



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**CUANTIFICACIÓN DE FLUJO DE CARBONO EN HUMEDALES
DE BOSQUES LLUCUD Y GUAYLLABAMBA DEL FLANCO
NORESTE DEL PARQUE NACIONAL SANGAY**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORES: PAOLA JOHANA CARRASCO SATAN

DIANA ELIZABETH PACA ACAN

DIRECTORA: Dra. MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE, PhD.

Riobamba-Ecuador

2024

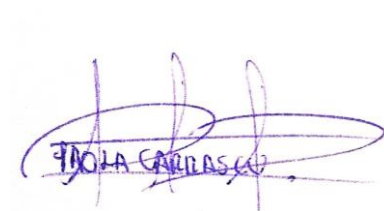
©2023, Paola Johana Carrasco Satan & Diana Elizabeth Paca Acan

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Paola Johana Carrasco Satan y Diana Elizabeth Paca Acan, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de febrero de 2024



Paola Johana Carrasco Satan
C.I. 060532776-6



Diana Elizabeth Paca Acan
C.I. 060558297-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO DE CARBONO EN HUMEDALES DE BOSQUES DE LLUCUD Y GUAYLLABAMBA DEL FLANCO NORESTE DEL PARQUE NACIONAL SANGAY**, realizado por las señoritas: **PAOLA JOHANA CARRASCO SATAN y DIANA ELIZABETH PACA ACAN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Fernanda Rivera Velásquez, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-02-14
Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-02-14
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia, MsC. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-02-14

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por darme la vida, la voluntad y la oportunidad de estudiar. A mis padres por estar siempre a mi lado cuando más los necesito, por mostrarme en cada momento su apoyo incondicional, ya que son para mí la base fundamental de mi vida pues ellos me han sabido guiar, levantarme y sostenerme en todo este trayecto, todo lo que hoy soy es gracias a ellos. A mis hermanos Martha, Milton, Bayron, Tania, Alba, Edgar, Jessica que me han apoyado moralmente y me han alentado a progresar en la vida. A toda mi familia que es lo máspreciado y valioso que Dios me ha podido dar. Finalmente, este trabajo lo dedico a mis amistades como Dianita, Estefy, Mishell, Luis, Erika y muchas personas más que me brindaron su amistad incondicional, que gracias a ellos esta etapa de formación académica y vida va a ser única e inolvidable.

Paola

Dedico este trabajo principalmente a Dios por darme la vida, dotarme de sabiduría, fortaleza y permitirme cumplir uno de mis objetivos. A mis padres José y Juana porque ellos han dado razón a mi vida, por brindarme su amor y su paciencia, buenos consejos para cumplir con cada uno de mis objetivos y por su apoyo incondicional tanto moral y económicamente, todo lo que hoy soy es gracias a ellos. A mis tíos Ángel y Alicia por cuidarme y su apoyo incondicional que me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria. A toda mi familia que es lo más valioso que Dios me ha dado por sus consejos y motivaciones que me permitieron perseverar en cumplir mis ideales. Finalmente, este trabajo lo dedico a mis amistades Paola, Tefy, Mishell y Luis por su amistad, su compañía que hicieron de esta experiencia una de las más especiales.

Diana

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios por darnos la vida y el valor para culminar esta etapa de nuestras vidas y que sus promesas se cumplen a su debido tiempo.

Al Ing. Franklin Cargua principal colaborador durante la elaboración de este proyecto, gracias por su ayuda, enseñanzas y habernos brindando sus conocimientos para cumplir uno de nuestros grandes objetivos.

A la Dra. Magdy Echeverría nuestra tutora de tesis junto a la Ing. Cristina Calderón por su apoyo y darnos la oportunidad de realizar el presente trabajo.

A nuestros amigos, amigas y familiares que con su motivación nos ayudaron a luchar por nuestros sueños.

A nuestra querida institución Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a toda la Facultad de Ciencias y a nuestros profesores, quienes nos brindaron conocimientos para formarnos profesionalmente.

Y a todas aquellas personas que siempre estuvieron presentes y nos ayudaron directa e indirectamente para la realización de este proyecto.

Paola & Diana

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento de problema.....	1
1.2.	Problema general de investigación	1
1.3.	Problema específico de investigación	1
1.4.	Justificación	2
1.5.	Objetivos	3
1.5.1.	<i>Objetivo general</i>	3
1.5.2.	<i>Objetivo específicos</i>	3
1.6.	Planteamiento de hipótesis	3
1.6.1.	<i>Hipótesis nula</i>	3
1.6.2.	<i>Hipótesis alterna</i>	3

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	4
2.1.	Antecedentes	4
2.2.	Bases teóricas.....	5
2.2.1.	<i>Cambio climático</i>	5
2.2.1.1.	<i>Gas de efecto invernadero</i>	6
2.2.1.2.	<i>Dióxido de carbono (CO₂)</i>	6
2.2.2.	<i>Humedales</i>	6
2.2.2.1.	<i>Importancia de humedales</i>	6
2.2.2.2.	<i>Humedales forestales</i>	7

2.2.2.3.	<i>Humedales altoandinos en el Ecuador</i>	8
2.2.3.	Carbono	8
2.2.3.1.	<i>Ciclo de carbono</i>	9
2.2.3.2.	<i>Captura y almacenamiento de carbono</i>	11
2.2.3.3.	<i>Sumideros de carbono</i>	11
2.2.3.4.	<i>Carbono en ecosistemas de alta montaña</i>	12
2.2.3.5.	<i>Bosques como sumidero de carbono</i>	12
2.2.4.	Suelo	13
2.2.4.1.	<i>Principales propiedades físicas del suelo</i>	13
2.2.4.2.	<i>Principales propiedades químicas del suelo</i>	16
2.2.5.	Método LOI (Loss On Ignition, calcinación) para cuantificar el carbono	18
2.2.6.	Medición de biomasa área y del suelo	18
2.2.7.	Muestras de suelo	20
2.2.8.	Biomasa aérea	22
2.2.8.1.	<i>Biomasa arbórea o forestal</i>	22
2.2.8.2.	<i>Medición del diámetro de los arboles</i>	22
2.2.9.	Determinación de biomasa herbazal o sotobosques	23
2.2.10.	Biomasa subterránea o raicillas	24
2.2.11.	Respiración del suelo	24
3.2.11.1.	<i>Oxitop-IDS Set 6</i>	25
2.2.11.2.	<i>Factores que afecta a la respiración del suelo</i>	25
2.2.11.3.	<i>La respiración del suelo en ecosistemas forestales</i>	26
2.2.11.4.	<i>La respiración del suelo en humedales forestales</i>	27
2.2.12.	Coefficiente de correlación <i>r</i> de Pearson	27
2.3.	Bases conceptuales	28
2.3.1.	Flujo de carbono	28
2.3.2.	Humedales de bosques	28
2.3.3.	Respiración del suelo	28
2.4.	Base legal	29
2.4.1.	Constitución de Ecuador	29
2.4.2.	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)	30
2.4.3.	Ley de Gestión Ambiental	30

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	32
----	---------------------------------	----

3.1.	Tipo de estudio	32
3.2.	Área de estudio	32
3.3.	Población y muestra	33
3.3.1.	<i>Población de estudio</i>	33
3.3.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	33
3.4.	Metodología	34
3.5.	Fase de campo	34
3.5.1.	<i>Recolección de datos</i>	34
3.5.2.	<i>Equipos y materiales</i>	34
3.5.2.1.	<i>Equipos</i>	34
3.5.2.2.	<i>Materiales</i>	34
3.5.3.	<i>Métodos</i>	35
3.5.3.1.	<i>Recolección de muestras de suelo</i>	35
3.5.3.2.	<i>Recolección de datos para la biomasa área</i>	36
3.6.	Fase de laboratorio	37
3.6.1.	<i>Análisis de suelo</i>	37
3.6.1.1.	<i>Determinación de pH y conductividad eléctrica</i>	37
3.6.1.2.	<i>Determinación del tipo de color</i>	37
3.6.1.3.	<i>Determinación de textura</i>	37
3.6.1.4.	<i>Determinación de la densidad aparente del suelo</i>	38
3.6.2.	<i>Determinación del carbono orgánico en el suelo</i>	39
3.6.3.	<i>Biomasa de sotobosque y de arbustos, hierbas/cultivos</i>	39
3.6.4.	<i>Respiración del suelo mediante oxitop</i>	39
3.7.	Fase de análisis de datos	40
3.7.1.	<i>Contenido de carbono en el suelo</i>	40
3.7.1.1.	<i>Densidad aparente</i>	40
3.7.1.2.	<i>Porcentaje de la materia orgánica del suelo</i>	41
3.7.1.3.	<i>Porcentaje de carbono orgánico del suelo</i>	41
3.7.2.	<i>Contenido de carbono en la biomasa aérea</i>	41
3.7.2.1.	<i>Biomasa aérea</i>	42
3.7.2.2.	<i>Biomasa de sotobosque y de arbustos, hierbas/cultivos</i>	43
3.7.3.	<i>Determinación de respiración del suelo</i>	43
 CAPÍTULO IV		
4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	45

