterior, el suelo cumple con la función de respiración la misma que consiste en la producción de CO_2 como resultado de la ruptura y oxidación de la materia orgánica del suelo (MOS) realizada por los microorganismos y también por la respiración de las células de las raíces de las plantas. El suelo a través de la respiración, contribuye al balance del CO_2 en la atmósfera (Lessard et al., 2006).

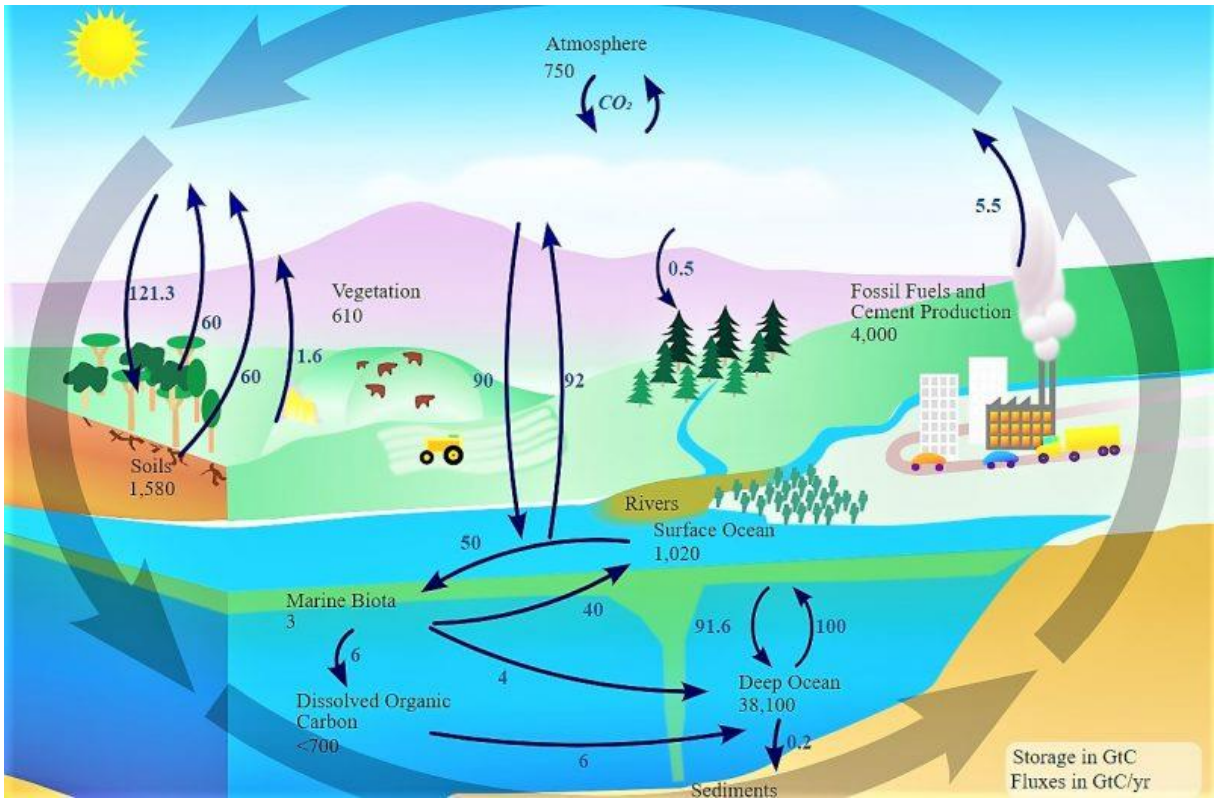

Figura 1. El ciclo del carbono y su interacción con los diferentes seres vivos del planeta y las reacciones entre la suma de los ecosistemas.
Fuente: Castro Del Valle (2020).

El ciclo global del carbono está compuesto por dos ciclos que trabajan de manera conjunta pero a diferentes escalas temporales: un geoquímico que opera como regulador a largo plazo y otro biogeoquímico que opera a corto plazo (Houghton, 2007). Según Verhulst et al. (2015) las actividades antrópicas afectan a estos dos ciclos anualmente con la emisión de 8,6 Pg C; de los cuales, el 3,3 Pg los absorbe la atmósfera y el 2,2 Pg los océanos. Estos valores permiten concluir que en los últimos 150 años hubo un aumento del 31% en las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

La quema de elevadas cantidades de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo, los incendios forestales y la tala de muchos bosques provoca el aumento de CO_2 y otros gases, así como también, hace que una parte del carbono del suelo se devuelve a la atmósfera a través de la mineralización del carbono orgánico y otra parte sea transportada por los ríos hasta llegar al mar, donde se depositan como carbonatos. Bajo tales circunstancias, la intervención humana está modificando las condiciones en que se desplaza el carbono alrededor de la Tierra, además de, intervenir y alterar la forma de almacenarse, provocando así el cambio climático y por consiguiente el calentamiento global del planeta (Burbano Orjuela, 2018). Acontecimientos que

de alguna forma involucran a la comunidad científica y políticos, responsables de tomar acciones que permitan mitigar este impacto, formular políticas para asegurar que el carbono se almacene en suelos y ecosistemas, con el objetivo de reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) y el cambio climático (Schroth et al., 2016).

4.2. El carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo (COS) es uno de los depósitos más grandes en la superficie terrestre y cumple un rol importante en el ciclo global del carbono (Xin et al., 2016). El COS incluye los restos de plantas y animales en diferentes etapas de descomposición, la biomasa microbiana y sus subproductos. Además, es una mezcla heterogénea de materiales orgánicos que contiene hojarasca fresca, carbohidratos y azúcares simples, compuestos orgánicos complejos, algunos materiales inertes y compuestos pirogénicos (Lal, 2016).

La importancia del COS es ampliamente reconocida en la ciencia del suelo, ya que juega un papel en la fertilidad y los ciclos de nutrientes. Forma un reservorio para otros organismos y le da estructura al suelo al permitir la formación de agregados que afectan la porosidad, la aireación del suelo, las propiedades hídricas y la resistencia a la erosión. Por otro lado, el COS es de gran importancia debido a su papel en diversos procesos que ocurren en los ecosistemas y su influencia en la composición de la atmósfera y la tasa de cambio climático (Blanco, 2015).

Dos tercios del COS se acumulan en el suelo que es tres veces mayor que el de las plantas y dos veces mayor que el de la atmósfera (Ali et al., 2017). El alcance del almacenamiento de COS varia en el espacio y el tiempo, determinado por diferentes factores abióticos y bióticos. A nivel global, las mayores reservas de COS se encuentran en áreas importantes como humedales y turberas. Otros son horizontes del suelo enterrados (> 1 m) por procesos volcánicos, eólicos, aluviales, coluviales, glaciales y antropogénicos (Figura 2)(FAO, 2017a). Estos reservorios de COS no son estáticos, sino que circulan entre las diferentes reservas de carbono a nivel mundial en diferentes formas moleculares, mejorando los vínculos propios del suelo e interfiriendo en el comportamiento físico, químico y biológico del mismo (Kane, 2015; Mirchooli et al., 2020).

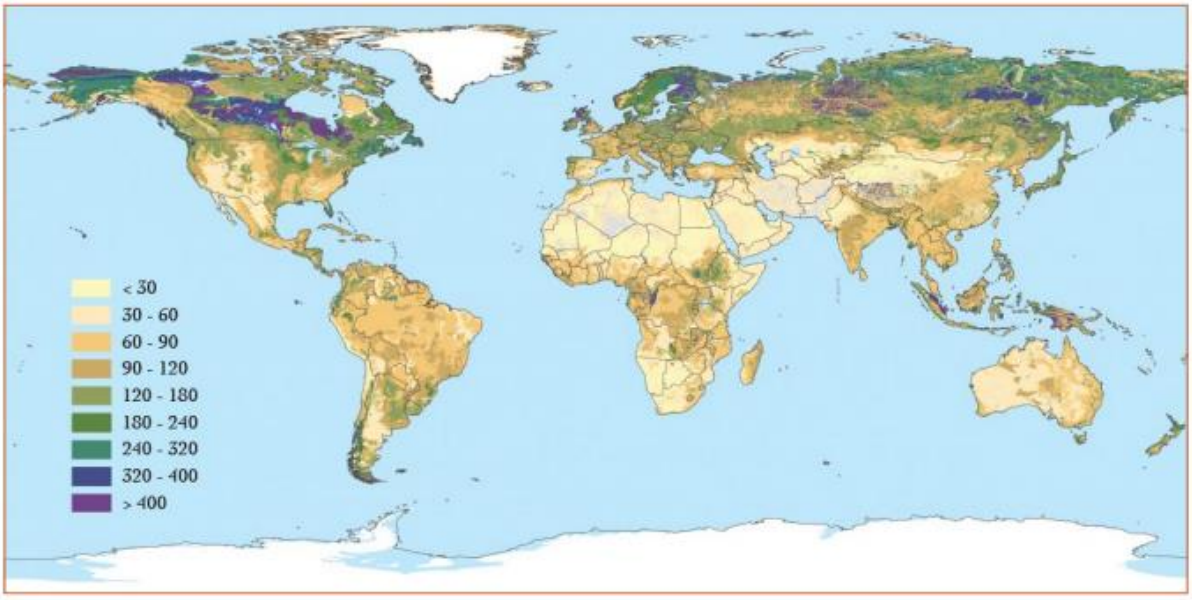

Figura 2. Mapa del contenido de COS a 1m de profundidad [(Mg C ha^{-1}) (1 Mg= 1 t= 10^{-9} Pg)]
Fuente: FAO (2017a).

El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) y por lo tanto es el combustible para cualquier suelo. La MOS aporta a las funciones clave del suelo, ya que es esencial para el equilibrio de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes vegetales, y permite la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo que, es fundamental para garantizar la salud del suelo, la fertilidad y la producción de alimentos. La pérdida de COS indica un cierto grado de degradación del suelo y como tal, permite determinar la calidad del mismo (FAO, 2017a).

El COS es dinámico, pero el impacto del ser humano en el suelo puede convertirlo en un absorbente o fuente de gases de efecto invernadero. Ha habido un enorme progreso científico en la comprensión y explicación de la dinámica del COS. Sin embargo, la protección y el monitoreo de los recursos del COS plantean desafíos complejos, lo que dificulta el diseño e implementación de políticas efectivas a nivel local y su adaptación a regiones específicas (FAO, 2017b).

4.2.1. El COS como estrategia para mitigar el cambio climático

El cambio climático es el resultado del calentamiento global que está relacionado con el incremento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera (Utomo et al., 2016). Diversas organizaciones y comunidades científicas expertas en el tema, por ejemplo, la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) define el fenómeno como un cambio causado por

la actividad humana que ha provocado la alteración de la composición de la atmósfera y la variabilidad del clima (Cordero, 2012).

El cambio climático supone un fuerte impacto para la agricultura y por ende para la seguridad alimentaria. Se cree que tendrá un impacto negativo en la agricultura, la ganadería y la pesca, suponiendo una disminución de la producción, la migración biológica y la pérdida de los servicios ecosistémicos, lo que en última instancia significará una disminución en los ingresos agrícolas y un aumento en los precios de los alimentos. Ante este problema global, el suelo y su componente biorgánico pueden contribuir a la mitigación del cambio climático según como se racionalice el uso del suelo y se resguarde el COS (FAO, 2017a; Burbano Orjuela, 2018).

Por lo tanto, es ineludible implementar una serie de medidas de conservación de COS propuestas para lograr el máximo potencial de mitigación y adaptación al cambio climático, así como la productividad alimentaria. Sin embargo, existen muchas barreras para la adopción de estas prácticas tales como las financieras, técnicas, institucionales, de conocimiento, de recursos, socioculturales, y sus interacciones. Cuando estas barreras se combinan con factores abióticos que impiden la acumulación de COS, pueden limitar la aplicación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Si bien existen soluciones conocidas para superar las barreras humanas, las tasa general de adopción de prácticas de gestión sostenible del suelo sigue siendo relativamente baja (FAO, 2017a).

4.2.2. El COS como indicador de la calidad del suelo

Desde los inicios de la civilización la calidad y funcionalidad del suelo es de interés para la humanidad. A partir de la década de 1970 han surgido tres términos separados pero interrelacionados: calidad del suelo, funcionalidad del suelo y salud del suelo. Se define a la calidad del suelo como la aptitud para el uso y la capacidad de funcionamiento del suelo. Por tanto, el término calidad del suelo se aborda al reconocer las funciones del suelo: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos. Además, están íntimamente ligadas a su calidad (Figura 3) (Brevik y Sauer, 2015; Larson y Pierce, 1991; Karlen et al., 1997; Bautista et al., 2004).

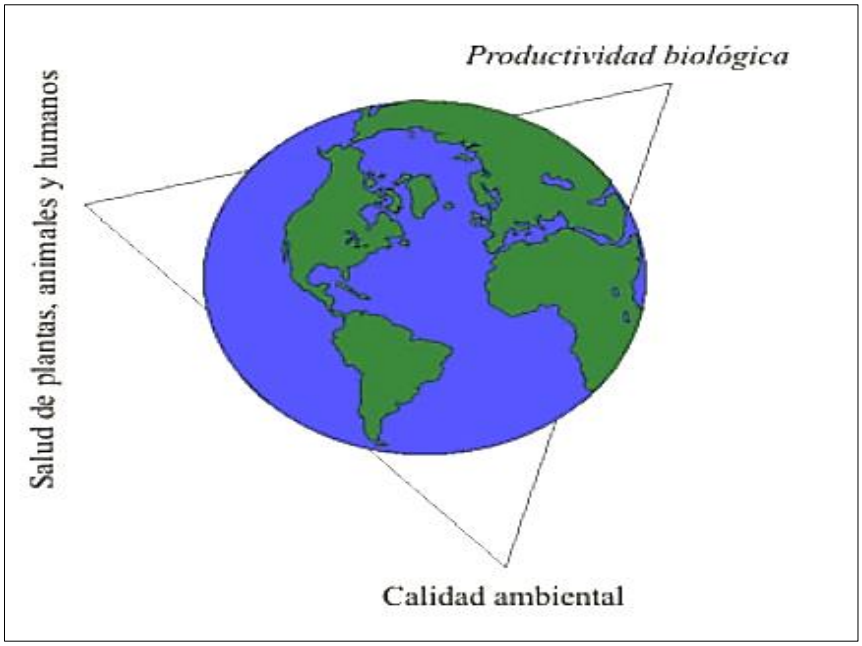

Figura 3. Componentes principales de la calidad del suelo
Fuente: Bautista et al. (2004).

Las funciones del suelo son difíciles de cuantificar se miden mediante la evaluación de indicadores de calidad del suelo, estos deben ser flexibles y de amplia base para que sean adecuados a una extensa gama de funciones del suelo. Las cosas que no pueden medirse deben gestionarse con criterio. Por lo tanto, la pregunta no es qué se puede medir en el suelo, sino qué se debe cuantificar. Lo que hace que la calidad del suelo, no se pueda medir de forma directa o precisa sino que se mide indirectamente mediante la evaluación de algunos indicadores de calidad del suelo (Lal, 2016).

El COS es un indicador adyacente de la calidad del suelo desde el punto de vista físico y biológico, ya que está estrechamente relacionado con la materia orgánica. En el ámbito del servicio ambiental de la fijación de carbono atmosférico un cambio positivo en el COS indica secuestro; por otro lado, una disminución de esta variable provoca una emisión de CO_2 a la atmósfera. Esto refuerza la importancia de la fijación de carbono orgánico en suelos tanto para la mitigación del cambio climático global como para el mejoramiento de suelos como sostén de la producción agropecuaria (Chen et al., 2006; Andrade y Ibrahim, 2003; Polyakov y Lal, 2008; Guntiñas et al., 2009). Todo tipo de vida depende de la calidad del suelo para su persistencia. Por consiguiente, la protección de este recurso natural debe ser una política nacional e internacional (Bautista et al., 2004).

4.2.3. El COS en ecosistemas forestales y de pastizales

Los ecosistemas que cumplen un papel importante en la erradicación de Cambio Climático son los forestales y de pastizales (Galicia et al., 2016). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de suelo, contienen alrededor del 40% del total de carbono a un metro de profundidad. Por lo general, en los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o tala ese equilibrio es afectado (FAO, 2002).

La vegetación forestal absorbe y acumula grandes cantidades de carbono que cualquier otro ecosistema terrestre durante su vida a través del proceso de fotosíntesis. Están involucrados en el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie de la Tierra (Ordóñez et al., 2001). Además, se sabe que la deposición de carbono en los suelos de los bosques secundarios es similar a los suelos de los bosques primarios, dependiendo de la edad de los bosques secundarios (Burga, 2019).

Según Cargua et al. (2017) y la FAO (2015) , cuando los ecosistemas forestales naturales son remplazados por cultivos y pastizales, y por procesos de intensificación que conducen al uso de riego, fertilizantes, pesticidas y labranza, el impacto ambiental causado tienen un porcentaje significativo en las emisiones de GEI. Es por ello, que el cambio de usos de suelo de bosques a pastos y la degradación de los bosques, han llevado a un aumento del 17,4% en las emisiones globales de CO_2 a escala mundial desde 1950.

Sin embargo, las tierras de pastoreo ocupan 3 200 millones de hectáreas y acumulan entre 200 y 420 Pg en el ecosistema total. El COS en tierras de pastoreo es aproximadamente de 70 t/ha, cifra equivalente a lo almacenado en los suelos forestales (FAO, 2002). Los pastizales presentan una gran capacidad para capturar carbono orgánico en los suelos, principalmente por tres factores: la producción bruta de biomasa radicular, la excreta de los animales y el manejo del suelo (Meyer et al., 2018; Lal, 1998; Tilman et al., 2002). Por lo tanto, los pastizales son el uso del suelo más extenso del planeta y el sustento de millones de familias. Es un eslabón más importante en la cadena alimentaria humana (FAO, 2017a; Lorenz y Lal, 2018).

4.2.4. Factores que intervienen en el contenido de COS

El almacenamiento y la conservación de COS enfrentan múltiples desafíos. Algunos de estos desafíos se deben a factores de origen antropogénico, como la tasa baja de adopción de prácticas de gestión sostenible del suelo; además, otros están relacionados con factores abióticos fuera del control humano (Avagyan et al., 2015).