4.1.	Resultado de las propiedades fisicoquímicas del suelo en las zonas de estudio .	45
4.1.1.	<i>Características fisicoquímicas a la profundidad de 0-30 cm</i>	45
4.1.2.	<i>Características fisicoquímicas a la profundidad de 30-60 cm</i>	52
4.2.	Resultados de estado de conservación de carbono en biomasa aérea y subterránea (raicillas)	60
4.2.1.	<i>Contenido de carbono orgánico en biomasa aérea forestal</i>	60
4.2.2.	<i>Contenido de carbono orgánico en biomasa de sotobosque</i>	62
4.2.3.	<i>Contenido de carbono orgánico en raicillas</i>	63
4.3.	Resultados de la respiración del suelo	64
4.3.1.	<i>Relación del carbono orgánico en el suelo y la respiración de suelo</i>	65
4.3.2.	<i>Relación de variables de temperatura y humedad con la respiración del suelo</i>	66
4.4.	Correlación del flujo de carbono	68
4.5.	Discusión de resultados.....	70
4.5.1.	<i>Condiciones fisicoquímicas en el suelo y el secuestro de carbono orgánico en los humedales de bosques</i>	70
4.5.2.	<i>Estado de conservación del carbono orgánico en biomasa aérea y subterránea (raicillas)</i>	70
4.5.3.	<i>Respiración del suelo en humedales de bosques</i>	71
4.5.4.	<i>Correlación de flujo de carbono</i>	72

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1.	Conclusiones	73
5.2.	Recomendaciones	74

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Clasificación de las partículas de acuerdo su tamaño	14
Tabla 2-2:	Clasificación del pH según el tipo de suelo	16
Tabla 2-3:	Clasificación de suelos según la conductividad eléctrica	17
Tabla 2-4:	Porcentaje de materia orgánica en el suelo	18
Tabla 4-1:	Propiedades fisicoquímicas de los suelos en los humedales de bosque a una profundidad de 0-30cm	45
Tabla 4-2:	Propiedades fisicoquímicas de los suelos en los humedales de bosques a una profundidad de 30-60 cm	52
Tabla 4-3:	Densidad poblacional y carbono orgánico en la biomasa forestal de las dos zonas de estudios.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Ciclo de carbono.....	10
Ilustración 2-2:	Determinación del color del suelo (Tabla Munsell)	15
Ilustración 2-3:	Distribución de las parcelas dentro del conglomerado.....	19
Ilustración 2-4:	Distribución y tamaño de las parcelas	20
Ilustración 2-5:	Ubicación de puntos para caracterización física del suelo	21
Ilustración 2-6:	Introducción de cilindros en el perfil del suelo	21
Ilustración 2-7:	Extracción de cilindros del perfil del suelo	22
Ilustración 2-8:	Medición del diámetro de forma correcta en terrenos planos	23
Ilustración 2-9:	Interpretación de la correlación de Pearson	28
Ilustración 3-1:	Mapa del área de estudio del cantón Chambo	32
Ilustración 3-2:	Procedimiento de textura por tacto.....	38
Ilustración 4-1:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de pH del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm	47
Ilustración 4-2:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de conductividad eléctrica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm.....	48
Ilustración 4-3:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de contenido de humedad del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm.....	49
Ilustración 4-4:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de densidad aparente del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm.....	50
Ilustración 4-5:	Clases texturales a la profundidad de 0-30 cm en las dos zonas de estudio.	50
Ilustración 4-6:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de materia orgánica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm.....	51
Ilustración 4-7:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de Carbono orgánico del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm.....	52
Ilustración 4-8:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de pH del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm.....	54
Ilustración 4-9:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de conductividad eléctrica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm.....	55
Ilustración 4-10:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de Humedad del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm.....	56
Ilustración 4-11:	Caja de bigotes en la que se representa los valores de densidad aparente del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm.....	57
Ilustración 4-12:	Clases texturales a la profundidad de 30-60 cm en las dos zonas de estudio	58

Ilustración 4-13: Caja de bigotes en la que se representa los valores de Materia orgánica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm.....	59
Ilustración 4-14: Caja de bigotes en la que se representa los valores de Carbono orgánico del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm.....	60
Ilustración 4-15: El contenido de carbono orgánico en biomasa aérea en dos sectores de estudio	62
Ilustración 4-16: Carbono orgánico de biomasa en sotobosque en dos zonas de estudio.....	63
Ilustración 4-17: Carbono orgánico en raicillas (biomasa subterránea) en dos zonas de estudio	64
Ilustración 4-18: Distribución de la respiración del suelo con respecto a los conglomerados de las zonas de estudio	65
Ilustración 4-19: Relación del Carbono Orgánico y la respiración del suelo en las zonas de estudio	66
Ilustración 4-20: Representaciones de las variaciones de temperatura y humedad del suelo en la zona de Llucud	67
Ilustración 4-21: Representaciones de las variaciones de temperatura y humedad del suelo en la zona de Guayllabamba	67
Ilustración 4-22: Concentración de carbono en diferentes depósitos y respiración del suelo .	68
Ilustración 4-23: Correlación de Pearson de carbono entre las variables de humedales en bosques	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1:	Tamaño de muestra.....	33
Ecuación 3-2:	Diámetro a la altura del pecho	36
Ecuación 3-3:	Densidad aparente.....	40
Ecuación 3-4:	Volumen de cilindro	40
Ecuación 3-5:	Porcentaje de materia orgánica	41
Ecuación 3-6:	Porcentaje de carbono orgánico	41
Ecuación 3-7:	Biomasa total aérea.....	42
Ecuación 3-8:	Contenido de carbono	42
Ecuación 3-9:	Contenido de humedad	43
Ecuación 3-10:	Biomasa seca.....	43
Ecuación 3-11:	Respiración del suelo	43
Ecuación 3-12:	Volumen libre de la muestra.....	44
Ecuación 3-13:	Masa de la muestra seca.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

ANEXO B: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

ANEXO C: DETERMINACIÓN CARBONO EN SUELO

ANEXO D: DETERMINACIÓN DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO

ANEXO E: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE BIOMASA AEREA

ANEXO F: DETERMINACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA DE SOTOBOSQUE

ANEXO G: DETERMINACIÓN DE CARBONO EN RAICILLAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
C	Carbono
CE	Conductividad eléctrica
CO	Carbono orgánico
CO	Carbono Orgánico Total
CO₂	Dióxido de Carbono
ENF	Evaluación Nacional Forestal
g	Gramos
G	Guayllabamba
GEI	Gas de efecto invernadero
ha	Hectáreas
K	Kelvin
Kg	Kilogramo
Kpa	Kilopascales
LL	LLucud
mg	Miligramos
ml	Militros
mm	Milímetros
MOS	Materia Orgánica del suelo
NaOH	Hidróxido de Sodio
Rs	Respiración del suelo
Ton	Toneladas de carbono

RESUMEN

El presente trabajo cuyo objetivo es cuantificar el flujo de carbono en humedales de bosques de LLucud y Guayllabamba del Flanco Noreste del Parque Nacional Sangay, cuya área de estudio comprende 50,4932 hectáreas a una altitud de 3,100-3,300 msnm; se dividió en 3 fases: de campo, laboratorio y análisis de datos. La fase de campo se desarrolló en 6 conglomerados y 18 parcelas rectangulares en forma de L para las muestras de suelo (0-30 y 30-60 cm) y raicillas; las especies forestales se recolectó por el método no destructivo de acuerdo con las variables que se midieron en parcelas anidadas de 1200 m², para la recolección de sotobosque se empleó dos subparcelas de 2500 m². En la fase de laboratorio se utilizó los métodos: de relación de biomasa para carbono en sotobosque, de pérdida de peso (LOI) para carbono en suelo y Oxitop para la respiración del suelo. Los resultados muestran diferentes concentraciones de carbono: en biomasa aérea 3,94 %, biomasa de sotobosque 6,20 %, raicillas 8,04% y en suelo 12,22% a dos profundidades (0-30 y 30-60 cm), siendo la de 0-30 cm el valor superior con 6,71 %. La respiración del suelo en LLucud es menor (0,494 mg CO₂/Kg de suelo *5 d) que Guayllabamba (0,609 mg CO₂/Kg de suelo *d), demostrando así bajas emisiones de CO₂ posiblemente por la baja actividad biológica, bajas temperaturas, altos porcentajes de humedad que sobrepasan el punto de saturación (80%). Se determinó que la variabilidad de carbono y respiración del suelo es significativa, por lo que almacenan regularmente el carbono y constituyen ecosistemas frágiles.

Palabras clave: <FLUJO DE CARBONO>, <CARBONO ORGÁNICO> <HUMEDALES DE BOSQUES>, <RESPIRACIÓN DEL SUELO>, <BIOMASA AÉREA>.

0366-DBRA-UPT-2024

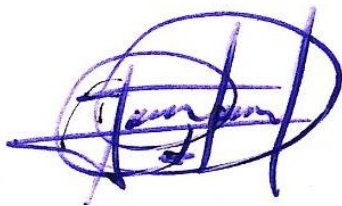


SUMMARY

The objective of this research is to quantify the carbon flux in wetlands in LLucud and Guayllabamba forests located in the northeastern flank of Sangay National Park. The study area comprises 50,4932 hectares at an altitude of 3,100-3,300 masl. It was divided into 3 phases: field, laboratory, and data analysis. The field phase was developed in 6 clusters and 18 rectangular L-shaped plots for soil samples (0-30 and 30-60 cm) and rootlets. The forest species were collected by the non-destructive method according to the variables that were measured in nested plots of 1200 m². For the collection of undergrowth, two subplots of 2500 m² were used. In the laboratory phase, the following methods were used: biomass ratio for understory carbon, weight loss (LOI) for soil carbon and Oxitop for soil respiration. The results show different carbon concentrations: in aerial biomass 3.94 %, understory biomass 6.20 %, rootlets 8.04% and in soil 12.22% at two depths (0-30 and 30-60 cm); being the 0-30 cm the higher value with 6.71 %. Soil respiration in LLucud is lower (0.494 mg CO₂ /Kg soil *5 d) than Guayllabamba (0.609 mg CO₂ /Kg soil *d). Thus, this demonstrated low CO₂ emissions possibly due to low biological activity, low temperatures, high percentages of humidity that exceed the saturation point (80%). It was determined that the variability of soil carbon and respiration is significant, so they regularly store carbon and constitute fragile ecosystems.

Keywords: <CARBON FLOOD>, <ORGANIC CARBON> <FOREST WETLANDS>, <SOIL RESPIRATION>, <AERIAL BIOMASS>.

0366-DBRA-UPT-2024



Ing. Romel Francisco Calles Jiménez Mgtr.

CI: 0603877713

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento de problema

Se estima en todo el mundo la desaparición de 50% de humedales, a pesar de que estos ecosistemas son fundamentales en el ciclo global de carbono (Alvis-Ccoropuna et al., 2021, págs. 138-140), y brindan servicios ecosistémicos como: almacenamiento de carbono, control de erosión, mantenimiento de la biodiversidad y mitigación del cambio (Cargua et al., 2019, págs. 149-156). Por otra parte, en varios países como: España, Francia y China su desaparición es casi el 60% y en el caso de Nueva Zelanda o California es el 90%, esto se debe básicamente a las actividades humanas implicando graves problemas como la reducción de diversidades de especies (Guerrero et al., 2022, págs. 19-28). Mientras que, en el año 2021, en el Ecuador la deforestación de bosques andinos es aproximadamente del 1,89% a nivel regional, por lo que estos ecosistemas se vuelven vulnerables y desequilibran el ciclo de carbono (Vistín et al., 2021, págs. 1406-1430). Por lo tanto, la deforestación, el incremento de la frontera agrícola representan una amenaza a la estabilidad tanto de humedales palustres como de bosques andinos (Guerrero et al., 2022, págs. 19-28). En consecuencia, de estas actividades se emite en grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera incrementando los gases de efecto invernadero, el remplazo de bosques en cultivos desequilibra la tasa de reciclaje de carbono generando así impactos negativos en la salud de los humanos (Burbano, 2018, págs. 82-96).

1.2. Problema general de investigación

Los humedales de bosques debido a las modificaciones y las actividades antropogénicas como la deforestación, quema de vegetación y cambios de uso del suelo ocasionan alteración de sus propiedades fisicoquímicas, disminución del contenido de carbono en humedales, bosques y otros ecosistemas, generando ecosistemas frágiles (Ojeda, 2017, págs. 1-60).

1.3. Problema específico de investigación

En la zona de LLucud y Guayllabamba las actividades de labores agrícolas y ganaderas son considerables por lo que los humedales de bosques son aprovechados para la actividad productiva, cambio de suelo, deforestación, entre otros, siendo ecosistemas no valoradas y amenazados, por esta razón el carbono en humedales o suelos disminuye emitiendo grandes cantidades de CO₂ más conocida como la respiración del suelo (Aguirre et al., 2018, págs. 939-952). En las zonas de estudio no

se direccionan a conocer la cuantificación del flujo de carbono en humedales de bosques, por lo que la falta de información genera un aprovechamiento excesivo haciendo ecosistemas vulnerables (Ojeda, 2017, págs. 1-60).

¿Cuál es la variabilidad de contenido carbono en humedales de bosques del flanco Noreste del Parque Nacional Sangay?

1.4. Justificación

Los humedales de bosques o también conocidos como humedales boscosos son fundamentales ya que ayudan en la conservación de la biodiversidad de flora y fauna, la regularización micro climática, la suministración de recursos hídricos, la amortiguación de inundaciones y la reducción de la contaminación ambiental, (López et al., 2011, pág. 4). Poseen propiedades fisicoquímicas y biológicas que regulan las fases de nutrientes, implicando también el carbono (C); estos ecosistemas intervienen en el aprovechamiento del Carbono atmosférico de dos formas: al secuestrarlo y modificarlo en materia viva durante la fotosíntesis y al retenerlo en el suelo. Los residuos orgánicos de la vegetación al llegar a la superficie del suelo se acumulan y forman capas de suelo abundante de materia orgánica, esta dependerá de la tasa de entradas y las salidas. (González et al., 2003, págs. 3-13). Además, son considerados reguladores de alteraciones naturales y antropogénicas, al actuar como controladores de la erosión del suelo y proveedores de amparo sobre cambios climáticos (González et al., 2003, págs. 3-13). En la zona de Llucud y Guayllabamba se encuentran los humedales de bosque alto andinos conocidos como bosques montanos altos o nublados, siendo considerados estos ecosistemas como vulnerables, ya que poseen una biodiversidad de alto grado de peculiaridad y son importantes porque contribuyen en almacenamiento de servicios eco sistémico y provisiones de materia prima para las comunidades aledañas; sin embargo, el provecho insostenible de la vegetación arbórea, la incorporación de especies exóticas y agrícolas y la supresión de otras, han causado modificaciones trascendentes de orden y composición de estos ecosistemas (MAE, 2015, págs. 5-164). El cuidado de los humedales de bosque alto andinos beneficiará de manera directa a las comunidades de Llucud y Guayllabamba e indirectamente a los cantones aledaños como Riobamba y Guano de la provincia de Chimborazo. La comunidad de Llucud se muestra interesado en la conservación de estos ecosistemas, ya que posee una alta biodiversidad y de ella depende la estabilidad ecosistémica en la zona; por tal razón se nos ha permitido realizar análisis del flujo de carbono (Caranqui, 2011, págs. 5-53).

Este proyecto de investigación se realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con el Aval del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y cambio climático (GIDAC),

en el proyecto “Medios de vida como Estrategia para la Planificación y Gestión en la Adaptación basada en Ecosistemas-PACHA”.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Cuantificar el flujo carbono en humedales de bosques de Llucud y Guayllabamba del flanco noreste del Parque Nacional Sangay.

1.5.2. Objetivo específicos

- Evaluar las condiciones fisicoquímicas y el secuestro de carbono orgánico en los humedales de los bosques.
- Determinar el estado de conservación del carbono orgánico en: biomasa aérea, subterránea.
- Valorar la incidencia de la respiración del suelo en el ciclo de carbono del humedal de bosque.