Clima. - Dentro del clima, la temperatura y la precipitación son los factores de mayor importancia para el control de la dinámica del COS. Si bien el incremento de las temperaturas puede aumentar la producción vegetal, elevando las contribuciones de carbono al suelo, también se incrementará la descomposición microbiana del COS. De hecho, el aumento de las temperaturas provocará la pérdida neta de carbono del suelo hacia la atmósfera, lo que conducirá a una retroalimentación positiva del ciclo clima-carbono terrestre que podría acelerar el cambio climático. Además, con el cambio climático, se predicen fenómenos de precipitación extrema y sequía, pueden tener mayores impactos en la dinámica de los ecosistemas que los efectos singulares o pueden encontrase de forma combinada del aumento del CO_2 y la temperatura (Deb et al., 2015; Keesstra et al., 2016; Crowther et al., 2016; IPCC, 2014).

Relieve. - La topografía interviene en la variación general del COS (84%), seguido de la zona de elevación y la posición de la pendiente (70,61 y el 9,74%); y, finalmente, el aspecto y la gradiente de la pendiente (1,84 y 0,01%). La topografía no solo controla la forma del paisaje, sino que también la arquitectura y las propiedades de la zona crítica subterránea del suelo, especialmente a las reservas de carbono orgánico (Román et al., 2016). Por otro lado, la elevación causa un efecto complejo e indirecto, pues los sitios con elevaciones bajas y condiciones húmedas y cálidas permiten aumentar el rendimiento de la biomasa del suelo. La elevación también se encuentra asociado a la geomorfología, ya que podría intervenir en procesos de erosión y deposición geológica, lo que provocaría efectos en los niveles de COS (Yu et al., 2020).

Vegetación. - La vegetación afecta la variación espacial del COS, debido a que el CO modifica los productos fotosintéticos en los distintos tipos de vegetación, y las diferencias en estos patrones afectan a la cantidad de COS que ingresa en forma de hojarasca, demostrando que las tierras cultivables presentan concentraciones más bajas de COS que los suelos naturales a causa de la pérdida de nutrientes del suelo provocada por las perturbación a la vegetación (Yu

et al., 2019). Adicionalmente, el contenido de COS en los bosques naturales es mayor que en los bosques artificiales, lo que provoca no solo grandes diferencias en las cantidades de biomasa, sino que también en la abundancia de las raíces de la especie vegetal. Por tal motivo, las raíces de las plantas juegan un papel fundamental al influir en las reacciones del COS, nutrientes y textura del suelo para distintos tipos de vegetación (Yu et al., 2020).

Uso del suelo. - El tipo de uso de suelo es un elemento vital que controla las existencias de COS en el suelo, también afecta a la cantidad de insumos y a la tasa de la hojarasca en el suelo (Ali et al., 2017). Los cambios en el uso del suelo son significativamente impactantes en el ciclo global del carbono ya que la tasa de emisiones de carbono. La conversión de los bosques en ecosistemas agrarios perturba negativamente a la concentración y las existencias de COS en un 20 – 50%. Por tal razón, se adoptan medidas de protección del suelo para que ascienda el contenido de COS circunstancialmente (Wu et al., 2017; Zhao et al., 2017).

Propiedades del suelo. - Es un factor culminante que determina el contenido de COS. El pH del suelo influye en el COS al regular las actividades microbianas, donde un valor de pH más alto tiene un efecto negativo probablemente a causa de la descomposición acelerada de la materia orgánica del suelo (MOS). Por otro lado, la textura del suelo no solo afecta a la productividad de la vegetación a través de la disponibilidad de agua y la fertilidad del suelo, sino también en los productos de MOS a través de la función de la arcilla en la protección de MOS ante la descomposición (S. Wang et al., 2012).

4.3. Distribución espacial del COS

El COS cumple una función importante en el comportamiento físico, químico y biológico del suelo, por lo que predecir la cantidad de COS y mapear su distribución espacial es importante para el uso sostenible del suelo (Mirchooli et al., 2020), como también, para mejorar la calidad del suelo y la productividad de los ecosistemas (Yao et al., 2019). Se entiende como distribución espacial a la disposición del carbono orgánico sobre la superficie terrestre (Santos et al., 2018). Además, la distribución espacial del COS tiene por esencia precisar los requerimientos mínimos para el desarrollo de políticas de mitigación contra los GEI a través del inventario de estimaciones del COS a escala global (Paz et al., 2016). La distribución espacial del COS se evalúa no solo a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sino también por medio de la geoestadística (Acevedo et al., 2015).

La distribución del COS es muy variable y depende en gran medida del tipo de suelo, el uso del suelo y las condiciones climáticas. En ciertos tipos de suelo, el almacenamiento de COS es altamente efectivo. Sin embargo, cubren proporcionalmente poca extensión de la superficie terrestre y requieren atención especial puesto que son los puntos críticos de COS. Estos puntos críticos son muy sensibles al cambio climático y pueden cambiarse sencillamente en fuentes de emisiones de GEI a causa de su alto contenido de COS. Finalmente, las grandes áreas terrestres con bajas reservas de COS por km^2 representan un potencial para un mayor secuestro de carbono: son los puntos favorables de COS (FAO, 2017a).

El estudio de la distribución espacial del COS en todo el perfil del suelo es importante ya que mejora su estimación y permite comprender su comportamiento (Willaarts et al., 2016). Por tal razón, investigadores como Barrezueta y Luna (2018) determinaron los niveles de C almacenados en distintos suelos de la provincia de El Oro en cultivos de cacao de los tipos CCN51 y Nacional que reportan valores de 33,10 Mg de C ha^{-1} y 45,55 Mg de C ha^{-1} respectivamente. Estudios realizados por Ayala et al. (2014) determinaron el contenido de carbono fijado en el suelo (0.60 m de profundidad) en 537,06 Mg C ha^{-1} en un páramo con vegetación herbácea y 471,60 Mg C ha^{-1} en páramo arbustivo. Por su parte Cargua et al. (2017) han reportado valores de 215,00 Mg C ha^{-1} en una plantación de *Pinus radiata*, en la provincia de Loja. Con estas deducciones en condiciones de clima templado el almacenamiento de C en el suelo es más alto que en los climas subtropical y tropical.

5. Metodología

La presente investigación es no experimental con enfoque cuantitativo que incluyó un estudio correlacional, donde se relacionaron la concentración del COS con el uso del suelo, la vegetación, la topografía y las propiedades físicas y químicas del suelo en una finca del barrio Huacapamba, parroquia Jimbilla. La población de estudio se enmarcó dentro del área seleccionada.

5.1. Área de estudio

El presente estudió se llevó a cabo en una superficie de 30 hectáreas dentro de una finca en el barrio Huacapamba al nororiente de la ciudad de Loja (Figura 4). Se ubica en las coordenadas de latitud Norte 9568345 m S – 9567277 m S y longitud Oeste 701692 m E – 702406 m E. El barrio Huacapamba pertenece a la parroquia Jimbilla, cantón y provincia de Loja y sus límites son los siguientes: al norte y al oeste con la Cordillera occidental de los Andes y al sur y este con la Cordillera oriental de los Andes.

El área de estudio se encuentra a una distancia aproximada de 8 Km desde el barrio Virgenpamba, presenta una altitud que va desde los 2 300 a los 2 700 msnm. Posee un clima mesotérmico templado frío con precipitaciones anuales de 1 300 a 1 500 mm/año y una temperatura que oscila entre 10 y 17 °C. El relieve que predomina es el relieve escarpado y se caracteriza por presentar pendientes fuertes a muy fuertes o abruptas. Dentro del área de estudio se identificaron 3 usos del suelo: bosque primario, bosque secundario y pastizal (Figura 4).

En los bosques primarios o cobertura forestal nativa se encuentran bosques húmedos que han permanecido intactos y nunca han sido explotados o fragmentados; en los bosques secundarios se encuentran especies de diámetro medio – bajo que tienen diferentes grados de intervención y alteración humana; y, finalmente, los pastizales que son utilizados para la cría de ganado vacuno, en donde subsisten los cultivos de pastos solos o con presencia de árboles (Equipo Técnico Consultor – PDOT Jimbilla, 2020).

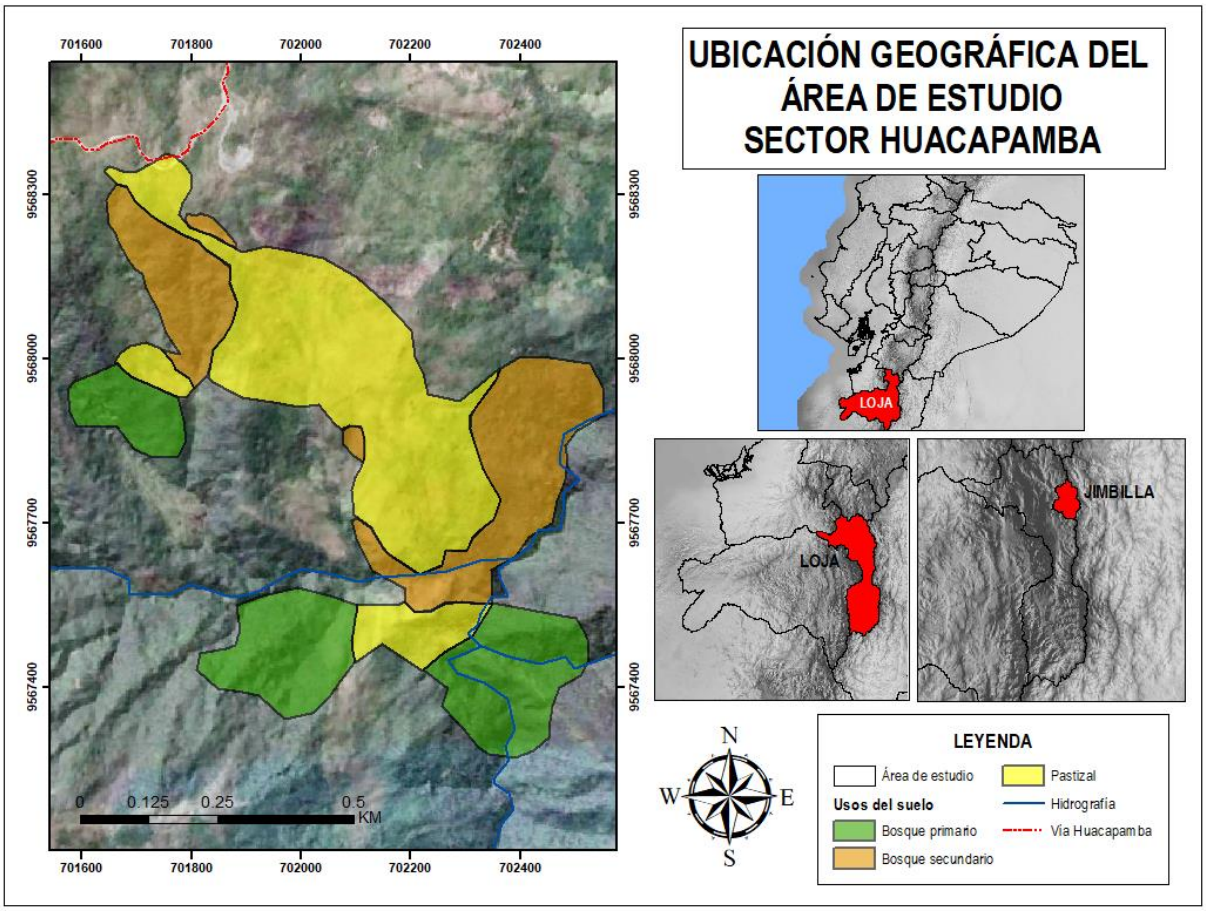

Figura 4. Mapa del área de estudio en el barrio Huacapamba – Jimbilla.
Fuente: Elaboración propia.

5.2. Cuantificación de la distribución espacial del carbono orgánico tomando en cuenta el uso del suelo y la vegetación

Para la cuantificación de la distribución espacial del carbono orgánico del suelo, se evaluó algunas variables tanto cuantitativas como cualitativas que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables cuantitativas y cualitativas de la investigación.

Variables	Unidad
Análisis químicos del suelo	
Materia orgánica	%
Carbono orgánico	%
Nitrógeno total	%
Relación C/N	-
COS	t ha^{-1}
Análisis físicos del suelo	
Textura	-
Densidad aparente	g cm^{-3}
Vegetación	
Índice de diversidad de Shannon	-
Carbono	t C/árbol
Abundancia	%
Factores topográficos	
Pendiente	grados
Elevación	msnm
Usos del suelo	
Bosque primario	-
Bosque secundario	-
Pastizal	-

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Muestreo del suelo

En cada uso del suelo, se determinó la profundidad del horizonte orgánico del suelo a través de calicatas. Posteriormente se estableció 10 puntos de manera aleatoria con la herramienta Create Random Point del software ArcGis 10.2, en donde se muestreo el suelo (Moreno y Quinde, 2017). En cada punto de muestreo y en los primeros 30 cm de profundidad, se tomó una muestra disturbada para determinar la materia orgánica, la textura y la relación C/N; y una muestra no disturbada para determinar densidad aparente. La muestra disturbada consistió en tomar 3 muestras a través de la técnica del Zig – Zag con el barreno, las cuales se homogenizaron para obtener una sola muestra de 500 gramos de suelo. La muestra no disturbada consistió en tomar dos muestras de suelo adyacentes a las muestras anteriores a través de los cilindros Kopecky (Gabriels y Lobo, 2014).

Además, en cada punto de muestreo se registró la elevación y la pendiente. La elevación se registró con un GPS (modelo *Garmin 60CSx*) y la pendiente con un clinómetro (modelo *Abney 5 ¼*). La pendiente se clasificó en: terreno plano (0-3°), terreno ligeramente inclinado (3-8°), terreno inclinado (8-15°), terreno ligeramente empinado (15-25°), terreno empinado (25-35°) y terreno muy empinado (> 35°). La elevación se clasificó en: <2000, 2000–2100, 2100–2200, y >2200 m.s.n.m (Yu et al., 2020). Finalmente, una vez tomadas las muestras de suelo se llevaron al laboratorio de Suelo, Agua y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja (UNL) debidamente etiquetadas (Sosa, 1996).

5.2.2. Análisis de laboratorio

Determinación de las propiedades físicas del suelo

La densidad aparente se determinó por el método del volumen conocido (USDA, 1999) en el laboratorio de Aguas, Suelos y Bromatología de la UNL. Inicialmente, se saturó los cilindros Kopecky por 24 horas, registrando su peso húmedo. Luego se las sometió en el equipo de constantes hidrofísicas a 1/10 atm por 24 horas y se registró su peso nuevamente. Posteriormente, se las sometió a una presión de 1/3 atm por 24 horas y se registró su peso. Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas y se registró el peso seco, también se registró el peso del cilindro Kopecky. Así mismo, a estas muestras se las tamizó por una malla de 2 mm, luego se colocaron 20 g de muestra en anillos plásticos y se las saturó por 24 horas, además estas muestras se sometieron a una presión de 15 atm por 48 horas. Finalmente, las muestras se colocaron en la estufa a 105 °C por 24 h, y se registró su peso. La densidad aparente por el método del cilindro conocido se calculó con la Ecuación 1 (USDA, 1999).

$$\textit{Densidad aparente (g cm}^{-3}\textit{)} = \frac{Peso\ seco\ del\ suelo - Peso\ del\ cilindro}{Volumen\ cilindro} \qquad \text{[Ec. 1]}$$

La textura del suelo se determinó por el método de Bouyoucos o método del hidrómetro descrito por CIAT (1993), que calcula el tiempo de sedimentación de Arena, Limo Arcilla, según la Ley de Stokes. Inicialmente, se pesaron 50 gr de muestra de suelo y se la colocó en un vaso de plástico de 250 ml. Posteriormente, se agregó más o menos 100 ml de agua destilada y 5 ml de hidróxido de sodio 1 N, más 5 ml de oxalato de sodio saturado. Posteriormente, se dejó en reposo durante 30 minutos, luego se agitó la mezcla con una vaqueta. A continuación, se vertió con todo cuidado en el vaso de dispersión y luego se lo colocó en el agitador para

dispersar durante 5 minutos para suelos arenosos y 15 minutos para suelos arcillosos. Luego, se trasvaso la suspensión dispersada a la probeta de vidrio Bouyoucos cuidando de no dejar nada en el vaso. Con el hidrómetro en la probeta de Bouyoucos se completó a 1000 ml con agua destilada. Se sumergió el agitador manual dentro de la probeta y con movimientos de arriba a abajo se agitó hasta que la mezcla de sólidos este uniforme. Se utilizó alcohol isomílico en caso de que se produzca espuma. Se registró la lectura del hidrómetro a los 40 segundos corrigiendo la lectura en base a la temperatura de la suspensión. Finalmente, después de 2 horas se volvió a leer, corrigiendo la lectura en base a la temperatura que se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores de corrección en base de la temperatura de la suspensión.

TEMPERATURA (ºC)	FACTOR DE CORRECCIÓN
14	-2,16
15	-1,80
16	-1,44
17	-0,108
18	-0,72
19	-0,36
20ºC Calibración	0,0
21	2,16
22	1,80
23	1,44
24	0,108
25	0,72
26	0,36

La tabla indica los factores de corrección para las lecturas del hidrómetro, la misma que es deducida de la ecuación de sedimentación de Fisher – Oden.
Fuente: Mckean (1993).

La textura del suelo por el método de Bouyoucos o método del hidrómetro se calculó con las ecuaciones del 2 al 5 (Mckean, 1993).