1.6. Planteamiento de hipótesis

1.6.1. Hipótesis nula

Los humedales de bosque en los sectores de Llucud y Guayllabamba en el flanco Noreste del Parque Nacional Sangay, presentan variaciones en el contenido de carbono y respiración del suelo.

1.6.2. Hipótesis alterna

Los humedales de bosque en los sectores de Llucud y Guayllabamba en el flanco Noreste del Parque Nacional Sangay, no presentan variaciones en el contenido de carbono y respiración del suelo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El ciclo de carbono en humedales de bosques llega a ser importante porque son acumuladores de carbono o más conocidos como sumideros de carbono (Astudillo, 2022, págs. 1-9); ya que proveen servicios ecosistémicos que benefician directa o indirectamente a la población, mediante el almacenamiento de carbono, la regulación del ciclo hidrológico, depuración de contaminantes, estabilización climática, mantenimiento de la biodiversidad y mitigación del cambio (Guerrero et al., 2022, págs. 19-28). La mayoría de los estudios de carbono se dirigen a ecosistemas como páramos, bosques, suelos y humedales, donde mencionan que estos ecosistemas son capaces de almacenar grandes cantidades de carbono porque son quienes presentan alto potencial de secuestro de carbono y por ende el reciclaje de CO₂ (Alvis et al., 2021). En el año 2016 se realizó el estudio de carbono en humedales altoandinos correspondientes a dos áreas protegidas del Ecuador (Reserva Ecológica Antisana y Parque Nacional Cajas) en la Cordillera de los Andes; donde se determinó alto contenido de carbono por el secuestro de carbono que realizan estos ecosistemas, por lo tanto, estos son ecosistemas importantes que deben conservarse ya que son vitales para el ciclo del carbono de la Tierra (Suárez et al., 2016, págs. 171-177).

Por otra parte, en el estudio denominado “Evaluación de los humedales de los sistemas lacustres en la Laguna Magdalena como sumideros de carbono” realizado en el Parque Nacional Sangay que se encuentra a una altitud de 3466 msnm; donde se estima un alto contenido de carbono (734,74 ton C/ha), debido a que este humedal es un ecosistema con aguas corrientes por lo que son importantes por la concentración de carbono, regulación hídrica, controlan la erosión del suelo y el mantenimiento de diversidad de especies (Chiluiza, 2020, págs. 3-86). Mientras que en el estudio denominado “Estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea, y en el suelo en un bosque de pino” realizado en la Comunidad Paquizhapa de la Provincia de Loja; menciona que la mayor concentración de carbono en esta especie se encuentra en biomasa aérea (60,01 ton C/ha) y en hojarasca (3,20 ton C/ha), donde se estima una acumulación significativa de carbono y el equilibrio de carbono en el ambiente (Sarango et al., 2020, págs. 1-126).

En la zona de LLucud mediante el estudio “Estimación de carbono en tres depósitos naturales de ecosistema herbazal de páramo en la microcuenca Cachipata de la comunidad de LLucud provincia de Chimborazo”, se estimó mayor carbono orgánico en biomasa aérea (0,88 kg/m²) y

menor cantidad en necromasa y biomasa subterránea (raicillas), por ende, es un buen acumulador de carbono por la diversidad de especies encontradas en la zona y quienes proveen servicios ambientales (Ruiz, 2018, págs. 50-65). Concluyendo así, que los estudios de carbono tanto en suelos, bosques andinos, humedales y otros ecosistemas son importantes, ya que estos ayudan al equilibrio del carbono en todo el ambiente y brindan servicios ecosistémicos importantes para la sociedad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cambio climático

Se denomina al conjunto de fenómenos ambientales como: el aumento de la temperatura global del aire y los mares, el deshielo de los glaciares y el ascenso del nivel medio del mar. Según, la IPCC estos fenómenos serían producto de las acciones del ser humano, considerando así que hoy en día vivimos en la época geológica conocida como antropoceno (FAO, 2015, págs. 1-35).

El cambio climático (CC) global es el principal problema ambiental que enfrenta la humanidad, ya que acarea consigo el aumento de la temperatura media del planeta, como resultado del incremento de los gases de efecto invernadero (GEI), principalmente el Dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido de nitrógeno (N_2O) (FAO, 2015, págs. 1-35).

La combustión de carburantes fósiles es la principal causa del cambio climático, pero también contribuye el ciclo del ácido tricarbónico (CTC) que produce tres moléculas de CO_2 por cambio. Por ende, las eucariotas y procariotas aportan significativamente cantidades de CO_2 , considerando así que una persona adulta puede generar un kilo de CO_2 al día y de igual modo los microorganismos de los suelos agrícolas (Pazet al., 2012).

En los últimos 1000 años se ha demostrado que la concentración de CO_2 tránsito de 280 a más de 360 mg/ kg en 200 años y que más del 50% de estas alteraciones se originó después de 1950, a una tasa de 0,8 mg/ kg por año. Considerando además la introducción de CO_2 a la atmosfera en los últimos 20 a 25 años por la quema de combustibles fósiles en un 75% y el 25% como resultado de los cambios de uso de suelo especialmente la deforestación (Burbano, 2018, págs. 82-96).

No obstante, los inconvenientes propios del cambio climático se pueden mitigar con la disminución de los GEI. Mediante el descenso de las emisiones antropogénicas y el

establecimiento y mejora de los sumideros de carbono en el ecosistema como la conservación de los bosques y la instauración de sistemas agroforestales (Burbano, 2018, págs. 82-96).

2.2.1.1. Gas de efecto invernadero

Los gases de invernadero o como más conocido como gas de efecto invernadero (GEI) son componentes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero, provenientes de origen natural y actividades antropogénicas, los principales gases de efecto invernadero son el H₂O (vapor de agua), CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso) y O₃ (ozono) (Cepssa, 2015, págs. 3-13).

Estos gases emitidos continuamente ocasionan mayor calentamiento de la superficie de terrestre, cambios en el clima global y cambios en la población y ecosistemas (Cepssa, 2015, págs. 3-13); estos efectos dependen de la concentración en la atmósfera, el tiempo que permanece y el nivel de impacto en la temperatura global (Cepssa, 2015, págs. 3-13).

2.2.1.2. Dióxido de carbono (CO₂)

El Dióxido de carbono (CO₂) es un gas carbónico con mayor concentración en la atmósfera (Lefevre et al., 2017, págs. 1-74). El CO₂ es derivado del carbono orgánico, el cual interactúa permanentemente en el sistema climático (Ugas et al., 2022, págs. 85-97). Este gas invernadero es producido por las condiciones de respiración de los macro y microorganismos, raíces vivas en la rizosfera y materia orgánica en descomposición proveniente de las plantas (Lefevre et al., 2017, págs. 1-74). El CO₂ tiene una relación importante con la respiración del suelo por lo que en el suelo se libera el CO₂ a la atmósfera por la oxidación de MOS; además el flujo de este gas es liberado por la fauna del suelo y las raíces subterráneas en el suelo (Lefevre et al., 2017, págs. 1-74).

2.2.2. Humedales

Los humedales son extensiones de terreno que se encuentran inundadas o saturadas con aguas que pueden ser dulces o con diferentes grados de salinidad, durante tiempos temporales o permanentes, los fundamentales componentes de los humedales son: el suelo, la vegetación y el agua (López et al., 2011, pág. 4).

2.2.2.1. Importancia de humedales

Los humedales son importantes porque almacenan carbono, brindan servicios ecosistémicos y beneficios de manera directa e indirecta a todas las poblaciones, debido a su alta biodiversidad y su productividad; además estos ecosistemas son muy productivos a partir de las plantas y su baja descomposición de materias orgánicas (Suárez et al., 2016, págs. 171-177). Los servicios ecosistémicos que brindan es la mitigación del calentamiento global (Astudillo, 2022, págs. 1-9); como la “regulación hídrica, conservación de agua dulce, depuración de contaminantes y estabilización climática” (Guerrero et al., 2022, págs. 19-28)

La Convención de Ramsar constata que los humedales son importantes a nivel global, pero también menciona que son ecosistemas frágiles debido a sus características únicas como en varias áreas de zoológicas, ecológicas, botánicas (Singh et al., 2020, págs. 30-40) Por otra parte, los humedales debido a su productividad tienen un alto valor económico por ello en varios lugares del mundo se considera zonas de interés para la recreación y el ecoturismo (Guerrero et al., 2022, págs. 19-28).