Para el cálculo del % de arena en suspensión se utilizó la Ecuación 2 y 3.

$$\%\,Arena\ (Ao) = 100 - (\%\,Limo + \%Arcilla) \qquad \text{[Ec. 2]}$$

$$\%\,Arena\ (Ao) = 100 - (1ra\ lectura\ corregida * 2) \qquad \text{[Ec. 3]}$$

Con la Ecuación 4 y la segunda Lectura Corregida se obtuvo el % de Arcilla.

$$\%\ Arcilla\ (Ac) = 2da\ lectura\ corregida * 2 \qquad \text{[Ec. 4]}$$

Para obtener el % de Limo, se aplicó la Ecuación 5.

$$\%\ Limo\ (Lo) = 100 - (\%Arena + \%\ Arcilla) \qquad \text{[Ec. 5]}$$

Posteriormente, una vez obtenidos los respectivos porcentajes de Arena (Ao), Limo (Lo) y Arcilla (Ac), se utilizó el Triángulo Textural para realizar la clasificación del suelo que está dada por el nombre del área en la cual se interceptan las 3 líneas (ver Figura 4) (Mckean, 1993).

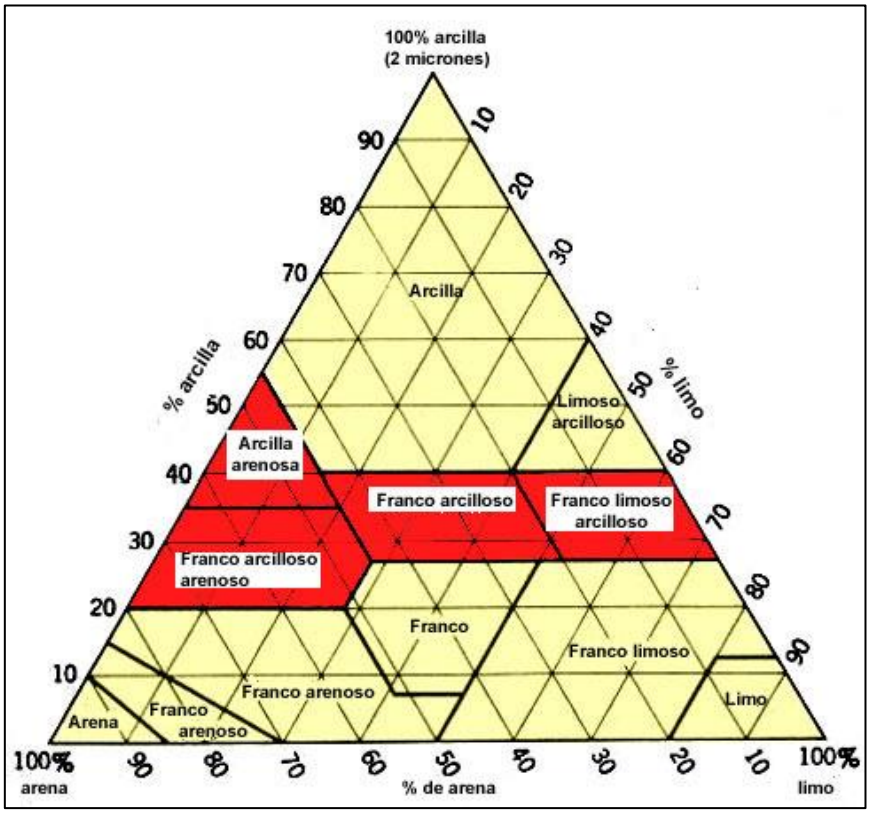

Figura 5. Triángulo de las clases texturales básicas del suelo a partir del análisis mecánico.
Fuente: (USDA, 1999).

Determinación de las propiedades químicas del suelo

Para obtener la concentración de COS fue necesario determinar previamente la materia orgánica a través del método de Walkley y Black (1947) explicado por Andrades, Moliner y Masaguer (2015). Las muestras disturbadas fueron secadas al ambiente y tamizadas en un tamiz de 0,5 mm, luego se pesó 0,1 g o 0,5 g de suelo dependiendo de la coloración de la muestra y se las colocó en matraces Elermeyer de 250 ml. Se agregó 5 ml de $K_2Cr_2O_7$ a una concentración

de 1 N y se añadió 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (97%), se agitó la muestra lentamente durante un minuto a fin de homogenizar y evitar que la muestra de suelo se adhiera a las paredes del matraz se las dejó en reposo durante 30 minutos. Se agregó en el siguiente orden: 100 ml de agua destilada y 5 ml de ácido Ortofosfórico (H_3PO_4) al 85 %. Los matraces se colocaron sobre un agitador y se añadieron 10 gotas de difenilamina (C_{12} $H_{11}N$) a cada muestra. Posteriormente, se tituló el exceso de dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) por medio de la solución de sal de Morh a concentración 0,5 N. Finalmente se registró el volumen de gasto o viraje del color, por observación cuando la muestra cambia de azul a verde intenso y se anotó el volumen consumido.

Se determinó la materia orgánica (MO), el contenido de carbono (C) por medio de la Ecuación 6 y 7 (Andrades et al., 2015).

$$\%C = \frac{(Vo-V)*N*0{,}39}{(PM)} \qquad \text{[Ec. 6]}$$

Donde,

$Vo =$ Volumen gastado en la titulación del blanco
$V =$ Volumen gastado en la titulación de la muestra
$N =$ Normalidad exacta de sulfato de hierro
$0{,}39 =$ Peso químico equivalente del carbono

$$MO\ (\%) = \%C * 1{,}72 * 1{,}1 \qquad \text{[Ec. 7]}$$

Donde,

$\%C =$ Contenido de carbono en porcentaje
$1{,}72 =$ Constante de conversión de C a MO sobre la hipótesis de que la materia orgánica contiene 58 % de C en la generalidad de los suelos encontrados en el Ecuador.
$1{,}1 =$ Error de conversión de C a MO (10 %)

Se obtuvo el contenido total de carbono orgánico en el suelo (COS) por cada hectárea con la Ecuación 8 (Andrades et al., 2015).

$$COS = \%C * da * ps * 100 \qquad \text{[Ec. 8]}$$

Donde,

$COS =$ Carbono orgánico en el suelo, en toneladas por hectárea (t ha^{-1})
$\%C =$ Porcentaje de carbono en el suelo
$da =$ Densidad aparente del suelo
$ps =$ Profundidad del suelo en metros (m)

Se obtuvo el nitrógeno total a partir de la materia orgánica y la relación C/N con las ecuaciones 9 y 10 propuestas por Gamarra, Díaz, Vera, Galeano, & Cabrera (2017).

$$N.T\ (\%) = M.O \times 0{,}05 \qquad \text{[Ec. 9]}$$

Donde,

$M.O$ = Materia orgánica (%)
$0{,}05$ = Se considera que el contenido de nitrógeno es 5 % del contenido de materia orgánica

$$\frac{C}{N} = \frac{C.O}{N.T} \qquad \text{[Ec. 10]}$$

Donde,

$C.O$ =Carbono orgánico (%)
$N.T$ =Nitrógeno total (%)

Por último, para obtener el contenido de carbono total, se suma los valores obtenidos por cada uso del suelo: bosque primario, bosque secundario y pastizal.

5.2.3. Estimación de la vegetación

Para la estimación de la vegetación en bosque primario y secundario, se instalaron 5 transectos de muestreo. Cada transecto midió 10 x 50 m (500 m^2) en donde se muestreo bosque. Dentro de estos transectos se estableció 3 subparcelas de 5 x 5 m (25 m^2) en el centro y en línea recta para muestrear arbustos; así mismo, se instalaron 3 subparcelas de 1 x 1 m (1 m^2) para muestrear hierbas dentro de las parcelas de muestreo de arbustos (Figura 7). En cuanto al inventario se inició con las subparcelas de hierbas, luego se levantó la información de las subparcelas del estrato arbustivo y finalmente el inventario de todos los individuos ≥ a 10 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Aquellas especies que no se lograron identificar en campo fueron llevadas al Herbario Reinaldo Espinoza de la UNL. Previo a esto, las muestras botánicas fueron prensadas y secadas para su posterior identificación de acuerdo a la información que maneja la institución (Aguirre, 2013).

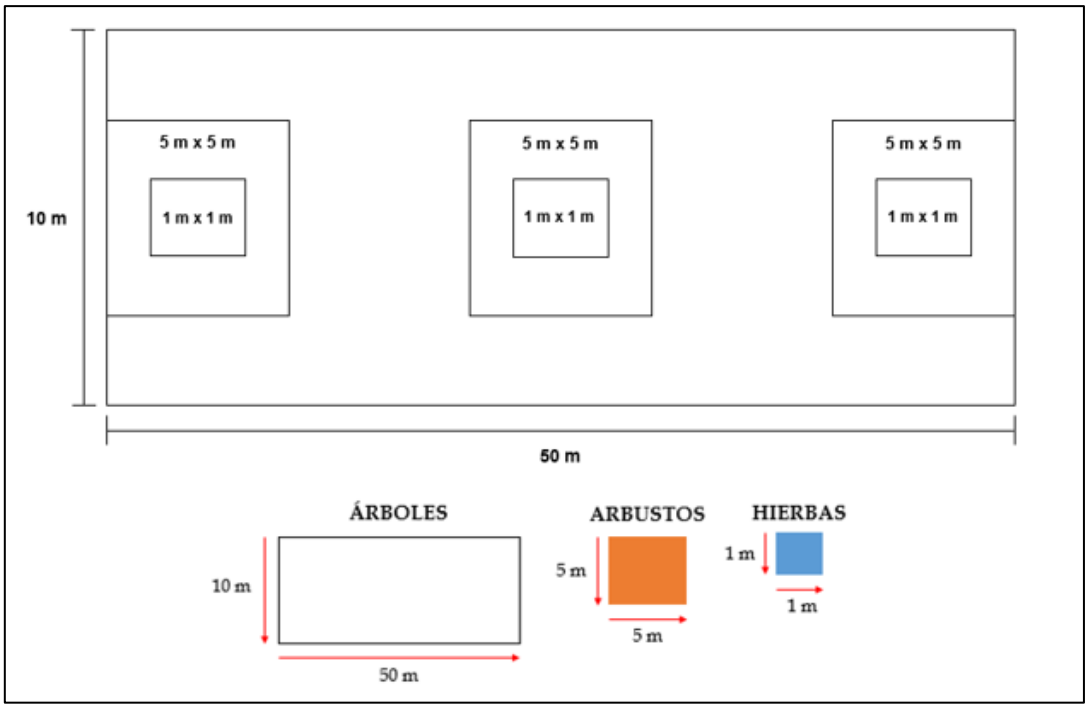

Figura 6. Diseño y distribución de las subparcelas dentro del transecto.
Fuente: (Aguirre, 2013).

Se calculó el Índice de Biodiversidad de Shannon en cada uno de los estratos tanto en bosque primario como secundario. Este índice manifiesta la heterogeneidad de la comunidad en función de dos factores: el número de especies presente y su abundancia relativa (Pla, 2006). Posteriormente, ya identificadas las especies arbóreas se procedió a calcular el carbono de cada uno de ellos (tn C/árbol) utilizando ecuaciones alométricas las cuales estiman precisamente la biomasa y el carbono aéreo (Ibrahim et al., 2007). Finalmente, para la estimación de vegetación en pastizal se utilizó el método botanal, el cual consiste en hacer una descripción de la composición botánica y luego una estimación de la biomasa de acuerdo a las especies componentes, ambos en forma visual, en distintas áreas de muestreo (Scarabotti et al., 2002).

5.2.4. Interpolación de datos del contenido de carbono orgánico del suelo

Una vez procesados los 30 puntos de muestreo, se procedió a construir el mapa del contenido de carbono orgánico utilizando el software ArcGis. Para la interpolación espacial del contenido de COS se utilizó el método de interpolación de la Inversa Distancia Ponderada (por sus siglas en inglés IDW), recomendado cuando se va a utilizar base de datos pequeñas y cuando la distancia de los puntos es extensa (Frolla et al., 2015).

El método de interpolación IDW considera los valores de los pixeles a través del cálculo de los promedios de los valores de los puntos de muestreo recolectados en campo, utilizándolos como base para darle un valor al punto más cercano. Se fundamenta en la definición de continuidad espacial con valores similares para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme aumenta la distancia (Villatoro et al., 2008).

5.3. Determinación del efecto de la vegetación, el uso del suelo, las propiedades físicas y químicas del suelo y la topografía sobre el contenido de carbono orgánico del suelo.

Para determinar el efecto de los factores sobre el contenido de carbono orgánico del suelo se llevaron a cabo análisis estadísticos inferenciales. Esta rama de la estadística permite estimar parámetros poblacionales a partir de la muestra utilizada, así como contrastar hipótesis. Las pruebas estadísticas utilizadas para fundamentar este objetivo dependerán de la naturaleza de los datos y del tipo de variable que se utilice en el estudio (Acosta et al., 2014).

5.4. Análisis estadístico

Para realizar el análisis de datos de las variables de la presente investigación se consideró el uso de los softwares R 3.6 (R Project for Statistical Computing, Viena, Austria) e InfoStat, donde se trabajó con un nivel de confianza del 95%. En el primer objetivo con las propiedades físicas y químicas del suelo; así como también los factores topográficos y la vegetación, se calcularon los estadísticos descriptivos (media, máxima, mínima y desviación estándar) de cada uno de ellos.

En el segundo objetivo se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) y para la identificación de diferencias significativas se aplicó el Test de Tukey. Este análisis permitió determinar el efecto del uso del suelo sobre el contenido de carbono orgánico (COS). Previo a los análisis de varianza se consideraron los supuestos, es decir, la normalidad, la linealidad y la independencia de cada una de las variables (Yu et al., 2019). También se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para identificar diferencias significativas entre las variables en cada uno de los usos del suelo (Triana et al., 2019).

Finalmente, para identificar con más detalle los factores principales que controlaron COS en cada uso del suelo, se realizó un análisis de componentes principales (ACP); sin embargo, para mayor relevancia de los resultados se realizó un análisis factorial con el método de rotación

oblicua varimax (Yu et al., 2020; Shukla et al., 2006). Previo a este análisis, se realizó una prueba de Kaiser, Meyer y Olkin (KMO) para determinar la idoneidad del análisis factorial y que variables son más significativas; adicionalmente, se aplicó una prueba paralela para establecer el número de factores (Kaiser, 1974; Buja y Eyuboglu, 1992).

6. Resultados

6.1. Cuantificación de la distribución espacial del carbono orgánico tomando en cuenta el uso del suelo y la vegetación

6.1.1. Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo y factores topográficos

En la Tabla 3, se presenta el análisis estadístico descriptivo de las propiedades químicas del suelo por cada uso de suelo identificado en el área de estudio. En donde el CO varió entre 0,57 a 5,56%, la MO entre 1,09 a 7,07% y el NT entre 0,05 a 0,53% respectivamente. El CO, la MO y el NT del pastizal presentaron unas medias de 3,73%, 7,07% y 0,35% lo que indica un contenido alto de estos compuestos ya que están relacionados entre sí y a causa de la presencia de residuos orgánicos en el área. Así mismo, la relación Carbono/Nitrógeno presentó valores medios que van desde 10,54 a 11,68 lo que evidencia que la velocidad a la que se descompone la materia orgánica es media. El contenido de COS varió entre 17,01 a 138,47 t ha^{-1}, siendo el bosque secundario el que presentó mayor contenido de COS con una media de 65,66 t ha^{-1}, en comparación con el bosque primario y el pastizal (52,90 t ha^{-1} y 40,93 t ha^{-1}). Esto se debe a que, al formarse nuevamente el bosque secundario, ha ido incorporando hojarasca que al degradarse forma materia orgánica que se mantiene en la capa superficial del suelo.

Tabla 3. Medidas resumen de las propiedades químicas del suelo por uso del suelo.

Uso del suelo	Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Bosque primario	CO (%)	0,57	3,62	1,87	1,07
	MO (%)	1,09	5,68	3,22	1,66
	NT (%)	0,05	0,28	0,16	0,08
	C/N	10,24	20,11	11,68	2,99
	COS (t ha^{-1})	21,92	122,72	52,90	30,71
Bosque secundario	CO (%)	0,66	5,43	2,33	1,46
	MO (%)	1,26	10,31	4,42	2,77
	NT (%)	0,06	0,52	0,22	0,14
	C/N	10,24	11,33	10,61	0,32
	COS (t ha^{-1})	22,11	138,47	65,66	40,14
Pastizal	CO (%)	2,14	5,56	3,73	1,10
	MO (%)	4,05	10,54	7,07	2,08
	NT (%)	0,20	0,53	0,35	0,10
	C/N	10,36	10,70	10,54	0,09
	COS (t ha^{-1})	17,01	73,39	40,93	18,19

CO%: porcentaje de carbono orgánico, MO%: porcentaje de materia orgánica, NT%: porcentaje de nitrógeno total, C/N: relación carbono-nitrógeno, COS: carbono orgánico del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, los suelos muestreados tuvieron una densidad aparente que varió de 0,21 a 1,56 g cm^{-3} (Tabla 4). La Da del bosque secundario presentó un promedio de 1,17 g cm^{-3} superior al valor del bosque primario (1,00 g cm^{-3}) y pastizal (0,75 g cm^{-3}). Estas diferencias se deben a que el bosque secundario tiene acumulado mayor cantidad de carbono orgánico que el bosque primario y el pastizal. En cuanto a la textura del suelo, tanto el bosque primario como el bosque secundario y el pastizal presentaron mayor porcentaje de suelo Franco (Tabla 5), lo que indica que son suelos fértiles con textura relativamente suelta y una adecuada retención de humedad.

Tabla 4. Medidas de resumen de la densidad aparente (DA) por uso del suelo.

Uso del suelo	Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Bosque primario	Da (g cm^{-3})	0,68	1,33	1,00	0,22
Bosque secundario		0,82	1,56	1,17	0,23
Pastizal		0,27	1,08	0,75	0,27

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Textura del suelo presente en cada uso del suelo.

Uso del suelo	Textura	Porcentaje
Bosque primario	Franco	90,00
	Franco – Arenoso	10,00
Bosque secundario	Franco	60,00
	Franco – Arenoso	20,00
	Franco – Limoso	20,00
Pastizal	Franco	60,00
	Franco – Arcilloso	20,00
	Franco - Arenoso	20,00

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Tabla 6 indica el análisis estadístico de los factores topográficos del suelo. El bosque primario y secundario presentaron pendientes promedio de 33° y 28,40° lo que según la clasificación indica un terreno empinado; así mismo, el pastizal presentó una pendiente de 16,50° lo que señala un terreno ligeramente empinado. Esto indica que las pendientes superiores transportan y mueven hacia abajo los residuos orgánicos, lo que da lugar a un mayor contenido de COS en las pendientes inferiores. En cuanto a la elevación los tres usos del suelo presentaron elevaciones altas que van desde 2 328 msnm a 2 664 msnm. Esto significa que a mayor altitud o elevación mayor nivel de almacenamiento de COS.

Tabla 6. Medidas de resumen de los factores topográficos por uso del suelo.

Uso del suelo	Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Bosque primario	Pendiente (grados)	21,00	55,00	33,00	10,60
	Elevación (msnm)	2 340,00	2 494,00	2 405,20	55,44
Bosque secundario	Pendiente (grados)	18,00	40,00	28,40	5,56
	Elevación (msnm)	2 328,00	2 652,00	2 486,10	136,99
Pastizal	Pendiente (grados)	5,00	45,00	16,50	11,63
	Elevación (msnm)	2 481,00	2 664,00	2 549,20	60,80

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Análisis de vegetación

El Índice de Shannon tiene como valores de referencia de 0 – 1,35 para diversidad baja, de 1,36 – 3,50 para diversidad media y > 3,50 para diversidad alta (Aguirre, 2013) . Por tanto, se tiene como resultados que los tres estratos del bosque primario presentaron una diversidad

media al igual que los estratos árboles y arbusto del bosque secundario; sin embargo, el estrato hierbas del bosque secundario presentó una diversidad baja (Tabla 7).

Tabla 7. Valores del índice de diversidad alfa (Shannon-Wiener) en bosque primario y secundario.

Uso del suelo	Estrato	Índice de Shannon (H´)
Bosque primario	Arboles	2,24
	Arbustos	1,45
	Hierbas	1,38
Bosque secundario	Arboles	1,64
	Arbustos	1,61
	Hierbas	1,10

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la Tabla 8 se expone los resultados del carbono almacenado por árbol tanto en el bosque primario como en el secundario. En donde, el bosque primario presentó mayor acumulación de Carbono en los árboles con una media de 2,14 t C/árbol, mientras que el bosque secundario tuvo menor acumulación de Carbono con una media de 0,63 tn C/árbol. Esto se debe a que el bosque primario presentó mayor diversidad de especies arbóreas lo que le permite ser un mayor reservorio de carbono. La materia seca encontrada en el pastizal varió desde 1 264 a 2 100 kg MS/ha con un promedio de 1 634,30 kg MS/ha; lo cual significa que existe baja productividad de materia seca a causa del mal manejo que le dan a la pastura, y al mal drenaje sufrido en la época lluviosa.

Tabla 8. Valores de las medidas de resumen del carbono almacenado en árboles por cada uso del suelo.

Uso del suelo	Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Bosque primario	Carbono t C/árbol	0,07	3,36	2,14	1,00
Bosque secundario		0,18	0,92	0,63	0,25

Fuente: Elaboración Propia.

Por consiguiente, en la Tabla 9 se expone la abundancia de las especies arbóreas encontradas tanto en el bosque primario como en el secundario. En el bosque primario, la planta con mayor porcentaje de abundancia fue *Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana con el 15,48%, seguida de *Clethra fimbriata* Kunth con el 10,71%. Las otras especies presentaron datos de abundancia entre 5,95 a 1,19%. Así mismo, en el bosque secundario la especie vegetal con

mayor porcentaje de abundancia fue Miconia *caelata* (Bonpl.) DC. con el 36,36%, seguido de la *Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana con el 15,15%. Las especies restantes presentaron baja abundancia que va desde los 9,09 a 3,03%, respectivamente.

Tabla 9. Porcentaje de abundancia de árboles en bosque primario y secundario.

Nro.	BOSQUE PRIMARIO		BOSQUE SECUNDARIO	
	Especie	**Abundancia (%)**	**Especie**	**Abundancia (%)**
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	15,48	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	36,36
2	*Clethra fimbriata* Kunth	10,71	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	15,15
3	*Alchornea coelophylla* Pax y K. Hoffm.	5,95	*Clethra fimbriata* Kunth	9,09
4	*Monnina confusa* Ferreyra	4,76	*Clusia alata* Planch. & Triana	9,09
5	*Topobea aeruginosa* (Standl.) LO Williams	4,76	*Hieronyma macrocarpa* Müll.Arg.	9,09
6	*Weinmannia fagaroides* Kunth	4,76	*Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin	6,06
7	*Miconia aurea* (D. Don) Naudin	3,57	*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	6,06
8	*Ficus* sp.	3,57	*Hedyosmum* sp.	3,03
9	*Geissanthus vanderwerffii* Pipoly	3,57	*Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng.	3,03
10	*Persea brevipes* Meisn.	3,57	*Oreopanax rosei* Harms	3,03
11	*Critoniopsis pycnantha* (Benth.) H. Rob	2,38		
12	*Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin	2,38		
13	*Hieronyma macrocarpa* Müll.Arg.	2,38		
14	*Hyeronima* sp.	2,38		
15	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	2,38		
16	*Palicourea amethystina* (Ruiz & Pav.) DC.	2,38		
17	*Saurauia* sp.	2,38		
18	*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	2,38		
19	*Alchornea grandiflora* Müll.Arg.	1,19		
20	*Allophylus mollis* (Kunth) Radlk.	1,19		
21	*Alnus acuminata* Kunth	1,19		
22	*Bathysa* sp.	1,19		
23	*Cinchona barbacoensis* H. Karst	1,19		
24	*Cleome* sp.	1,19		
25	*Clusia alata* Planch. & Triana	1,19		
26	*Guettarda hirsuta* (Ruiz & Pav.) Pers.	1,19		

Nro.	BOSQUE PRIMARIO		BOSQUE SECUNDARIO	
	Especie	Abundancia (%)	Especie	Abundancia (%)
27	*Meriania tomentosa* (Cogn.) Wurdack	1,19		
28	*Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Wilbur	1,19		
29	*Myrsine andina* (Mez) Pipoly	1,19		
30	*Oreopanax rosei* Harms	1,19		
31	*Palicourea calycina* Benth	1,19		
32	*Palicourea cornigera* C.M. Taylor	1,19		
33	*Podocarpus oleifolius* D. Don	1,19		
34	*Tibouchina lepidota* (Bonpl.) Baill.	1,19		
35	*Weinmannia pinnata* L.	1,19		

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3. Distribución espacial del contenido de COS en el área de estudio

El contenido total de COS en las 30 ha de la finca del sector Huacapamba fue de 1 595,50 t ha^{-1}. El bosque secundario tuvo un aporte de 656,56 t ha^{-1} (41,15%) con una media de 65,66 t ha^{-1}, el bosque primario aportó 528,97 t ha^{-1} (33,15%) con una media de 52,90 t ha^{-1} y finalmente el aporte del pastizal fue de 409,27 t ha^{-1} (25,70%) con una media de 40,93 t ha^{-1}. Por tanto, el contenido medio de COS en la pequeña área de estudio siguió una tendencia de bosque secundario > bosque primario > pastizal. Estos valores reflejan bajos contenidos de carbono de acuerdo a la media nacional reportada por el Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica (2021) que está entre 154 t ha^{-1} y 210 t ha^{-1}.

Es así, que el mapa temático de COS presentó el mayor almacenamiento (97 a 138,41 t ha^{-1}) en áreas comprendidas por bosques primarios y secundarios. Por otro lado, las reservas más bajas (17,06 a 57 t ha^{-1}) se localizaron principalmente en pastizal, los cuales están dispersos y derivan de cambios de la cubierta vegetal para el uso pecuario (Figura 8). Estos resultados se deben a que el cambio de bosques a pastizales, disminuye la captura de carbono y en consecuencia de CO_2, uno de los gases causantes del cambio climático.

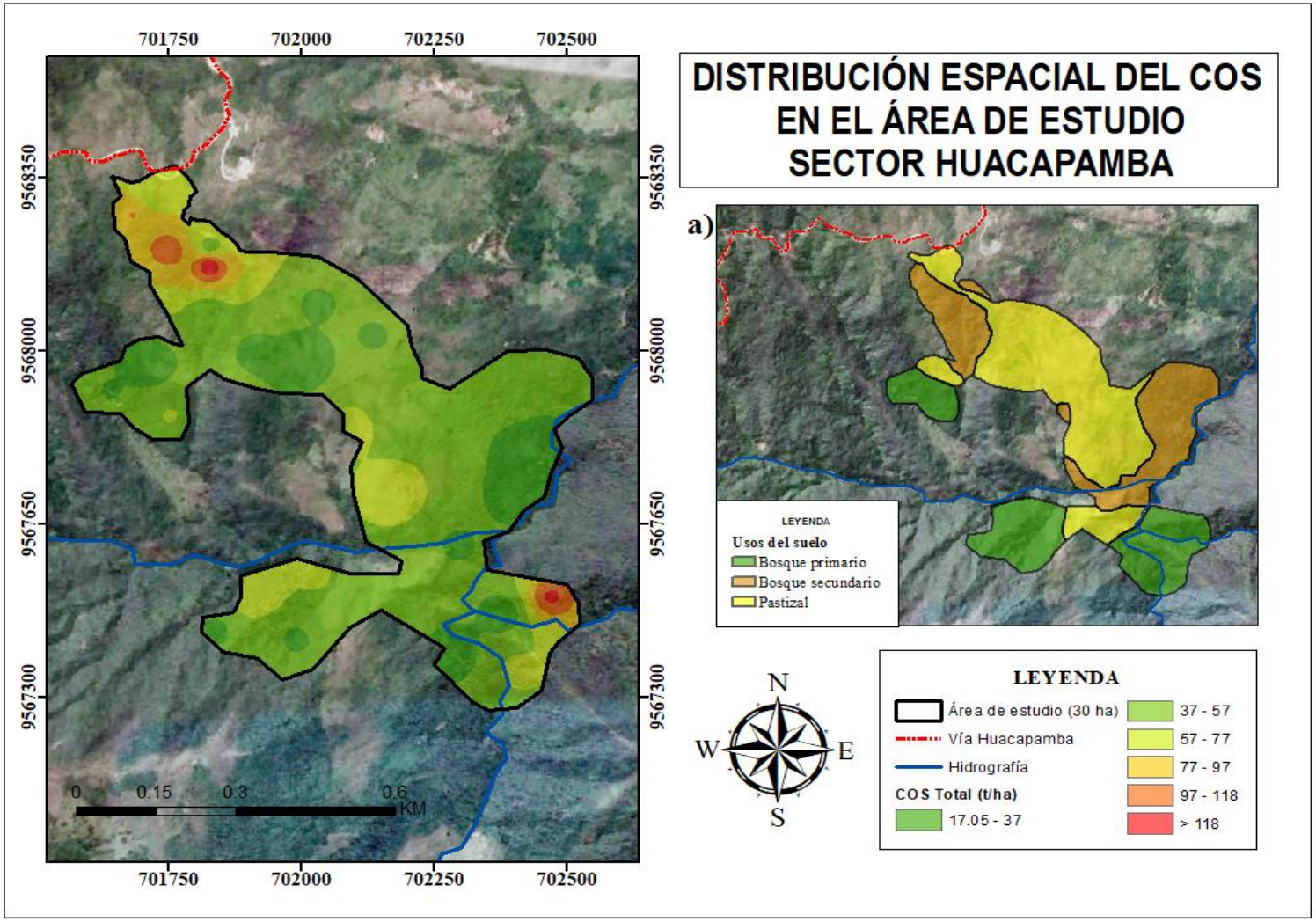

Figura 7. Distribución espacial del contenido de COS total en el área de estudio. En la parte derecha se muestra el mapa de usos del suelo (Literal a).
Fuente: Elaboración propia.

6.2. Determinación del efecto de la vegetación, el uso del suelo, las propiedades físicas y químicas del suelo y la topografía sobre el contenido de carbono orgánico del suelo.

A través del análisis de varianza (ANOVA) se pudo observar la comparación de medias del COS por cada uso del suelo (Figura 9). Se utilizó el Test de Tukey con un alfa de 0,05. Estos resultados muestran que existen diferencias de la presencia de COS en cada uno de los usos del suelo estudiados.

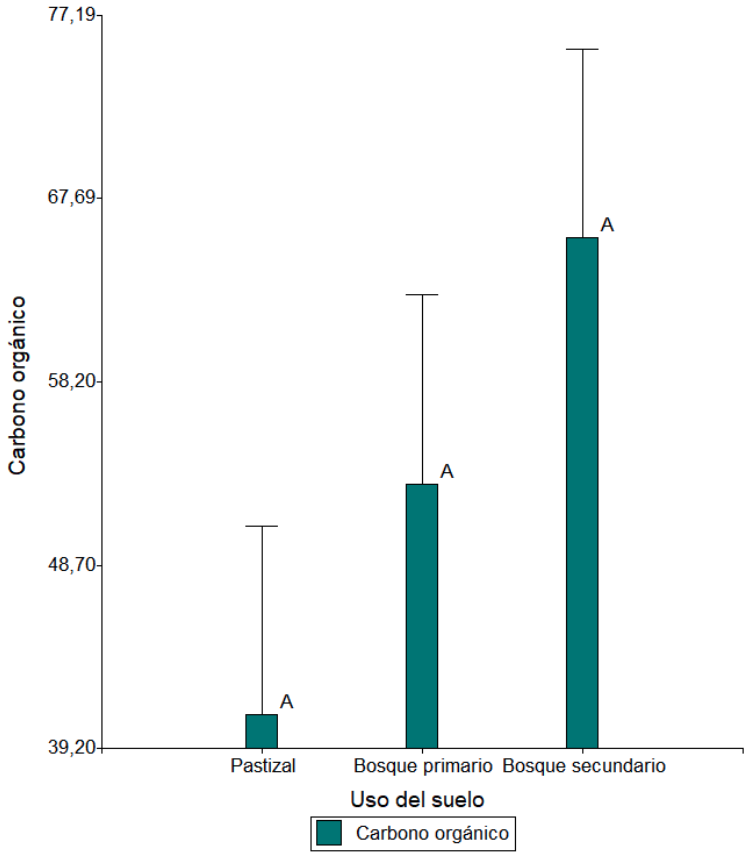

Figura 8. Comparación de medias (Test Tukey, alfa=0,05) de COS por uso del suelo.
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA) indicó que existen diferencias significativas (*P = 0,0001*) entre los diferentes usos del suelo y entre las distintas variables de estudio (Tabla 10). Esto demuestra que las variables tomadas en cuenta para el estudio influyen de distinta manera en el almacenamiento de COS en cada uso de suelo.

Tabla 10. MANOVA para comparación de usos del suelo a partir de los factores de influencia

Uso del suelo	Pendiente	Elevación	DA	MO	NT	C/N	COS	MS	t C/árbol	IB árboles	IB arbustos	IB hierbas	Diferencias		
Bosque primario	0,60	-0,70	0,11	-0,63	-0,63	0,42	-0,01	-0,68	1,13	0,96	0,56	0,89	**A**		
Bosque secundario	0,21	0,06	0,67	-0,18	-0,18	-0,19	0,40	-0,68	-0,27	0,35	0,77	0,44		**B**	
Pastizal	-0,81	0,64	-0,77	0,80	0,80	-0,23	-0,39	1,35	-0,86	-1,31	-1,34	-1,34			**C**

DA: Densidad aparente, MO: Materia orgánica, NT: Nitrógeno total, C/N: Relación carbono/nitrógeno, COS: Carbono orgánico del suelo, MS: Materia seca, IB: Índice de Biodiversidad de Shannon

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP), se encontró que el bosque secundario se relacionó positivamente con el carbono orgánico del suelo, la densidad aparente y el alto Índice de Biodiversidad de Shannon de arbustos, y negativamente con la materia seca del pastizal. Además, la relación C/N y el carbono de los árboles influyeron positivamente en el bosque primario, sin embargo, se relacionaron negativamente con la elevación, el nitrógeno total y la materia orgánica. El ACP explica una variabilidad de 100 %, con una variabilidad explicada de 84,5 % para el componente uno, y de 15,5 % para el componente dos (Figura 10).

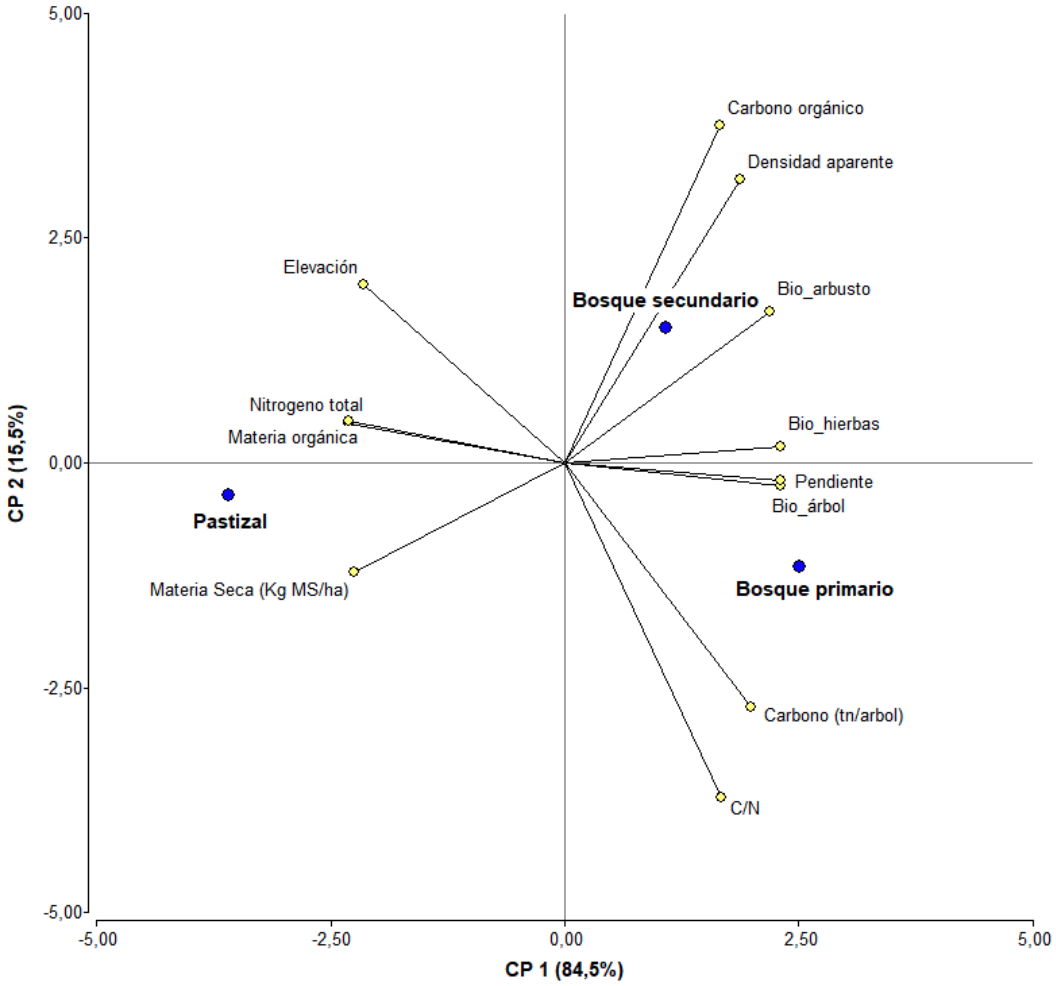

Figura 9. Localización en el espacio bidimensional de las variables cuantitativas del área de estudio mediante el análisis de componentes principales: primer plano factorial representando un 84,5% de la varianza (líneas partiendo del origen representan las variables cuantitativas originales medidas en el nuevo espacio coordenado y los puntos representan los usos del suelo).
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en la Tabla 11 se muestra el grado de correlación ya sea positivo o negativo de las variables de estudio con cada uno de los componentes, haciendo hincapié en el contenido de COS quien mostró correlación positiva en los dos componentes, pero mucho más en el componente uno.