Sin embargo, los humedales han disminuido considerablemente debido a varias actividades antropogénicas como: deforestación, descarga de aguas residuales debido a las prácticas agrícola y el agotamiento de aguas subterráneas lo cual es suministrado para la humanidad (Singh et al., 2020, págs. 30-40). Es por esto que estos ecosistemas llegan a ser sensibles por lo que deben ser protegidos, a través de políticas, leyes y reglamentos estipulados por las autoridades gubernamentales como no gubernamentales y de esta manera contrarrestar con la degradación de los humedales (Singh et al., 2020, págs. 30-40). Por otra parte, la Convención Ramsar clasifica a los humedales como extensiones de pantanos, turberas, aguas naturales, estancadas o corrientes, aguas dulces o saladas, turberas, marismas, lo cuales no sobrepasen los 6 metros de profundidad (Singh et al., 2020, págs. 30-40).

2.2.2.2. *Humedales forestales*

Denominados también como humedales de agua dulce en Venezuela, humedales boscosos de agua dulce en Chile, humedal arbóreo y humedales de agua dulce dominados por árboles en México. Estos han sido definidos como zonas que se encuentran naturalmente inundadas o saturadas, que llegan a poseer cantidades representativas de vegetación boscosa, se encuentran principalmente en fosas tectónicas, fosas de quebradas u hondonadas donde el suelo presente malos drenajes (Correa et al., 2011, págs. 326-335).

Los humedales y ecosistemas forestales son importantes en el ciclo de carbono, a través de la captura y fijación de carbono hace que disminuya el efecto invernadero (Cruz et al., 2021, págs. 1-17). Lo que caracteriza a estos ecosistemas es absorber cantidades significativas de CO₂ (Dióxido de

carbono), denominándose como sumideros terrestres de carbono los cuales acumulan o almacenan la mitad de carbono terrestre los cuales son intercambiado en un cierto tiempo en la atmósfera; estos ecosistemas almacenan carbono en vegetación viva, en materia orgánica en descomposición y suelo, por lo que el flujo y su emisión se dan por la degradación de estos ecosistemas (Cruz et al., 2021, págs. 1-17).

2.2.2.3. *Humedales altoandinos en el Ecuador*

En el Ecuador se ha identificado los humedales en una superficie de 286,659, es decir el 86% pertenecen a las áreas protegidas y el 8% en la zona andina (Beltrán et al., 2022, pág. 92). La Convención de Ramsar clasifica a los humedales en tres criterios que son hidrológico, vegetativo y edafológico; por lo que en las zonas altoandinas se encuentran humedales conocidos como humedales lacustres, fluviales y pantanos (Beltrán et al., 2022, pág. 92). Es por ese motivo que (Guerrero et al., 2022, págs. 19-28) destaca estos 4 tipos de humedales:

- **Tipo I o humedal lacustre:** se trata de un humedal espejo de agua, se forma por la erosión glaciaria donde se mezcla el hielo y agua de escorrentía pluvial, acumulando así el agua en una zona.
- **Tipo II o humedal palustre/lacustre (mixto):** este humedal tipo pantano que se forma por la disminución del espejo del agua y la profundidad de la lámina del agua, por lo que se sedimenta y colmata el humedal.
- **Tipo III o humedal palustre semi colmatado:** se trata de un humedal de tipo pantano con una lámina de agua con una profundidad menor de 5 metros, por lo que estas zonas en su mayoría el contenido de la materia orgánica es abundante conocido como turba.
- **Tipo IV o humedal en estadio colmatado:** se trata de un humedal conocido como turba con una profundidad de agua menor 1 metros, debido a los sedimentos clásticos que es el césped.

2.2.3. *Carbono*

Se define carbono como un elemento químico clave para los compuestos de naturaleza orgánica que llega ser imprescindible porque forma parte del agua, atmósfera y suelo, es así que puede trasladarse en forma de un ciclo a través de estos reinos. Por otra parte, el carbono orgánico que se encuentra en ecosistemas terrestres tiene una relación entre la absorción del material muerto de una vegetación y su pérdida de descomposición (Burbano, 2018, págs. 82-96)

El carbono puede presentar varias combinaciones con otros elementos de la naturaleza como el nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno formando así las moléculas más fundamentales para la vida (Martínez et al., 2017) . La existencia del C en el planeta no es infinita por ende se conoce que este se difunde entre la materia orgánica y el ambiente fisicoquímico de manera continua; es así que el ciclo del carbono sucede a distintas escalas de espaciotemporales, que inicia por el nivel molecular y se traslada al organismo hasta llegar al nivel global (Martínez et al., 2017). El C, al unirse con el oxígeno, forma el bióxido de carbono (CO₂) que es un compuesto en estado gaseoso proveniente de procesos geoquímicos y biológicos, se encuentra presente en la atmosfera y es primordial para la regularización de la temperatura del planeta dado que posee propiedades como gas de invernadero (Martínez et al., 2017).

2.2.3.1. *Ciclo de carbono*

El ciclo de carbono es denominado como ciclo biogeoquímico porque el carbono se intercambia entre la biosfera, litósfera, hidrósfera y la atmósfera de la Tierra, quienes conforman los depósitos o almacenes de carbono; por lo tanto, el movimiento o la circulación de carbono entre los reservorios o depósitos se da por los procesos químicos, físicos, biológicos y los geológicos (Sánchez, 2019). Sin embargo, el ciclo de carbono se da a lo largo del tiempo y es imprescindible porque es el que regula el clima en el planeta (Sánchez, 2019).

La cierta cantidad de carbono se encuentra en el aire en forma de dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO₂), sabiendo que los organismos vivos cumplen un rol fundamental, formados por compuestos de carbono que se obtienen mediante el crecimiento y su desarrollo mediante los procesos metabólicos que realizan y se liberan al morir (Gurmendi et al., 2019, págs. 25-40). Es así como alrededor del 50% del peso seco de cualquier tipo de organismos constituyen el carbono, lo que hace que este elemento sea importante en la vida (Gurmendi et al., 2019, págs. 25-40).

Por lo que el ciclo de carbono permite conocer en que condición se encuentra la biósfera (salud de la biósfera); por lo tanto, el ciclo de carbono y el oxígeno están conectados porque son elementos importantes y significativos para la vida, además el oxígeno en la atmósfera terrestre establece las reacciones de óxido-reducción que se desarrolla en varios hábitats (Peña et al., 2013, págs. 45-75). Los organismos aprovechan y reciben el carbono y el oxígeno libres en la Tierra, que es vital en su composición para transformar a otros elementos como nitrógeno (N), Fosforo (P) y azufre (S) (Peña et al., 2013, págs. 45-75).

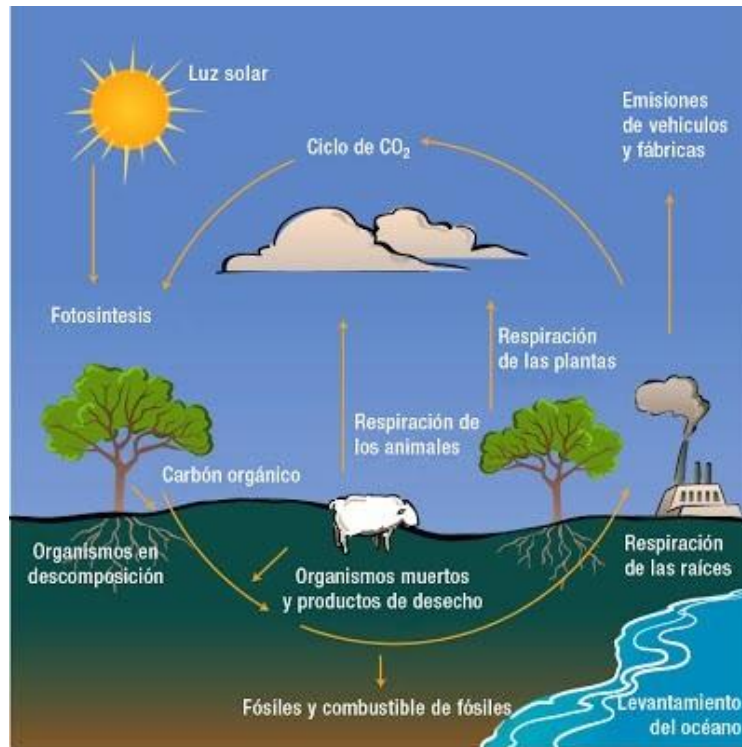


Ilustración 2-1: Ciclo de carbono

Fuente: (Peña et al., 2013, págs. 45-75).