Tabla 11. Correlaciones entre las variables en el Análisis de Componentes Principales

Variables	CP 1	CP 2
Pendiente	1,00	-0,05
Elevación	-0,93	0,37
Densidad aparente	0,81	0,59
Materia orgánica	-1,00	0,08
Nitrógeno total	-1,00	0,09
Relación C/N	0,72	-0,69
Carbono orgánico	**0,72**	**0,70**
Carbono (Tn/árbol)	0,86	-0,50
Materia Seca (Kg MS/ha)	-0,97	-0,23
IB árbol	1,00	-0,04
IB arbusto	0,95	0,31
IB hierba	1,00	0,03

Fuente: Elaboración propia.

Previo a desarrollar el análisis factorial, se realizó la prueba de esfericidad de Bartlett y KMO y la prueba paralela. En la Tabla 12 se muestra el valor de la prueba de esfericidad de Bartlett y KMO. El valor del KMO fue de 0,79 para el área de estudio, lo que quiere decir que los datos y el tamaño de la muestra fueron apropiados para el análisis factorial, y existe una correlación parcial entre los datos estudiados. De la misma manera, en la Tabla 13 se presenta las variables seleccionados para el área de estudio, donde se discriminó la variable relación C/N (0,35) porque no cumplió el supuesto de normalidad y sus valores de KMO estuvieron por debajo del 0,5 (Cerny y Kaiser, 1977) . En cuanto a la prueba de Bartlett ($p<0,001$), señala que todas las correlaciones son estadísticamente diferentes de cero. Por lo tanto, los valores de las pruebas de esfericidad determinaron condiciones mínimas para llevar a cabo el análisis factorial.

Tabla 12. Pruebas de esfericidad de Bartlett y Kaiser, Meyer y Olkin (KMO)

Prueba	Área de estudio
KMO	0,79
Bartlett (p)	<0,001

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Medidas de ajuste del muestreo (MAM) para las variables de acuerdo al KMO, aplicados en el área de estudio.

Variable	MAM
Pendiente	0,82
Elevación	0,91
Densidad aparente	0,55
Materia orgánica	0,76
Nitrógeno total	0,75
C tn/árbol	0,74
Materia seca	0,79
IB árbol	0,91
IB arbusto	0,84
IB hierba	0,93

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la prueba paralela determinó que se debe utilizar dos factores en el área de estudio (Figura 10). En el primer factor se presentaron la mayor parte de variables con valores cercanos a 1. El análisis factorial mostró dos factores con valores propios >1, el cual explicó el 71,1 % de la varianza de las variables en estudio. El factor uno presentó una varianza alta (49,4 %), mientras que el factor dos presentó una varianza baja (21,7 %). La materia orgánica, el nitrógeno total, el carbono de los árboles, la materia seca y el Índice de Biodiversidad de Shannon de árbol, arbustos y hierbas presentaron mayor correlación entre los mismos, lo que determina que estas variables tendrán mayor efecto sobre el contenido de COS. La pendiente, la elevación y la densidad aparente fueron las variables que presentaron menor correlación (Tabla 14).

Respecto al peso final, la materia seca, el Índice de biodiversidad de Shannon de árbol, arbustos y hierbas son las variables que presentaron la ponderación más significativa; mientras que el COS, la materia orgánica, el nitrógeno total y el carbono de los árboles manifestaron una baja contribución a la variabilidad total del modelo factorial, a causa de una menor correlación entre las variables analizadas (Tabla 14).

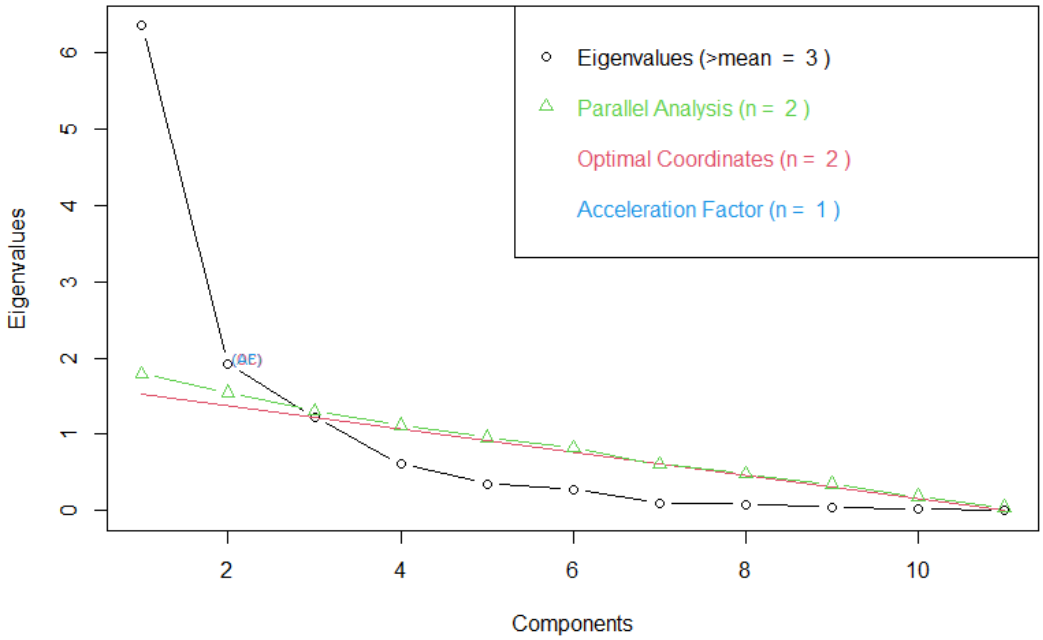

Figura 10. Prueba paralela de las variables para determinar el número de factores a utilizar en el análisis factorial.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Factores y similitudes para el modelo de dos factores basado en las variables del área de estudio

Variables	Factor1	Factor2	Weighted communality	Peso final
COS	0,36	**0,69**	0,11	0,04
Pendiente	0,59	-0,17	0,17	0,06
Elevación	-0,43	0,39	0,10	0,04
Densidad aparente	0,50	-0,31	0,13	0,05
Materia orgánica	-0,48	**0,88**	0,18	0,06
Nitrógeno total	-0,48	**0,88**	0,18	0,06
Carbono tn/árbol	**0,69**		0,23	0,08
Materia seca	**-0,95**	0,17	0,44	0,15
IB árbol	**0,94**	-0,20	0,43	0,15
IB arbusto	**0,94**		0,43	0,15
IB hierba	**0,96**	-0,17	0,45	0,16
SS loadings	5,44	2,39		
Propotion Var	0,49	0,22		
Cumulative Var	0,49	0,71		
Weighted proportion	0,69	0,31		

Fuente: Elaboración propia.

7. Discusión

El suelo tiene una gran capacidad para almacenar carbono, de hecho, contiene más carbono que la cantidad combinada presente tanto en la biomasa vegetal viva, como en el CO_2 atmosférico (Laganière et al., 2010). Sin embargo, está siendo afectado por una variedad de factores complejos, como los factores de formación del suelo, las condiciones ambientales y las perturbaciones humanas (Richards, 2001; Hobley et al., 2015). En el presente estudio, la distribución de los contenidos de carbono en el compartimento suelo fueron superiores en el área de bosques (74,30%), resultados que concuerdan con Winjum et al. (1992) quien resalta que casi el 60% del carbono terrestre del mundo se almacena en la vegetación y el suelo de los bosques. Además Houghton (2007), menciona que, los bosques almacenan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre, y representan una reserva importante para el presupuesto mundial de carbono. Esto puede explicarse debido al aporte tanto de la hojarasca superficial como subterránea en los bosques, convirtiéndose en un factor decisivo para un mayor contenido y acumulación de COS en los suelos forestales (Yu et al., 2020).

El bosque secundario fue el que presentó mayor contenido de COS (41,15%) en comparación con el bosque primario (33,15%). Con respecto a este resultado obtenido, la forestación natural, dada en bosques secundarios, como en el del presente caso de estudio, muchos trabajos de investigación han reportado resultados contradictorios. Algunos estudios muestran un decrecimiento en el almacenamiento de COS (Perrott et al., 1999; Farley et al., 2004), mientras que otros estudios reportan un incremento de COS en bosques secundarios (Lemma et al., 2006; Grünzweig et al., 2007). Sin embargo Cifuentes et al. (2004), mencionan que los bosques secundarios tienen mayor cantidad de carbono almacenado en el suelo que los bosques primarios. Esto puede deberse a la edad del bosque secundario que provoca un aumento ligero del C en el suelo o también al aumento de la precipitación media anual. Por otro lado, Paul et al. (2002) identificaron que el uso anterior de la tierra, seguido del clima y las especies plantadas, como los principales factores determinantes para el almacenamiento de carbono en bosques secundarios.

En el suelo, la presencia de árboles modifica la calidad y cantidad de los aportes de hojarasca y las condiciones microclimáticas como la humedad y la temperatura (Bouwman y Leemans, 1995). El tipo de vegetación ha sido identificada como uno de los principales factores que afectan la cantidad de carbono orgánico en el suelo (Tesfaye et al., 2016). Además, la

vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e integrarlo en su estructura, es decir, fija el carbono a través de la fotosíntesis y lo almacena por largos periodos de tiempo (Benjamín y Masera, 2001). Los bosques primarios y secundarios presentaron una diversidad media en cuanto a vegetación lo que concuerda a lo encontrado por Alegre et al. (2002), quienes mencionan que, mientras más diverso es un sistema tiende a ser un mayor reservorio de carbono. A su vez, Arévalo et al. (2003) menciona que la cantidad de carbono almacenado en los bosques está en función a su heterogeneidad y determinado por las condiciones del suelo y clima, ya que existen plantas con diversos diámetros, crecimientos y especies (Panhwar, 1996). Así mismo, Norverto (2006) y Acosta et al. (2001), afirmaron que los ecosistemas que almacenan más carbono en la biomasa vegetal son los de mayor edad, puesto que suelen preservar individuos mayores y más robustos, asociándolo también a la densidad y la mezcla de especies, como en los bosques primarios y secundarios.

El uso de la tierra es un factor importante que influye significativamente en las estimaciones del COS (Tesfaye et al., 2016). En los trópicos, la deforestación y los cambios en el uso de la tierra están impactando significativamente el ciclo global del carbono al aumentar la tasa de emisiones de carbono (Silver et al., 2000). Esto se puede evidenciar con lo encontrado en el área de pastizales del presente estudio, en el cual el contenido de COS fue bajo (25,70%) lo que concuerda con Chapin et al. (2011) quienes mencionan que, al convertir áreas de bosque a pastizales hay una pérdida de materia orgánica del suelo y como tal un bajo contenido de COS, debido al aumento de la actividad microbiana y la descomposición. Por otro lado, Lal (2005) menciona que una menor cantidad de COS en el suelo se puede atribuir a factores como: disminución de la cantidad de biomasa (superficial y subterránea) devuelta al suelo, los cambios en los regímenes de humedad y temperatura del suelo que acentúan la tasa de descomposición de la materia orgánica, perturbaciones inducidas por la labranza, reducción de la protección física de la materia orgánica del suelo y aumento de la erosión del suelo.

El almacenamiento del COS depende de la interacción entre diversos factores (bióticos, abióticos y antrópicos) (Galicia et al., 2016). Entre los factores bióticos, la disponibilidad de macronutrientes como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) se ha identificado como el principal impulsor del ciclo del C en los suelos (Christopher y Lal, 2007; Kirkby et al., 2014). Mientras que, la captura y retención del carbono en el suelo depende de factores como la densidad aparente, la vegetación, la pendiente, la elevación, entre otros (Pérez et al., 2013). Varios estudios señalan que la densidad aparente es una variable indicadora del nivel compactación

del suelo. La densidad aparente fue mayor en los bosques secundario (1,17 g cm-3) y primario (1,00 g cm-3) en los primeros 30 cm de profundidad. Valores que concuerdan con los encontrados por Cerón y García (2009), quiénes mencionan que el bosque de la Reserva Natural presentó una densidad aparente elevada por lo que se consideran adecuados para el desarrollo vegetal. Los pastizales presentaron una densidad muy baja (0,75 g cm-3) debido a la poca existencia de ganado vacuno, lo que contrasta con Sánchez et al. (1989) quiénes evaluaron diferentes niveles de pisoteo sobre el suelo. Esto se evidenció en las características físicas de este recurso, mostrando que la densidad aparente disminuye a medida en que se reduce el número de animales. Estos resultados contrastan con lo encontrado en Tesfaye et al. (2016) quienes menciona que la densidad aparente estuvo significativamente influenciada por el tipo de uso de la tierra y la profundidad del suelo. Se observaron densidades aparentes más altas en suelos y subsuelos degradados, debido a una mayor compactación del suelo, mayor tasa de erosión, falta de insumos y baja fertilidad del suelo.

La estimación de materia seca es un parámetro que nos permite explicar los cambios en las existencias de COS (Poeplau et al., 2018). En los pastizales la materia seca presentó valores inferiores a los que encontramos en los bosques, lo que concuerda con encontrado en Velasco et al. (2001), quienes indicaron que la materia seca disminuye a causa de la poca tolerancia que presentan algunas especies forrajeras a los climas fríos. Esto nos podría indicar que el crecimiento del pastizal tiene una mayor dependencia de otros factores asociados al suelo y al sitio, como por ejemplo los nutrientes, el clima, la luz, entre otros. Razón por la cual la planta acude a las reservas alimenticias que se acumulan en los rebrotes para incentivar el crecimiento de las plantas nuevas (Grijalva et al., 1995). Además, Hodgson (1990) menciona que la altura del pastizal sumada a su densidad, determina la cantidad de pastos que se produce, mientras que la diversidad de las especies determina la calidad de la materia seca disponible.

La topografía ejerce una importante influencia sobre la migración, transformación y acumulación de COS (Lal, 2004a). Además, influye en la precipitación, la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa (Tsui et al., 2004); aspecto que determina la duración de la exposición a la luz solar y puede influir en la erosión del suelo y la vegetación (Rech et al., 2001; Sidari et al., 2008; Yimer et al., 2006). Uno de los factores importantes relacionados con la topografía es la pendiente del sitio. En esta investigación, los terrenos presentaron pendientes

ligeramente empinadas, y empinadas. El sitio de estudio se caracteriza por presentar pendientes que van desde 5º a 55º con una altitud de 2300 a 2600 msnm; características que, como menciona Sun et al. (2015), podrían favorecer el transporte de COS procedente de la mayor escorrentía y erosión del suelo a lo largo de las pendientes pronunciadas.

Finalmente, la relación entre la altitud y el almacenamiento de COS, está relacionado con factores como la temperatura y precipitación (Ali et al. 2017). Por otro lado, Tesfaye et al. (2016) mencionan que, dependiendo del sitio de estudio, la elevación y almacenamiento de COS, podría estar relacionado con factores antropogénicos. Es así que, a menor altitud, mayor acceso y por lo tanto mayor afectación al suelo debido a actividades antropogénicas. Mientras que, a mayores altitudes, menor acceso, por lo tanto, menor afectación por el ser humano. Esto podría explicar los resultados encontrados en el presente estudio ya que el sitio de estudio estuvo ubicado en altitudes que comprenden los 2300 a los 2700 msnm favoreciendo el almacenamiento de COS

8. Conclusiones

- El contenido de COS en el área de estudio fue de 1 595,50 t ha^{-1}, del cual el bosque secundario aportó el 41,15 %, el bosque primario el 33,15 % y el pastizal el 25,70%. El mapa temático de la distribución espacial demostró que las áreas comprendidas por bosques presentaron mayor almacenamiento de COS donde la diversidad en la vegetación alcanzó un valor medio (1,57), en comparación con los pastizales, el cual presentó un contenido bajo de materia seca (1 634,30 kg MS/ha). Sin embargo, con más tiempo, más recursos y en mejores condiciones sanitarias (COVID-19) sería posible obtener mayor información y dar una mejor explicación al respecto.
- Se determinó que las propiedades químicas (materia orgánica y nitrógeno total) y la vegetación (materia seca, índice de biodiversidad de Shannon y carbono en árboles) presentaron mayor correlación con el contenido de COS. Por lo tanto, la atención no sólo debe centrarse en la cantidad potencial de COS sino también en cómo ésta varía en respuesta a los tipos de vegetación.

9. Recomendaciones

- Tomar en cuenta la presente investigación como línea base para desarrollar nuevas investigaciones en el sector Huacapamba ya sea en temas relacionados al suelo u otros, para así rescatar la calidad del suelo, las fuentes hídricas y demás servicios ecosistémicos existentes en esta área.
- Realizar una actualización de la composición florística del sector Huacapamba parte alta de la parroquia Jimbilla, ya que la vegetación normalmente cambia con el pasar de los años.
- Para estudios similares se recomienda la integración de más factores externos como la temperatura y la precipitación que pueden influir en el almacenamiento del carbono orgánico del suelo (COS) en el sector Huacapamba. De esta manera se contribuye con más información y sirve como soporte para investigaciones futuras.
- Fomentar el monitoreo del carbono de manera sustentable a través de herramientas de política pública para proteger los sumideros de carbono y, por ende, restaurar los suelos degradados.

10. Referencias

Acevedo, D. C., Hernández Acosta, E., Maldonado Torres, R., y Álvarez Sánchez, M. E. (2015). Variabilidad espacial del carbono en un suelo después de 10 años de retiroe incorporación de residuos de cosecha. *Terra Latinoamericana*, *33*(3), 199-208. https://www.redalyc.org/pdf/573/57341186002.pdf

Acosta, M., Quednow, K., Etchevers, J., y Monreal, C. (2001). Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, 1-11. http://www.iufro.org/download/file/6976/153/ws13papeles1_pdf/

Acosta, S., Laines, B., y Piña, G. (2014). *Estadística Inferencial*. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/316022/ma148_manual_2014_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Es la rama de Estadística que se ocupa de los,considerando la información muestral recolectada.

Aguirre, Z. (2013). *Guía de metodos para medir la biodiversidad*. https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf

Albaladejo, J., Ortiz, R., Garcia, N., Ruiz, A., Almagro, M., García, J., y Martinez, M. (2013). Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. *J Soils Sediments*, *13*, 265-277. https://doi.org/10.1007/s11368-012-0617-7

Alegre, J., Arévalo, L., Ricse, R., Barbaran, J., y Palm, C. (2002). *Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana*.

Ali, S., Begum, F., Hayat, R., y Bohannan, B. (2017). Variation in soil organic carbon stock in different land uses and altitudes in Bagrot Valley , Northern Karakoram. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B- Soil & Plant Science*, 1-11. https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1317829

Andrade, H. J., y Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, *10*(39-40), 109-116.

Andrades, M., Moliner, A., y Masaguer, A. (2015). *Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos*. https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/580696.pdf

Arévalo, L., Alegre, J., y Palm, C. A. (2003). *Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA).

Avagyan, A., Karttunen, K., DeVit, C., y Rioux, J. (2015). *Learning tool on Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) in the agriculture, forestry and other land use (AFOLU) sector*. https://www.fao.org/3/a-i4642e.p

Ayala, L., Villa, M., Aguirre, Z., y Aguirre, N. (2014). Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Cedamaz*, *4*(1), 45-52. https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/237

Barrezueta, S., y Luna, E. (2018). Almacenamiento del carbono en varios suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro-Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, *6*(1), 154-161. https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/177

Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, *13*(2), 90-97. https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572

Benjamín, J., y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, *7*(1), 3-12. https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf

Blanco, A. (2015). *Estudio de la distribución espacial y cartografía digital de algunas propiedades físicas, químicas e hidrodinámicas de suelos de la cuenca del Segura.* [Universidad de Murcia]. https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/46968

Bouwman, A. F., y Leemans, R. (1995). Carbon forms and functions in forest soils. En W. W. McFee & J. M. Kelly (Eds.), *The role of forest soils in the global carbon cycle* (pp. 503-525). Soil Science Society of America Inc.

Brevik, E., y Sauer, T. (2015). The past , present , and future of soils and human health studies. *Soil Journal*, *1*, 35-46. https://doi.org/10.5194/soil-1-35-2015

Buja, A., y Eyuboglu, N. (1992). Remarks on parallel analysis. *Multivariate Behavioral Research*, *27*(4), 509-540. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1207/s15327906mbr2704_2

Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *34*(1), 82-96. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85

Burga, E. A. (2019). *Determinación del carbono en el suelo del bosque del caserío la Palma, Chadín, Chota*. 106. http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3543

Butnor, J. R., Samuelson, L. J., Johnsen, K. H., Anderson, P. H., González Benecke, C. A., Boot, C. M., Cotrufo, M. F., Heckman, K. A., Jackson, J. A., Stokes, T. A., y Zarnoch, S. J. (2017). Vertical distribution and persistence of soil organic carbon in fire-adapted longleaf pine forests. *Forest Ecology and Management*, *390*, 15-26. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.014

Cargua, F., Rodríguez, M., Damián, D., Recalde, C., y Santillán, G. (2017). Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador. *Acta Agronomica*, *66*(3), 408-413. https://doi.org/https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52467

Castro Del Valle, L. I. (2020). *Ciclo del carbono*. Euston96. https://www.euston96.com/ciclo-del-carbono

Cerny, B. A., y Kaiser, H. F. (1977). A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices. *Multivariate Behavioral Research*, *12*(1), 43-47. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1201_3

Cerón, P., y García, H. (2009). Propiedades del suelo en bosque y pajonal; Reserva Natural Pueblo Viejo, Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *12*(1), 113-120. http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v12n1/v12n1a12.pdf

Chapin, S., Matson, P., y Vitousek, P. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9

Chen, Y., Wu, C., Shui, J., y Wang, J. (2006). Emission and fixation of CO2 from soil system as influenced by long-term application of organic manure in paddy soils. *Agricultural Sciences in China*, *5*(6), 456-461. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1671-2927(06)60076-X

Christopher, S., y Lal, R. (2007). Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *26*, 45-64. https://doi.org/10.1080/07352680601174830

Cifuentes, M., Watson, V., y Kauffman, J. (2004). *Determinación de carbono total en suelos de diferentes tipos de uso de tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica*. http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/cifuentes_et_al._2009-determinaci_n_de_carb_n_total_en_suelos_de_diferentes_tipos_de_uso_de_tierra_a_lo_largo_de_una_gradiente_clim_tica_en_costa_rica.pdf

Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, *37*(2), 227-240. https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf

Crowther, T. W., Todd-Brown, K. E. O., Rowe, C. W., Wieder, W. R., Carey, J. C., MacHmuller, M. B., Snoek, B. L., Fang, S., Zhou, G., Allison, S. D., Blair, J. M., Bridgham, S. D., Burton, A. J., Carrillo, Y., Reich, P. B., Clark, J. S., Classen, A. T., Dijkstra, F. A., Elberling, B., … Bradford, M. A. (2016). Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*, *540*, 104-108. https://doi.org/10.1038/nature20150

Deb, S., Bhadoria, P., Mandal, B., Rakshit, A., y Singh, H. (2015). Soil organic carbon: Towards better soil health, productivity and climate change mitigation. *Climate Change and Environmental Sustainability*, *3*(1), 26-34. https://doi.org/10.5958/2320-642x.2015.00003.4

Equipo Técnico Consultor – PDOT Jimbilla. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Jimbilla*. http://www.jimbilla.gob.ec/index.php/component/phocadownload/category/1-jimbilla?download=6:Jimbilla datos

FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. https://www.fao.org/3/bl001s/bl001s.pdf

FAO. (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales: Compendio de datos*. https://www.fao.org/3/i4808s/i4808s.pdf

FAO. (2017a). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. https://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf

FAO. (2017b). Liberación del potencial del carbono orgánico del suelo. En *Simposio Internacional sobre el Carbono Orgánico del Suelo*. https://www.fao.org/3/I7268ES/i7268es.pdf

Farley, K. A., Kelly, E. F., y Hofstede, R. (2004). Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems*, *7*, 729-739. https://doi.org/10.1007/s10021-004-0047-5

Frolla, F. D., Zilio, J. P., y Kruger, H. (2015). Variabilidad espacial de la profundidad del suelo. Métodos de interpolación para el sudoeste bonaerense. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, *41*(3), 309-319. https://www.redalyc.org/pdf/864/86443147014.pdf

Gabriels, D., y Lobo, D. (2014). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, *14*, 37-48. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/982/911

Galicia, L., Gamboa, A. M., Cram, S., Chávez, B., Peña, V., Saynes, V., y Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, *34*(1), 1-29. https://www.redalyc.org/pdf/573/57344471001.pdf

Gamarra, C., Díaz, M., Vera, M., Galeano, M., y Cabrera, A. (2017). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *9*(46), 4-26. https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134

Grijalva, J., Espinosa, F., y Hidalgo, M. (1995). *Produccion y utilizacion de pastizales en la región interandina del Ecuador* (Vol. 30).

https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/824/1/iniapscm30p.pdf

Grünzweig, J. M., Gelfand, I., Fried, Y., y Yakir, D. (2007). Biogeochemical mechanisms contributing to enhanced carbon sequestration following afforestation in a semi-arid region. *Biogeosciences*, *4*, 891-904. https://doi.org/10.5194/bg-4-891-2007

Guntiñas, M. E., Gil, F., Leirós, M. C., y Trasar, C. (2009). CO2 emission from soils under different uses and flooding conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, *41*(12), 2598-2601. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.09.019

Hobley, E., Wilson, B., Wilkie, A., Gray, J., y Koen, T. (2015). Drivers of soil organic carbon storage and vertical distribution in Eastern Australia. *Plant and Soil*, *390*, 111-127. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2380-1

Hodgson, J. (1990). *Grazing Management: Science into Practice* (Longman Sc). https://doi.org/10.1016/0308-521X(91)90006-V

Houghton, R. (2007). Balancing the global carbon budget. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, *35*, 313-347. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140057

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F., y Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería de las Américas*, *45*, 27-36. https://www.researchgate.net/publication/259175646_Almacenamiento_de_carbono_en_el_suelo_y_la_biomasa_arborea_en_sistemas_de_usos_de_la_tierra_en_paisajes_ganaderos_de_Colombia_Costa_Rica_y_Nicaragua

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.003

Jagoret, P., Michel, I., Ngnogué, H. T., Lachenaud, P., Snoeck, D., y Malézieux, E. (2017). Structural characteristics determine productivity in complex cocoa agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*, *37*(60), 1-12. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0468-0

Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, *39*(1), 31-36. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02291575

Kane, D. (2015). *Carbon sequestration potential on agricultural lands : a review of current science and available practices*. https://sustainableagriculture.net/wp-content/uploads/2015/12/Soil_C_review_Kane_Dec_4-final-v4.pdf

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., y Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, *61*, 4-10. https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x

Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., Van Der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., y Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations sustainable development goals. *Soil*, *2*, 111-128. https://doi.org/https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016

Kirkby, C. A., Richardson, A. E., Wade, L. J., Passioura, J. B., Batten, G. D., Blanchard, C., y Kirkegaard, J. A. (2014). Nutrient availability limits carbon sequestration in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *68*, 402-409. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.032

Laganière, J., Angers, D. A., y Paré, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Global Change Biology*, *16*(1), 439-453. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x

Lal, R. (1998). *Agronomic impact of soil degration* (W. Blum, C. Valetine, & B. Stewart (eds.); CRC).

Lal, R. (2004a). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, *304*(5677), 1623-1627. https://doi.org/10.1126/science.109739Lal, R. (2004b). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, *123*, 1-22. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032

Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, *220*, 242-258. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015

Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, *5*(4), 212-222. https://doi.org/10.1002/fes3.96

Larson, W., y Pierce, F. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, *2*, 175-203. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301762465

Lehmann, J., Da Silva Cravo, M., y Zech, W. (2001). Organic matter stabilization in a Xanthic Ferralsol of the central Amazon as affected by single trees: Chemical characterization of density, aggregate, and particle size fractions. *Geoderma*, *99*, 147-168. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00070-7

Lemma, B., Kleja, D. B., Nilsson, I., y Olsson, M. (2006). Soil carbon sequestration under different exotic tree species in the southwestern highlands of Ethiopia. *Geoderma*, *136*, 886-898. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.06.008

Lessard, R., Gignac, D., y Rochette, P. (2006). *El ciclo del carbono: Midiendo el flujo del CO2 del suelo*. https://greenteacher.com/article files/elciclodelcarbono.pdf

Lorenz, K., y Lal, R. (2018). *Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems* (Primera ed). Springer.

Martin, M. P., Wattenbach, M., Smith, P., Meersmans, J., Jolivet, C., Boulonne, L., Arrouays, D., Unit, I., y Building, C. (2011). Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences*, *8*, 1053-1065. https://doi.org/10.5194/bg-8-1053-2011

Mckean, S. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica de metodologías* (N.º 129). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_análisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_guía_teórica_y_práctica_de_metodologia.pdf

Meyer, R., Cullen, B., Whetton, P. H., Robertson, F., y Eckard, R. (2018). Potential impacts of climate change on soil organic carbon and productivity in pastures of south eastern Australia. *Agricultural Systems*, *167*, 34-46. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.08.010

Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2021). *Norma técnica organizacional del programa Ecuador Carbono Cero*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/07/Norma-Tecnica-Organizacional-del-PECC.pdf

Mirchooli, F., Kiani-harchegani, M., Khaledi, A., Falahatkar, S., y Hamidreza, S. (2020). Spatial distribution dependency of soil organic carbon content to important environmental variables. *Ecological Indicators*, *116*, 106473. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106473

Mloza-Banda, H. R., Makwiza, C. N., y Mloza-Banda, M. L. (2016). Soil properties after conversion to conservation agriculture from ridge tillage in Southern Malawi. *Journal of Arid Environments*, *127*, 7-16. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.11.001

Moreno, G., y Quinde, J. D. (2017). *Estimación de los contenidos de carbono del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus-Ecuador* [Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19051/1/Gabriela_Ivanova_Moreno_Romero.pdf

Norverto, C. (2006). *Metodologías para el Análisis Costo-Beneficio de usosdel Suelo y Fijación de Carbono en Sistemas Forestalespara el Mecanismo de Desarrollo Limpio*. https://www.researchgate.net/publication/242696093_Metodologias_para_el_Analisis_Costo-Beneficio_de_usos_del_Suelo_y_Fijacion_de_Carbono_en_Sistemas_Forestales_para_el_Mecanismo_de_Desarrollo_Limpio

Oggioni, S., Ochoa, R., y Peco, B. (2020). Livestock grazing abandonment reduces soil microbial activity and carbon storage in a Mediterranean Dehesa. *Applied Soil Ecology*, *153*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103588

Olivo-Garrido, M. L., y Soto-Olivo, A. G. (2012). Impactos potenciales de los cambios climáticos. *Universidad, ciencia y tecnología*, *16*(62), 12-22. http://ve.scielo.org/pdf/uct/v16n62/art02.pdf

Ordóñez, J., De Jong, B., y Masera, O. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques*, *7*(2), 27-47. https://www.redalyc.org/pdf/617/61770204.pdf

Orellana, G., Sandoval, M., Linares, G., García, N., y Tamariz, J. (2012). Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, *3*(1), 123-135. https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Orellana-et-al-2012.pdf

Panhwar, F. (1996). *Conserving, Agro Forestry is the solution Of-Future Global –Warming and Biodiversity Sindh A Case*.

Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., y Khanna, P. K. (2002). Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, *168*, 241-257. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00740-X

Paz, F., Argumedo, J., Cruz, C., Etchevers, J., y Jong, B. (2016). Distribución espacial y temporal del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres de México Spatial and temporal distribution of soil organic carbon in the terrestrial ecosystems of Mexico. *Terra Latinoamericana*, *34*(3), 289-310. https://doi.org/289-310

Pérez, S., Ramírez, I. M., Jaramillo, P. F., y Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente raleo*, *19*(1), 158-173. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.042

Perrott, K. W., Ghani, A., O'Connor, M. B., Waller, J. E., y Hawke, M. F. (1999). Tree stocking effects on soil chemical and microbial properties at the tikitere agroforestry research area. *New Zealand Journal of Forestry Science*, *29*(1), 116-130. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.703.5695&rep=rep1&type=pdf

Pino, F. (2015). *Características del carbono*. https://www.caracteristicas.co/carbono/

Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, *31*(8), 583-590. http://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf

Poeplau, C., Zopf, D., Greiner, B., Geerts, R., Korvaar, H., Thumm, U., Don, A., Heidkamp, A., y Flessa, H. (2018). Why does mineral fertilization increase soil carbon stocks in temperate grasslands? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *265*, 144-155. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.003

Polyakov, V. O., y Lal, R. (2008). Soil organic matter and CO2 emission as affected by water erosion on field runoff plots. *Geoderma*, *143*, 216-222. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.11.005

Rech, J. A., Reeves, R. W., y Hendricks, D. M. (2001). The influence of slope aspect on soil weathering processes in the Springerville volcanic field, Arizona. *Catena*, *43*(1), 49-62. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00118-1

Richards, G. P. (2001). *The FullCAM carbon accounting model : development , calibration and implementation*. https://task38.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/5/2017/04/cansession1.pdf

Román, A., Vanwalleghem, T., Peña, A., Laguna, A., y Giráldez, J. V. (2016). Controls on soil carbon storage from topography and vegetation in a rocky, semi-arid landscapes. *Geoderma*, *311*, 159-166. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.013

Sánchez, P., Castilla, C., y Alegre, J. (1989). Grazing pressure effects on the pasture Degradation Process. *CIAT*, 182-187.