El ciclo entre los depósitos o almacenes de carbono terrestres y la atmósfera, se da por los procesos más conocidos que son la fotosíntesis y la respiración; por lo que, empieza fijando CO₂ mediante la fotosíntesis de varios tipos de vegetación y algunos microorganismos (Burbano, 2018, págs. 82-96). En este proceso absorben el dióxido de carbono y agua para formar carbohidratos, liberando así oxígeno y acumulando carbono en diferentes ecosistemas como suelo, vegetación, etc.; por otra parte, el intercambio de CO₂ entre la vegetación y la atmósfera son bases para el balance neto entre el secuestro de carbono (Burbano, 2018, págs. 82-96).

Existen cinco formas de transformación del carbono en la naturaleza:

- Fotosíntesis: las plantas modifican el CO₂ atmosférico, o del agua en materia orgánica donde se transporta mediante las cadenas alimentarias, llegando a formar parte del cuerpo de estos seres vivos.
- Respiración: durante el proceso de respiración, los seres vivos que consumen materia orgánica devuelven el CO₂ a la atmósfera o al agua.
- Combustión: el carbono es agregado a la atmósfera mediante los procesos de reacciones químicas exotérmicas que producen la oxidación rápida de los compuestos combustibles, que se producen en los incendios forestales, el procesamiento de petróleo, gas natural o carbón, etc.

- **Descomposición:** reducción de los restos de los cuerpos animales o vegetales mediante procesos biológicos y químicos, transformándolos en materia más simple.
- **Liberación:** El transporte de carbono se da por disolución y la transformación del CO₂ de la atmosfera a los cuerpos de agua en forma de carbonatos debido a la presencia de los organismos marinos (IPCC, 2007, págs. 3-113).

2.2.3.2. *Captura y almacenamiento de carbono*

La captura del carbono se basa en capturar del carbono bruto que se encuentran en los troncos de los árboles, que permiten realizar cuantificaciones de la cantidad de carbono que se acumulan; además al almacenarse en los troncos se considera la eficiencia del proceso de acumulación y la madera, el producto, por lo que se considera su vida útil porque la CO₂ devuelto a la atmosfera será menos lenta (Valderrama et al., 2019, págs. 106-117).

La captura se da por 3 etapas o procesos:

- **Captura de CO₂ en la fuente:** captura el gas en la fuente y separarlo de otros gases emitidos que se generan principalmente por procesos industriales. Es por esto que la captación se debe realizar antes, durante y después de la combustión.
- **Transporte de CO₂ capturado:** se trata de reducir su volumen y lograr una presión necesaria para poder transportar a un tipo almacenamiento.
- **Almacenamiento de CO₂:** existe diferentes tipos de almacenamiento de carbono subterráneo que corresponden a una profundidad de 800 m donde la presión permite almacenar el gas a un menor volumen.

La captación y almacenamiento de carbono se da por la separación del CO₂ que son emitidos por la combustión de las industrias y lograr transportar y contenerlo a un ambiente subterráneo dentro de formas geológicas, además, la captura es una de las técnicas usadas para reducir las emisiones, así que es una medida de mitigación para el control y estabilización de los gases de efecto invernadero en la atmósfera (Valderrama et al., 2019, págs. 106-117).

2.2.3.3. *Sumideros de carbono*

El sumidero es conocido como un proceso donde absorbe o remueve el gas de efecto invernadero, un aerosol o simplemente un precursor de GEI en la atmosfera (Russo, 2009). Por lo tanto, los

bosques llegan a ser importantes para el flujo de carbono entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres (Keenan et al., 2018, págs. 219-243).

2.2.3.4. *Carbono en ecosistemas de alta montaña*

Los ecosistemas de alta montaña constan de varios ecosistemas como páramo, bosques altoandinos y humedales, que son sumideros de carbono y fuente de CO₂; estos ecosistemas se caracterizan principalmente por una variedad de vegetación (Peña et al., 2013, págs. 45-75). Los bosques según su altitud se dividen en dos tipos, como bosques andinos y altoandinos. Los bosques andinos están a una altitud de 1000 a 4000 msnm los cuales son sensibles y se pueden reducir fácilmente debido a actividades naturales como antropogénicas; por otro lado, los bosques altoandinos corresponden a la altitud de 3000 a 3500 msnm, los cuales se encuentran combinadas con otro tipo de vegetación, es así que ellos brindan servicios ecosistémicos (Andrade, 2019, págs. 5-50). Los bosques montanos que son parte de los ecosistemas de alta montaña son de vital importancia por la regulación hídrica y es por ello, que la eliminación de su cobertura, el remplazo por pastizales permite el desequilibrio de carbono y que afecta de manera indirecta para regular el ciclo hídrico (Peña et al., 2013, págs. 45-75).

En el año 2022, en Ecuador los bosques ocupan un total de 15'333.562 hectáreas lo cual ocupa alrededor del 59,8% del territorio nacional, sin embargo, el 7'620.780 hectáreas que corresponde a las áreas protegidas (Illanes et al., 2022, págs. 35-50). En el país la mayor concentración de bosques es de bosques siempre verde quienes capturan el carbono alrededor 1.533'168.425,46 Tn de CO₂ almacenado (Illanes et al., 2022, págs. 35-50).

2.2.3.5. *Bosques como sumidero de carbono*

Este ecosistema es considerado como sumideros de carbono ya que llega acumular aproximadamente el 80% de C, es por esto por lo que son acumuladores de carbono en grandes cantidades. Estos ecosistemas reducen las emisiones de carbono generadas por actividades antropogénicas (Keenan et al., 2018, págs. 219-243).

Por otra parte, el 62% de carbono en vegetación se encuentra en bosques tropicales de baja altitud, mientras que en el suelo se concentra aproximadamente el 54% correspondiente a bosques templados de alta altitud (Russo, 2009). Además, la capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques influye mucho por la temperatura, tipo de suelo, altura, crecimiento y desarrollo de esta vegetación, pendiente, entre otros, (Gurmendi et al., 2019, págs. 25-40). Por lo que, la cuantificación de

carbono permite conocer la capacidad de los sumideros porque son quienes capturan casi el 50% de CO₂ y los humedales capturan alrededor de 200 toneladas anuales (Keenan et al., 2018, págs. 219-243). Por eso una de las actividades a controlar es la deforestación, ya que pueden causar desequilibrios en la circulación del carbono, disminuir el área boscosa y la capacidad de almacenamiento de carbono es limitada (Keenan et al., 2018, págs. 219-243).

2.2.4. Suelo

El suelo se define como diferentes horizontes que a diaria cambian sus relaciones bajo varias influencias como: agua, aire y organismos vivo y muertos (Jaramillo, 2002, págs. 24). Por otra parte, el suelo y la vida terrestre tiene una relación directa, por lo que el suelo es uno de los recursos básicos que sustentan la vida, brindan un medio adecuado para el desarrollo de la vegetación, transforma los residuos orgánicos de la agricultura y acumulan carbono por cierto tiempo (Amaguaya, 2015, págs. 20-32). Es por esto que el suelo es un componente primordial del sistema climático en el planeta y es el segundo sumidero de carbono en la naturaleza luego de los océanos (Burbano, 2018, págs. 82-96).

2.2.4.1. Principales propiedades físicas del suelo

- **Densidad aparente**

La densidad aparente se conoce como la masa que contiene el suelo por la unidad de volumen, tratando de conservar la agregación natural (espacio poroso) (Cárdenas, 2015, págs. 38-45). Básicamente, es la relación directa con la composición mecánica, contenido de la materia orgánica, contenido de fragmentos de roca y la estructura del suelo; además, los suelos con texturas finas contienen menos densidad aparente y, en caso de textura gruesa, son más altos, la densidad aparente depende mucho de la textura del suelo (Cárdenas, 2015, págs. 38-45)

- **Textura**

La textura se define como el contenido relativo de partículas de distintos tamaños o el porcentaje de suelo en varios tamaño de partículas, además, está asociado a algunas de las propiedades como aireación, retención de humedad, permeabilidad, entre otros (Cárdenas, 2015). Según la edafología para definir la textura del suelo, las partículas del suelo se clasifican en dos tipos de elementos: elementos gruesos lo cual consiste en tamaño de diámetros > 2 mm y el elemento fino donde su tamaño es de < 2 mm (Cárdenas, 2015).