Sandoval, M., Stolpe, N., Zagal, E., Mardones, M., y Junod, J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoria*, *12*, 65-71. https://www.redalyc.org/pdf/299/29901206.pdf

Santos, P. E., Roa, H. A., Darghan, A. E., y Monroy, J. C. (2018). Modelado espacial del carbono orgánico del suelo y su relación con otras propiedades químicas en el cultivo de arroz del distrito de riego del Norte de Santander Colombiano. *Gestión y Ambiente*, *21*(2), 252-262. https://doi.org/https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.73004 Modelado

Scarabotti, D., Feldman, S., y Refi, R. (2002). Evaluación de distintos métodos para estimar la biomasa aérea en macollas de spartina argentinensis parodi. *Pastos*, *32*(1), 69-79. http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1306/131

Schroth, G., Jeusset, A., Gomes, A., Florence, C., Läderach, P., Pinto, N., y Faria, D. (2016). Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, *21*, 67-80. https://doi.org/10.1007/s11027-014-9570-7

Shukla, M. K., Lal, R., y Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & Tillage Research*, *87*(2), 194-204. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.03.011

Sidari, M., Ronzello, G., Vecchio, G., y Muscolo, A. (2008). Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a Pinus laricio forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). *European Journal of Soil Bioology*, *44*, 364-372. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.05.001

Silver, W. L., Ostertag, R., y Lugo, A. E. (2000). The potential for carbon sequestration through reforestationof abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology*, *8*(4), 394-407. https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2000.80054.x

Sosa, D. (1996). *Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-tcnicas_de_toma_y_remisin_de_muestras_de_suelos.pdf

Sun, W., Zhu, H., y Guo, S. (2015). Soil organic carbon as a function of land use and topography on the Loess Plateau of China. *Ecological Engineering*, *83*, 249-257. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.06.030

Tesfaye, M. A., Bravo, F., Ruiz-Peinado, R., Pando, V., y Bravo-Oviedo, A. (2016). Impact of changes in land use, species and elevation on soil organic carbon and total nitrogen in Ethiopian Central Highlands. *Geoderma*, *261*, 70-79. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.022

Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R., y Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, *418*, 671-677. https://doi.org/10.1038 / nature01014

Triana, A., Sánchez, J., Avella, Á., González, Á., y Torres, F. (2019). Análisis funcional del secuestro de carbono en un bosque seco tropical interandino. *Caldasia*, *41*(1), 179-193. https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71304

Tsui, C. C., Chen, Z. S., y Hsieh, C. F. (2004). Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. *Geoderma*, *123*, 131-142. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.031

USDA. (1999). *Soil Quality Test Kit Guide*. https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/WI/Soil_Quality_Test_Kit_Guide.pdf

Utomo, B., Prawoto, A. A., Bonnet, S., Bangviwat, A., y Gheewala, S. (2016). Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, *134*, 583-591. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.102

Velasco, E., Hernández, A., Gonzalez, V., Peréz, J., Vaquera, H., y Galvis, A. (2001). Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (Dactylis glomerata L .). *Técnica Pecuaria en México*, *39*(1), 1-14. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61339101

Verhulst, N., Francois, I., y Govaerts, B. (2015). *Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: entre el mito y la realidad del agricultor*. https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4409/56986.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Villatoro, M., Henríquez, C., y Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores IDW Y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, *32*(1), 95-105. https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/13843/6773-9341-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Wang, D., Yu, L., Wu, G.-L., Ding, L.-M., Yang, Z., y Hao, H.-M. (2015). Effect of rest-grazing management on soil water and carbon storage in an arid grassland (China). *Journal of Hydrology*, *527*, 754-760. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.036

Wang, S., Wang, X., y Ouyang, Z. (2012). E ff ects of land use , climate , topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the Upstream Watershed of. *Journal of Environmental Sciences*, *24*(3), 387-395. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60789-4

Willaarts, B. A., Oyonarte, C., Muñoz-Rojas, M., Ibáñez, J. J., y Aguilera, P. A. (2016). Environmental factors controlling soil organic carbon stocks in two contrasting mediterranean climatic areas of southern Spain. *Land Degradation and Development*, *27*, 603-611. https://doi.org/10.1002/ldr.2417

Winjum, J., Dixon, R., y Schoroeder, P. (1992). Estimación del potencial mundial de las prácticas de ordenación forestal y agroforestal para secuestrar carbono. *Agua Aire Suelo Contaminación*, *64*, 213–227.

Winowiecki, L., Vågen, T., y Huising, J. (2015). Effects of land cover on ecosystem services in Tanzania : A spatial assessment of soil organic carbon. *Geoderma*, *263*, 274-283. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.010

Wu, L., Li, L., Yao, Y., Qin, F., Guo, Y., Gao, Y., y Zhang, M. (2017). Spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors at different soil depths in a semiarid region of China. *Environmental Earth Sciences*, *76*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6982-1

Xin, Z., Quin, Y., y Yu, X. (2016). Spatial variability in soil organic carbon and its influencing factors in a hilly watershed of the Loess Plateau, China. *Catena*, *137*, 660-669. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.028

Yao, X., Yu, K., Deng, Y., Zeng, Q., Lai, Z., y Liu, J. (2019). Spatial distribution of soil organic carbon stocks in Masson pine (Pinus massoniana) forests in subtropical China. *Catena*, *178*, 189-198. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.004

Yimer, F., Ledin, S., y Abdelkadir, A. (2006). Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, *232*, 90-99. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.055

Yu, H., Zha, T., Zhang, X., y Ma, L. (2019). Vertical distribution and influencing factors of soil organic carbon in the Loess Plateau, China. *Science of the Total Environment*, *693*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133632

Yu, H., Zha, T., Zhang, X., Nie, L., Ma, L., y Pan, Y. (2020). Spatial distribution of soil organic carbon may be predominantly regulated by topography in a small revegetated watershed. *Catena*, *188*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104459

Zhao, B., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Cheng, Y., Chang, E., Yuan, S., Zhang, Y., y Feng, Z. (2017). Spatial distribution of soil organic carbon and its in fl uencing factors under the condition of ecological construction in a hilly-gully watershed of the Loess Plateau , China. *Geoderma*, *296*, 10-17. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.010

11. Anexos

Anexo 1. Usos del suelo identificados en el área de estudio

Figura 1. Bosque primario

Figura 2. Bosque secundario

Figura 3. Pastizal

Anexo 2. Digitalización de los puntos de muestreo en cada uso del suelo

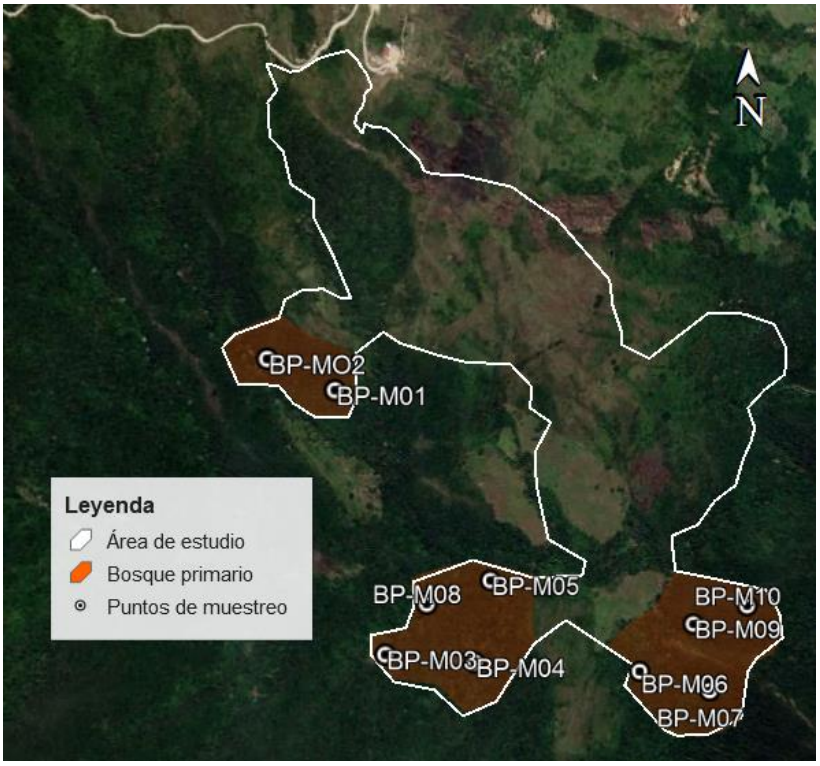

Figura 4. Digitalización y puntos de muestreo del bosque primario

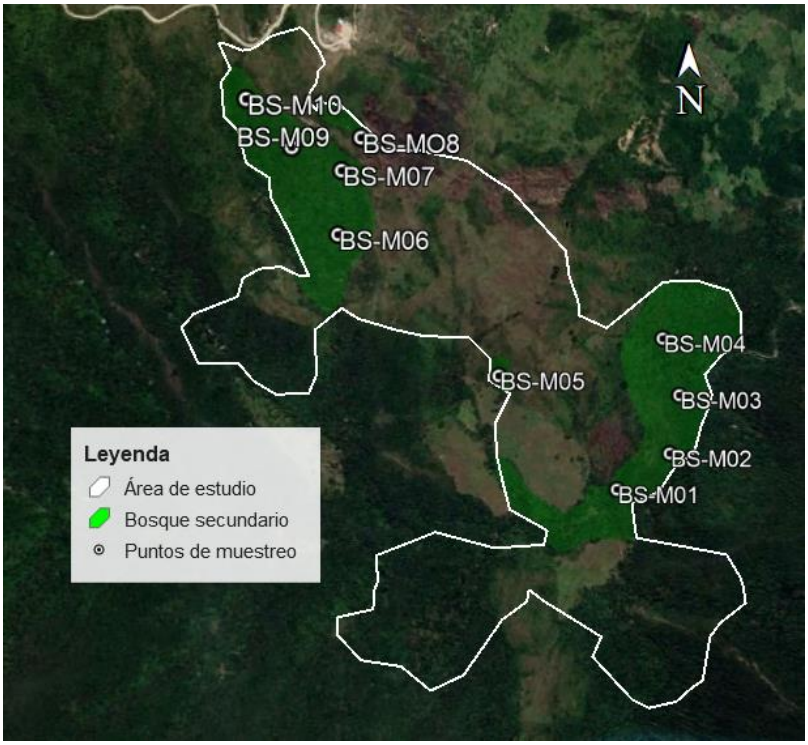

Figura 5. Digitalización y puntos de muestreo del bosque secundario

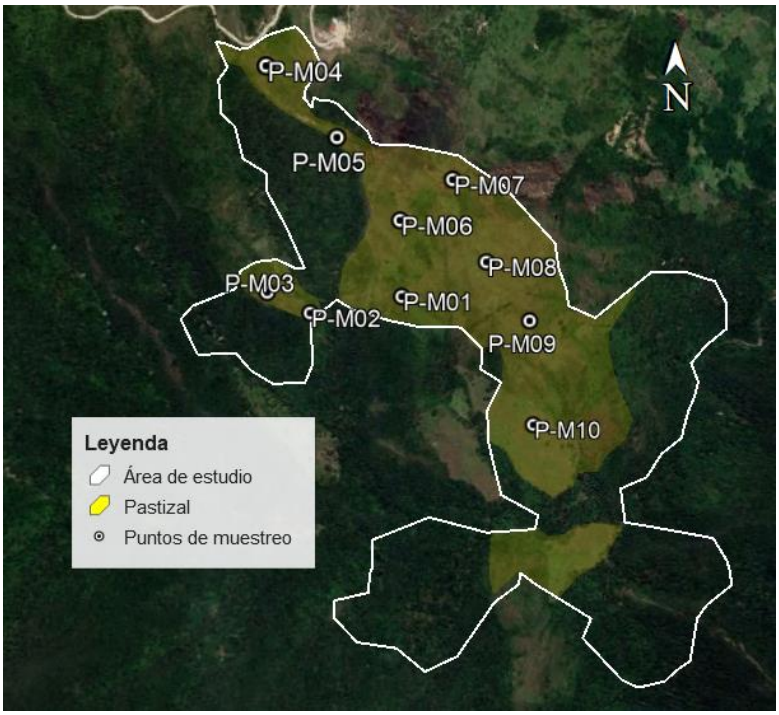

Figura 6. Digitalización y puntos de muestreo del pastizal

Anexo 3. Determinación de los contenidos de carbono en el suelo

Figura 7. Elaboración de calicatas en cada uso de suelo para determinar la profundidad del horizonte orgánico.

Figura 8. Medición del horizonte orgánico por cada uso del suelo

Figura 9. Obtención de muestras del suelo no disturbadas (cilindros de Kopecky) y disturbadas (barreno).

Figura 10. Tamizaje de las muestras de suelo

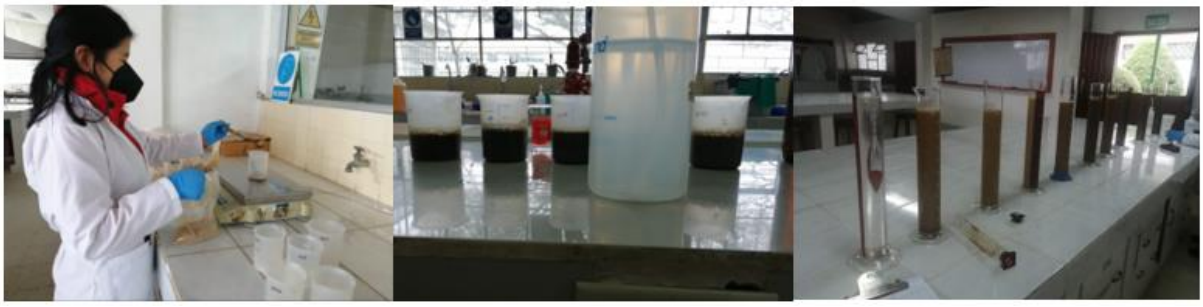

Figura 11. Determinación de la textura del suelo de cada muestra recolectada

Figura 12. Pesado y titulación de muestras para obtención de carbono orgánico

Anexo 4. Muestreo de vegetación en bosque primario y secundario

Figura 13. Medición del DAP en cada árbol muestreado

Figura 14. Medición de parcelas para muestrear arbustos y hierbas

Figura 15. Levantamiento de información de arbustos y hierbas

Anexo 5. Coordenadas de los puntos muestreados

Tabla 1. Coordenadas de los puntos muestreados en cada uso del suelo

Nro.	CÓDIGO	USO DEL SUELO	X	Y	Z	PENDIENTE (Grados)
1	BP-M01	Bosque primario	701754	9567869	2468	40
2	BP-M02	Bosque primario	701643	9567919	2494	55
3	BP-M03	Bosque primario	701840	9567435	2459	31
4	BP-M04	Bosque primario	701991	9567418	2433	27
5	BP-M05	Bosque primario	702023	9567547	2381	22
6	BP-M06	Bosque primario	702284	9567390	2362	33
7	BP-M07	Bosque primario	702407	9567356	2354	38
8	BP-M08	Bosque primario	701912	9567511	2409	21
9	BP-M09	Bosque primario	702382	9567468	2340	23
10	BP-M10	Bosque primario	702472	9567502	2352	40
11	BS-M01	Bosque secundario	702296	9567606	2334	29
12	BS-M02	Bosque secundario	702413	9567705	2328	32
13	BS-M03	Bosque secundario	702429	9567807	2340	40
14	BS-M04	Bosque secundario	702393	9567906	2369	25
15	BS-M05	Bosque secundario	702096	9567848	2435	28
16	BS-M06	Bosque secundario	701824	9568077	2555	30
17	BS-M07	Bosque secundario	701829	9568171	2605	27
18	BS-M08	Bosque secundario	701824	9568248	2632	18
19	BS-M09	Bosque secundario	701752	9568205	2624	29
20	BS-M10	Bosque secundario	701684	9568274	2652	26
21	P-M01	Pastizal	701999	9567972	2504	21
22	P-M02	Pastizal	701913	9568000	2491	15
23	P-M03	Pastizal	701715	9567977	2518	17
24	P-M04	Pastizal	701721	9568318	2664	20
25	P-M05	Pastizal	701830	9568213	2621	5
26	P-M06	Pastizal	702030	9568096	2553	45
27	P-M07	Pastizal	702137	9568029	2545	20
28	P-M08	Pastizal	702186	9567891	2496	18
29	P-M09	Pastizal	702180	9567712	2463	30
30	P-M10	Pastizal	702199	9567502	2395	35

Anexo 6. Textura del suelo por cada uso del suelo

Tabla 2. Determinación de la textura del suelo en cada uso del suelo

Nro.	CÓDIGO	USO DEL SUELO	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	TEXTURA
1	BP-M01	Bosque primario	45.8	40.4	13.8	Franco
2	BP-M02	Bosque primario	55.8	32.4	11.8	Franco-Arenoso
3	BP-M03	Bosque primario	39.6	44.4	16	Franco
4	BP-M04	Bosque primario	39.2	44.8	16	Franco
5	BP-M05	Bosque primario	39.2	44.8	16	Franco
6	BP-M06	Bosque primario	36.2	46.2	17.6	Franco
7	BP-M07	Bosque primario	40	46.4	13.6	Franco
8	BP-M08	Bosque primario	46	44.4	9.6	Franco
9	BP-M09	Bosque primario	48	38.4	13.6	Franco
10	BP-M10	Bosque primario	37.8	48.6	13.6	Franco
11	BS-M01	Bosque secundario	35	45.8	19.2	Franco
12	BS-M02	Bosque secundario	51	39.8	9.2	Franco
13	BS-M03	Bosque secundario	31	55.8	13.2	Franco-Limoso
14	BS-M04	Bosque secundario	46.8	42	11.2	Franco
15	BS-M05	Bosque secundario	46.8	42	11.2	Franco
16	BS-M06	Bosque secundario	28.8	54	17.2	Franco-Limoso
17	BS-M07	Bosque secundario	64.8	28	7.2	Franco-Arenoso
18	BS-M08	Bosque secundario	56.8	36	7.2	Franco-Arenoso
19	BS-M09	Bosque secundario	36.8	44	19.2	Franco
20	BS-M10	Bosque secundario	32.8	46	21.2	Franco
21	P-M01	Pastizal	34.8	42	23.2	Franco
22	P-M02	Pastizal	30.8	42	27.2	Franco-Arcilloso
23	P-M03	Pastizal	26.8	42	31.2	Franco-Arcilloso
24	P-M04	Pastizal	34.8	48	17.2	Franco
25	P-M05	Pastizal	56.8	32	11.2	Franco-Arenoso
26	P-M06	Pastizal	46.8	42	11.2	Franco
27	P-M07	Pastizal	56.8	32	11.2	Franco-Arenoso
28	P-M08	Pastizal	42.8	42	15.2	Franco
29	P-M09	Pastizal	40.8	44	15.2	Franco
30	P-M10	Pastizal	38.8	46	15.2	Franco

Anexo 7. Contenido de carbono en el compartimiento suelo

Tabla 3. Contenido de carbono en el suelo (t/ha)