La textura hace referencia al tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla quienes se combinan y permiten categorizarlas al suelo alrededor de 12 texturas diferentes (Fernández et al., 2006, págs. 11-170). Mediante la textura del suelo se puede predecir el comportamiento físico del suelo, su facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes que los suelos puedan contener (Flores et al., 2010, págs. 3-54). Para su determinación se realiza mediante el triángulo o diagrama de las texturas donde se logra obtener las clases de texturas de una muestra de suelo en función a porcentajes de arena, limo y arcilla; sin embargo, el método más conocido y fácil de realizar es el método de la sensibilidad del tacto (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

Dentro de la textura se conoce tres partículas, esto según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (Luters et al., 2000, págs. 1-79), que son:

Tabla 2-1: Clasificación de las partículas de acuerdo su tamaño

NOMBRE DE FRACCIÓN	TAMAÑO (MM)
Arena muy gruesa	2,00 a 1,00
Arena gruesa	1,0 a 0,5
Arena media	0,5 a 0,25
Arena fina	0,25 a 0,10
Arena muy fina	0,10 a 0,002
Limo	0,05 a 0,002 mm
Arcilla	< 0,002

Fuente: (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- *Color*

El color del suelo se relaciona con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz, su determinación se debe a la cantidad y estado de los minerales como hierro manganesos y la materia orgánica (Flores et al., 2010, págs. 3-54). Además, es un indicador de los diferentes horizontes, este parámetro varía de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que se acumulen en el suelo dando como resultados varios tipos de color como suelos amarillos, marrón, rojo, además estos suelos pueden estar relación con la presencia de óxidos férricos (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

Para la determinación del color se realiza mediante la tabla de Munsell, el cual es conocido como un sistema de notación de color presentados por varios parámetros que nos una gama de colores presentados en función del brillo croma y matiz; para lo cual da el color rojo, marrón, negro o

gris son algunos de los colores referenciales y descriptivos del suelo, los cuales no son exactos, pero son significativos (Flores et al., 2010, págs. 3-54). Por esta razón, los científicos han establecido como un patrón de medición de color del suelo a la tabla Munsell o el sistema de notaciones de Color Munsell que permite comparar los suelos de cualquier parte del mundo (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

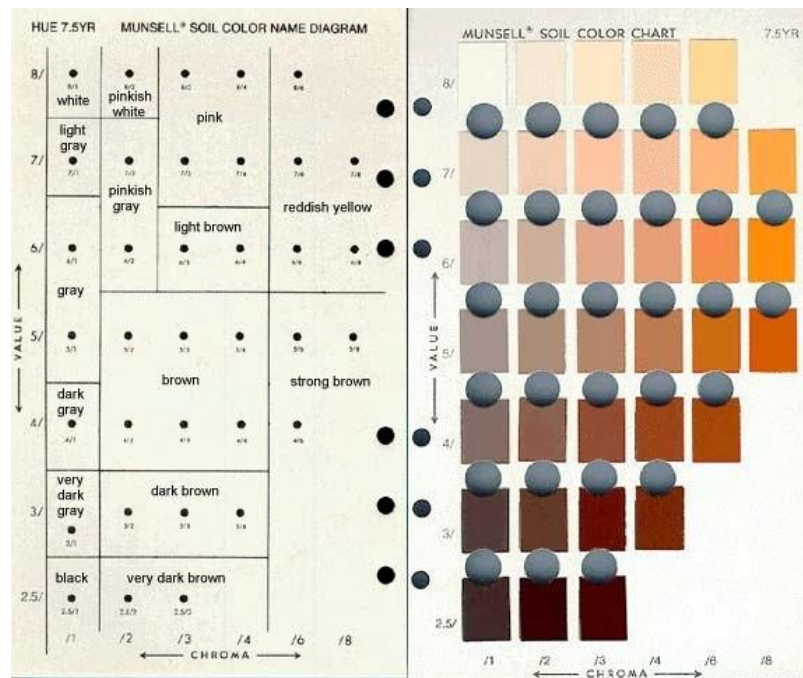


Ilustración 2-2: Determinación del color del suelo (Tabla Munsell)

Fuente: (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

La interpretación del color que varía en diferentes colores:

- **Color negro:** indica que el suelo es fértil, buena estructura y rica en actividad biológica debido a la materia orgánica que se descompone de las plantas que da el color negro en el suelo (presencia de carbonatos más materia orgánica) (Chiluiza, 2020, págs. 3-86).
- **Color rojo:** indica al proceso de alteración de las propiedades del suelo debido a la alta temperatura, baja cantidad de agua, rápida incorporación de materia orgánica con alto meteorización.
- **Color amarillo o marrón amarillento claro:** indican la baja fertilidad con presencia de óxidos hidratados (Fe^{3+}), además indican suelos de meteorización (Chiluiza, 2020, págs. 3-86).
- **Color marrón:** indica bajo contenido de materia orgánica por los intermedios de alteración de suelo, donde existe la presencia de óxidos de Fe y materiales orgánicos (Chiluiza, 2020, págs. 3-86).

- **Color blanco a ausencia de color:** indican la acumulación de minerales como dolomita, calcita, yeso, silicatos y sales; con presencia de CaCO_3 y MgCO_3 (Flores et al., 2010, págs. 3-54).
- **Color gris:** indica un ambiente anaeróbico donde el suelo se satura con agua y agotando el oxígeno en la porosidad del suelo.
- **Color verde:** indica el mal drenaje en los suelos con presencia de óxidos de Fe^{2+} .
- **Color azulado:** este color se observa más en zonas costeras y pantanosas en la cual existen el anión de sulfato, óxidos hidratados de Al (Aloisita) y fosfatos ferrosos hidratados; por lo que hay reducción de oxígeno y la saturación de agua (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

2.2.4.2. Principales propiedades químicas del suelo

- *pH*

El pH son las concentraciones de iones de hidrógeno son fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo por lo que existen tres condiciones de pH es decir si el suelo contiene más iones de hidrógeno el pH tiende a ser ácido mientras que existan mayor cantidad de iones de OH llegan a ser básicos y los neutros son en una misma proporción tanto H (hidrógeno) como OH (Fernández et al., 2006, págs. 11-170). Así que el pH determina suelos ácidos o alcalinos, por lo que para determinarlo en el suelo se determina en el agua según la metodología convencional (Fernández et al., 2006, págs. 11-170).

El pH consiste en el grado de acidez o basicidad de los suelos por lo que se puede determinar o cuantificar por medio del valor del pH de la disolución del suelo (Cárdenas, 2015, págs. 38-45). El pH en el suelo está relacionado e influenciado directamente por las plantas ya que son quienes afecta a los microorganismos del suelo, por lo que llegan a clasificarse de acuerdo al tipo del suelo (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

Tabla 2-2: Clasificación del pH según el tipo de suelo

PARÁMETRO	RANGO	INTERPRETACIÓN
pH	< 5,5	Ácido
	>5,5 –6,5	Ligeramente ácido
	> 6,5 –7,5	Prácticamente neutro
	> 7,5 –8,0	Ligeramente alcalino
	> 8,0	Alcalino

Fuente: (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- *Conductividad eléctrica*

La conductividad eléctrica se refiere a la capacidad de un cuerpo o medio para la conducción de la corriente eléctrica, lo cual permite el intercambio de partículas cargadas (Flores et al., 2010, págs. 3-54); en cuestión del suelo la conductividad eléctrica se refiere a la medida de la cantidad de corriente que pasa a través de la solución del suelo, es decir que está influenciada por la combinación de propiedades fisicoquímicos del suelo, contenido de la materia orgánica, textura del suelo, capacidad del intercambio catiónico, tipo de suelo, su humedad, entre otros (Flores et al., 2010, págs. 3-54) . Por lo que la determinación de este parámetro se usa para indicar la concentración de componentes ionizados, es decir, sales solubles están en el suelo donde determinan varias combinaciones de cationes y aniones (Cárdenas, 2015, págs. 38-45); es por esto que su determinación permite la caracterización de los suelos de acuerdo a la salinidad (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

Tabla 2-3: Clasificación de suelos según la conductividad eléctrica

PARÁMETRO	RANGO (us/cm)	RANGO (ds/m)	INTERPRETACIÓN
Conductividad Eléctrica	< 2,0	<0,35	No salino
	2,0 – 3,0	0,35-0,65	Ligeramente salino
	3,1 – 4,0	0,65-1,15	Salino
	4,1 – 8,0	>15	Muy salino

Fuente: (Cárdenas 2015).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- *Materia orgánica*

La materia orgánica del suelo (MOS) es la parte orgánica que consta tanto de residuos vegetales y animales en estado de descomposición (Amaguaya, 2015, págs. 20-32); por consiguiente, proveen nutrientes, influyen en la agregación del suelo y la infiltración de agua, lo cual es importante para el reservorio total de carbono orgánico en el suelo (Cabrera et al., 2019, págs. 30-50). Además, la cantidad de MOS depende de los aspectos ambientales como la vegetación, topografía, clima, la gestión silvícola y todas las actividades antropogénicas (Luza, 2014, págs. 97-105). Es por esto por lo que la materia orgánica cumple un rol fundamental en el suelo como un indicador de calidad del suelo tanto en funciones agrícolas y ambientales como la captura de carbono y calidad de aire (Luza, 2014, págs. 97-105).