Nro.	CÓDIGO	PESO MUESTRA (g)	GASTO S. Fe (BLANCO)	VOL. TITULACIÓN	DENSIDAD APARENTE (g/cm3)	% CO	% MO	%NT	RELACIÓN C/N	COS (t/ha)
1	P-M01	0.1501	10	6.6	0.77	4.42	8.38	0.42	10.54	58.44
2	P-M02	0.1502	10	6.1	0.77	5.06	9.60	0.48	10.53	36.50
3	P-M03	0.1506	10	8.35	0.97	2.14	4.05	0.20	10.55	33.76
4	P-M04	0.1508	10	7.15	1.07	3.69	6.99	0.35	10.70	34.35
5	P-M05	0.1507	10	7.9	1.14	2.72	5.15	0.26	10.24	59.51
6	P-M06	0.1511	10	7.45	1.26	3.29	6.24	0.31	11.60	21.92
7	P-M07	0.1504	10	8	0.68	2.59	4.92	0.25	10.71	61.20
8	P-M08	0.1508	10	7.15	0.92	3.69	6.99	0.35	10.44	77.83
9	P-M09	0.1508	10	5.7	1.33	5.56	10.54	0.53	11.40	22.74
10	P-M10	0.1506	10	6.8	1.13	4.14	7.86	0.39	20.11	122.72
11	BP-M01	0.1002	10	8.7	1.15	2.53	4.80	0.24	10.45	33.06
12	BP-M02	0.1047	10	9.15	1.34	1.58	3.00	0.15	11.00	22.11
13	BP-M03	0.1006	10	9.4	1.34	1.16	2.21	0.11	11.33	22.78
14	BP-M04	0.1007	10	9.45	1.09	1.07	2.02	0.10	10.24	47.42
15	BP-M05	0.1007	10	9.1	0.82	1.74	3.31	0.17	10.48	66.63
16	BP-M06	0.1017	10	9.7	0.86	0.58	1.09	0.05	10.42	42.57
17	BP-M07	0.1009	10	8.45	1.02	3.00	5.68	0.28	10.44	138.47
18	BP-M08	0.1003	10	8.55	1.20	2.82	5.35	0.27	10.59	69.9
19	BP-M09	0.1019	10	9.7	1.31	0.57	1.09	0.05	10.64	114.95

Nro.	CÓDIGO	PESO MUESTRA (g)	GASTO S. Fe (BLANCO)	VOL. TITULACIÓN	DENSIDAD APARENTE (g/cm3)	% CO	% MO	%NT	RELACIÓN C/N	COS (t/ha)
20	BP-M10	0.1021	10	9	1.56	1.91	3.62	0.18	10.54	98.67
21	BS-M01	0.2030	10.2	9	0.27	1.15	2.19	0.11	10.52	17.9
22	BS-M02	0.2504	10.2	9.35	0.40	0.66	1.26	0.06	10.54	30.36
23	BS-M03	0.2006	10.2	9.5	0.53	0.68	1.29	0.06	10.70	17.01
24	BS-M04	0.2012	10.2	8.4	1.08	1.74	3.31	0.17	10.54	59.78
25	BS-M05	0.1502	10.2	7.7	1.02	3.25	6.16	0.31	10.46	41.62
26	BS-M06	0.2017	10.2	8.15	0.68	1.98	3.76	0.19	10.61	33.56
27	BS-M07	0.1507	10.2	6	0.91	5.43	10.31	0.52	10.36	35.35
28	BS-M08	0.1504	10.2	8.4	0.78	2.33	4.43	0.22	10.54	43.17
29	BS-M09	0.1500	10.2	7.5	0.88	3.51	6.66	0.33	10.49	73.39
30	BS-M10	0.1505	10.2	8.25	0.92	2.53	4.79	0.24	10.62	57.13

Anexo 8. Levantamiento de información florística en el bosque primario y secundario

Tabla 4. Vegetación arbórea del bosque primario y secundario por parcela

Parcela	Nombre científico	Familia	Altura del árbol		DAP
			H.C.	H.T.	
1	*Topobea aeruginosa* (Standl.) LO Williams	Melastomataceae	2	5.5	33.5
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	3	6.5	61
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	6	7	66
1	*Allophylus mollis* (Kunth) Radlk.	Sapindaceae	1.8	6.5	93
1	*Alnus acuminata* Kunth	Betulaceae	4	7.5	58
1	*Cinchona barbacoensis* H. Karst	Rubiaceae	2	6.5	83.5
1	*Miconia aurea* (D. Don) Naudin	Melastomataceae	1.5	6.5	43.5
1	*Topobea aeruginosa* (Standl.) LO Williams	Melastomataceae	1.5	6.5	37.5
1	*Topobea aeruginosa* (Standl.) LO Williams	Melastomataceae	3.5	6	40
1	*Saurauia* sp.	Actinidiaceae	3	7.5	39.8
1	*Hyeronima* sp.	Phyllanthaceae	2	7.5	45
1	*Hyeronima* sp.	Phyllanthaceae	5	7	51.6
1	*Topobea aeruginosa* (Standl.) LO Williams	Melastomataceae	3	7.5	37
1	*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	Araliaceae	3	7.5	62.5
1	*Saurauia* sp.	Actinidiaceae	3.5	6.5	41.9
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	5	10	81
1	*Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin	Cyatheaceae	6	6.5	50
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	3	6.5	58
1	*Meriania tomentosa* (Cogn.) Wurdack	Melastomataceae	3.5	5.5	36.5
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	6	8.5	92
1	*Palicourea calycina* Benth	Rubiaceae	5	9	95
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	7	9.5	75
1	*Miconia aurea* (D. Don) Naudin	Melastomataceae	2	7	39.5
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	4	9	71.5
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	4.5	9	46.5
1	*Miconia aurea* (D. Don) Naudin	Melastomataceae	3	7	37.5
1	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	3	7.5	47.8
1	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	2	6.5	47
1	*Guettarda hirsuta* (Ruiz & Pav.) Pers.	Rubiaceae	5	10	42
2	*Palicourea amethystina* (Ruiz & Pav.) DC.	Rubiaceae	6	10	69

Parcela	Nombre científico	Familia	Altura del árbol		DAP
			H.C.	H.T.	
2	*Palicourea cornigera* C.M. Taylor	Rubiaceae	3	7.5	33
2	*Alchornea coelophylla* Pax y K. Hoffm.	Euphorbiaceae	6.5	11	49.5
2	*Bathysa* sp.	Rubiaceae	7	11.5	56.5
2	*Alchornea coelophylla* Pax y K. Hoffm.	Euphorbiaceae	5	14	122
2	*Alchornea coelophylla* Pax y K. Hoffm.	Euphorbiaceae	7	9	62+47.5
2	*Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Wilbur	Myricaceae	3	6.5	43.9
2	*Monnina confusa* Ferreyra	Polygalaceae	4	8	47
2	*Monnina confusa* Ferreyra	Polygalaceae	3	10	41.5
2	*Monnina confusa* Ferreyra	Polygalaceae	5	13	101
2	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	4	7	46.2
2	*Monnina confusa* Ferreyra	Polygalaceae	8	12	92
2	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	8.5	15	88.5
2	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	6	12	73.6
2	*Palicourea amethystina* (Ruiz & Pav.) DC.	Rubiaceae	8	15	86
2	*Cleome* sp.	Cleomaceae	2	8.5	38.8
2	*Ficus* sp.	Moraceae	4	6.5	34.5
2	*Ficus* sp.	Moraceae	4	7	43.5
2	*Critoniopsis pycnantha* (Benth.) H. Rob	Asteraceae	2	7.5	64
2	*Tibouchina lepidota* (Bonpl.) Baill.	Melastomataceae	5	12	55+61
2	*Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin	Cyatheaceae	5	5.5	60.8
2	*Critoniopsis pycnantha* (Benth.) H. Rob	Asteraceae	7.5	13.5	67
2	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	4.5	13	59.4
2	*Ficus* sp.	Moraceae	12	14	77
2	*Alchornea coelophylla* Pax y K. Hoffm.	Euphorbiaceae	4	11	80
2	*Alchornea coelophylla* Pax y K. Hoffm.	Euphorbiaceae	3	7.5	66
2	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	4	8.5	49.5
3	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	2	3	32
3	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	1	3.5	55
3	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	1.5	4	35
3	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	1.5	3.5	32
3	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	1	3	33
3	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	1.8	3.8	32
3	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	4	12	55.5
3	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	3	10	49
3	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	4.5	11	54.6
3	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	5	13	60.5
3	*Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin	Cyatheaceae	6	6.5	59.5

Parcela	Nombre científico	Familia	Altura del árbol		DAP
			H.C.	H.T.	
3	*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	Araliaceae	3.5	9	62
3	*Vismia baccifera* (L.) Planch. & Triana	Hypericaceae	4.5	10.5	52
4	*Weinmannia pinnata* L.	Cunoniaceae	4	7	40
4	*Geissanthus vanderwerffii* Pipoly	Primulaceae	5	8	59
4	*Clusia alata* Planch. & Triana	Clusiaceae	3.5	6.5	50
4	*Geissanthus vanderwerffii* Pipoly	Primulaceae	3	7.5	34
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	3	8	60
4	*Geissanthus vanderwerffii* Pipoly	Primulaceae	6	8	35
4	*Myrsine andina* (Mez) Pipoly	Primulaceae	7	11.5	48.5
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	7	10	49
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	7	10	51.4
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	7	11	41.5
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	6	7	36
4	*Persea brevipes* Meisn.	Lauraceae	7.5	12	73.1
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	5	9	38.5
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	6.5	11	77.5
4	*Weinmannia fagaroides* Kunth	Cunoniaceae	3.5	7.5	39.5
4	*Weinmannia fagaroides* Kunth	Cunoniaceae	5.5	8	35
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	5	7.5	37
4	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	6	10	60.1
4	*Oreopanax rosei* Harms	Araliaceae	2.25	8	49
4	*Weinmannia fagaroides* Kunth	Cunoniaceae	7	9	36.7
4	*Persea brevipes* Meisn.	Lauraceae	3	11	63.5
4	*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	Araliaceae	2	7.5	40.5
4	*Hieronyma macrocarpa* Müll.Arg.	Phyllanthaceae	4	8.5	53.1
4	*Hieronyma macrocarpa* Müll.Arg.	Phyllanthaceae	4	9	40
4	*Weinmannia fagaroides* Kunth	Cunoniaceae	7	11.5	43
4	*Persea brevipes* Meisn.	Lauraceae	3	9	31.5
4	*Podocarpus oleifolius* D. Don	Podocarpaceae	2	6.5	32
4	*Alchornea grandiflora* Müll.Arg.	Euphorbiaceae	1.5	8	45
5	*Clusia alata* Planch. & Triana	Clusiaceae	3	8.5	51
5	*Hieronyma macrocarpa* Müll.Arg.	Phyllanthaceae	1.5	4.5	32
5	*Hieronyma macrocarpa* Müll.Arg.	Phyllanthaceae	4	6.5	64
5	*Hieronyma macrocarpa* Müll.Arg.	Phyllanthaceae	3.5	8	75
5	*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	Araliaceae	4	7	40

Parcela	Nombre científico	Familia	Altura del árbol		DAP
			H.C.	H.T.	
5	*Clusia alata* Planch. & Triana	Clusiaceae	3	6	48
5	*Clusia alata* Planch. & Triana	Clusiaceae	4	7	51.1
5	*Oreopanax rosei* Harms	Araliaceae	3	7.5	47.3
5	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	6	9	48.7
5	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	5	10	51.5
5	*Clethra fimbriata* Kunth	Clethraceae	6.5	11	52
5	*Hedyosmum* sp.	Chloranthaceae	6	10	45
5	*Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng.	Myrsinaceae	10	20	70
5	*Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin	Cyatheaceae	5	5.5	48
5	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	3	7	35
5	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	3.5	6	39
5	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	4	7	41
5	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	3.5	7.5	32
5	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	3	8	40
5	*Miconia caelata* (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	4	7.5	38

Tabla 5. Vegetación arbustiva del bosque primario y secundario por parcela

Parcela	Nombre científico	Familia	Nro. de individuos
1	*Piper asperiusculum* Kunth	Piperaceae	7
1	*Miconia* sp3.	Melastomataceae	2
1	*Blakea aeruginosa* Standl.	Melastomataceae	3
1	*Miconia* sp3.	Melastomataceae	3
1	*Miconia* sp2.	Melastomataceae	2
1	*Kohleria affinis* (Fritsch) Roalson & Boggan	Gesneriaceae	7
2	*Palicourea canarina* C.M. Taylor	Rubiaceae	5
2	*Miconia* sp1.	Melastomataceae	3
2	*Palicourea angustifolia* Kunth	Rubiaceae	8
2	*Meriania tomentosa* (Cogn.) Wurdack	Melastomataceae	4
2	*Bocconia* sp.	Papaveraceae	5
2	*Palicourea canarina* C.M. Taylor	Rubiaceae	1
2	*Meriania tomentosa* (Cogn.) Wurdack	Melastomataceae	4
2	*Palicourea canarina* C.M. Taylor	Rubiaceae	4
2	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	3
3	*Aristeguietia lamiifolia* (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	10
3	*Tibouchina laxa* (Desr.) Cogn.	Melastomataceae	8
3	*Rubus praecox* Bertol.	Rosaceae	2
3	*Miconia theizans* (Bonpl.) Cogn.	Melastomataceae	2
3	*Gynoxys parvifolia* Cuatrec.	Asteraceae	1
3	*Baccharis genistelloides* (Lam.) Pers.	Asteraceae	3
3	*Gynoxys parvifolia* Cuatrec.	Asteraceae	3
3	*Aristeguietia lamiifolia* (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	8
3	*Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Wilbur	Myricaceae	7
3	*Tibouchina laxa* (Desr.) Cogn.	Melastomataceae	5
3	*Miconia theizans* (Bonpl.) Cogn.	Melastomataceae	2
3	*Gynoxys parvifolia* Cuatrec.	Asteraceae	4
3	*Tibouchina laxa* (Desr.) Cogn.	Melastomataceae	3
3	*Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Wilbur	Myricaceae	3
3	*Aristeguietia lamiifolia* (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	8
4	*Palicourea angustifolia* Kunth	Rubiaceae	25
4	*Blakea aeruginosa* Standl.	Melastomataceae	3
4	*Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Wilbur	Myricaceae	2
4	*Palicourea angustifolia* Kunth	Rubiaceae	11
4	*Miconia cladonia* Gleason	Melastomataceae	4

Parcela	Nombre científico	Familia	Nro. de individuos
4	*Miconia* sp3.	Melastomataceae	2
4	*Palicourea angustifolia* Kunth	Rubiaceae	4
5	*Miconia theizans* (Bonpl.) Cogn.	Melastomataceae	5
5	*Aristeguietia lamiifolia* (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	3
5	*Viburnum triphyllum* Benth.	Adoxaceae	1
5	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	10
5	*Rubus praecox* Bertol.	Rosaceae	2
5	*Gynoxys parvifolia* Cuatrec.	Asteraceae	1
5	*Aristeguietia lamiifolia* (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	4
5	*Miconia theizans* (Bonpl.) Cogn.	Melastomataceae	3
5	*Viburnum triphyllum* Benth.	Adoxaceae	3
5	*Aristeguietia lamiifolia* (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae	5

Tabla 6. Vegetación herbácea del bosque primario y secundario por parcela

Parcela	Nombre científico	Familia	Nro. de individuos
1	*Pilea* sp.	Urticaceae	2
1	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	1
1	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	5
1	*Peperomia galioides* Kunth	Piperaceae	4
1	*Peperomia galioides* Kunth	Piperaceae	3
1	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	2
2	*Pilea* sp.	Urticaceae	9
2	*Anthurium corrugatum* Sodiro	Araceae	11
2	*Selaginella martensii* Spring	Selaginellaceae	3
2	*Pilea* sp.	Urticaceae	5
2	*Peperomia galioides* Kunth	Piperaceae	3
2	*Bomarea distichifolia* (Ruiz & Pav.) Baker	Alstroemeriaceae	2
2	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	2
2	*Pilea* sp.	Urticaceae	13
2	*Anthurium corrugatum* Sodiro	Araceae	4
2	*Selaginella martensii* Spring	Selaginellaceae	6
2	*Peperomia galioides* Kunth	Piperaceae	12
2	*Peperomia galioides* Kunth	Piperaceae	4
2	*Selaginella martensii* Spring	Selaginellaceae	6
2	*Anthurium corrugatum* Sodiro	Araceae	5
3	*Gleichenella pectinata* (Willd) Ching	Gleicheniaceae	10
3	*Calamagrostis intermedia* (J. Presl) Steud.	Poaceae	8
3	*Blechnum cordatum* (Desv.) Hieron.	Blechnaceae	4
3	*Blechnum cordatum* (Desv.) Hieron.	Blechnaceae	3
4	*Bomarea dissitifolia* Baker	Alstroemeriaceae	3
4	*Blechnum cordatum* (Desv.) Hieron.	Blechnaceae	3
4	*Anthurium corrugatum* Sodiro	Araceae	4
4	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	3
4	*Peperomia galioides* Kunth	Piperaceae	5
4	*Chusquea scandens* Kunth	Poaceae	8
4	*Pilea* sp.	Urticaceae	3
5	*Blechnum cordatum* (Desv.) Hieron.	Blechnaceae	4
5	*Calamagrostis intermedia* (J. Presl) Steud.	Poaceae	10
5	*Blechnum cordatum* (Desv.) Hieron.	Blechnaceae	3
5	*Baccharis genistelloides* (Lam.) Pers.	Asteraceae	5

Anexo 9. Certificación de traducción del Abstract

CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN DEL ABSTRACT

Lic. Oswaldo Patricio Jaramillo Ajila
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, MENCIÓN INGLÉS

Certifico:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de Titulación titulado: "DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN EL SECTOR HUACAPAMBA, PARROQUIA JIMBILLA, CANTÓN LOJA", de autoría de la estudiante Estefania Carolina Jimenez Peña, previa a la obtención del título de Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizando al interesado, hacer uso del presente en lo que estime conveniente.

Zumba, 06 de marzo del 2022

Lic. Oswaldo Patricio Jaramillo Ajila
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, MENCIÓN INGLÉS
CI: 1900522739
Celular: 0981914595