Tabla 2-4: Porcentaje de materia orgánica en el suelo

Materia orgánica (%)	Interpretación
0-1	Muy bajo
1,1-2,9	Bajo
3-5,9	Medio
>9	Alto

Fuente: (Amaguaya, 2015).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

2.2.5. Método LOI (Loss On Ignition, calcinación) para cuantificar el carbono

El carbono orgánico es el principal elemento de la materia orgánica en el suelo (MOS), por tal razón existen métodos analíticos, los cuales son: método Walkley Black y el más común y fácil el método LOI o calcinación (Izquierdo et al., 2021, págs. 25-36). EL método LOI o calcinación consiste en la pérdida de peso por la ignición de la muestra del suelo (Barrezueta et al., 2020, págs. 29-35) y fue propuesto por Schulte y Hopkins en el año 1996. El objetivo de este método es determinar la MO (materia orgánica) a partir de diferencias gravimétricas tras someter a diferentes temperaturas en un intervalo de tiempo (Dabadie et al., 2018, págs. 157-162). Este método de calcinación es barato y fácil, que se basa en determinar el contenido de materia orgánica al perder peso de la muestra a altas temperaturas, tras conocer la cantidad de materia orgánica de la muestra se consigue calcular la cantidad de carbono; donde el contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) se puede determinar con la hipótesis de que la materia orgánica contiene un 58 % de carbono (Vinueza, 2015, págs. 4-110).

2.2.6. Medición de biomasa aérea y del suelo

Para estas mediciones se aplicará el Manual de Evaluación Nacional Forestal que permite un diseño de muestreo con una doble estratificación en el área del estudio, además de metodologías para medir la biomasa aérea, biomasa del suelo y recolección de suelo para bosques siempre verdes de tierras bajas de la Amazonía, bosques montanos, bosques secos, etc., lo que permitirá describir la diversidad florística y los servicios ecosistémicos (MAE, 2012, págs. 10-30).

El diseño de muestreo de doble estratificación consta de dos fases:

- En la primera fase se selecciona un área de estudio para seguidamente estimar el tamaño de los estratos de acuerdo a la población y la muestra, luego se define una rejilla de puntos de 1

km x 1km para establecer un conglomerado de parcelas. Esta rejilla se añadió sobre el mapa de estratificación y cada conglomerado se asignó a un estrato (MAE, 2012, págs. 10-30).

- En la segunda fase se selecciona muestras pequeñas para los estratos de los bosques donde se midieron y observaron las variables de interés mediante las parcelas de muestreo para derivar las estimaciones de cada variable. Luego se seleccionaron muestras al azar que se medirá en el campo donde se indicaron las muestras de campo (Rodríguez et al., 2013, págs. 1-199). En las mediciones de campo se utilizó un conglomerado de parcelas en forma de L, este diseño permite acceder y cruzar fácilmente entre las parcelas donde el giro es de 90°, además nos permite hacer ajustes de parcelas si es necesario y finalmente sus trazados y levantamiento son sencillo en zonas de alta montaña en el área de estudio (MAE, 2012, págs. 10-30). Para el levantamiento de información en campo se midieron 3 parcela por conglomerado puesto que son sencillo y rápidos para el respectivo muestreo (MAE, 2012, págs. 10-30).

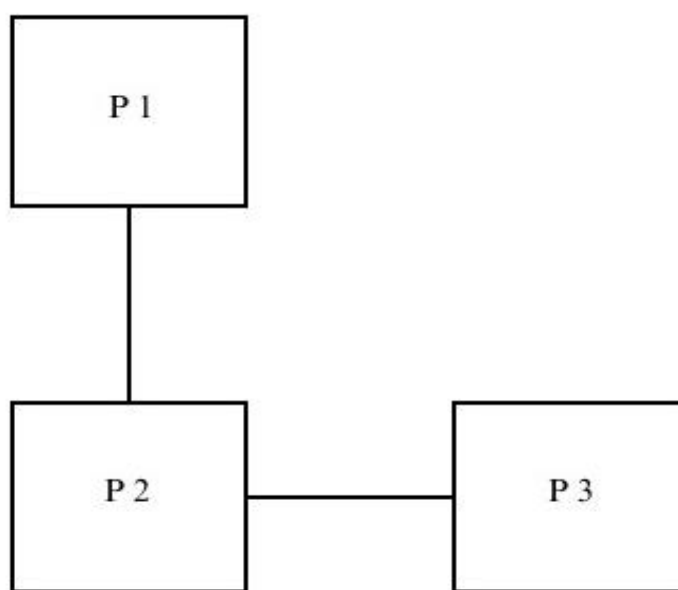


Ilustración 2-3: Distribución de las parcelas dentro del conglomerado

Fuente: (MAE, 2012, págs. 10-30).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

Las parcelas utilizadas son cuadradas de 60 m x 60 m, ya que esta forma es común para medir biomasa y la mayoría de vegetación (MAE, 2012, págs. 10-30). La distancia entre parcelas en el conglomerado es de 250 m. En cada parcela se realiza las respectivas mediciones y observaciones, para una buena eficiencia las parcelas tienen un diseño anidado con subparcelas con diferentes dimensiones como se muestra en la siguiente figura (MAE, 2012, págs. 10-30).

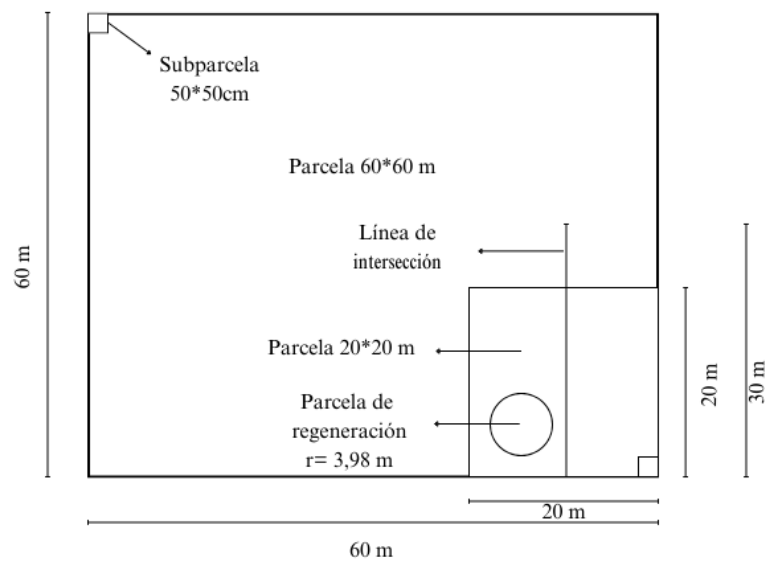


Ilustración 2-4: Distribución y tamaño de las parcelas

Fuente: (MAE, 2012, págs. 10-30).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

En las parcelas se midieron varios elementos por medio de las muestras en un punto o en líneas:

- En la parcela que corresponde de 60 x 20 m, se midieron todos los árboles vivos y muertos en pie, mayor de 10 cm de diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y la altura de los árboles.
- En la subparcela anidada la cual corresponde a 50 x 50 cm donde se registraron los pesos de sotobosques y hierbas/ arbustos menores a 5 cm de DAP. Esta subparcela se ubicó uno en la esquina Sureste y el otro en el Noroeste de la parcela principal (MAE, 2012, págs. 10-30).
- Para las observaciones y muestreo de las características del suelo, se evaluaron 5 calicatas en los extremos y centro de la subparcela de 10 x 10 m (MAE, 2012, págs. 10-30) .

2.2.7. Muestras de suelo

Las muestras de suelo son importantes para la cuantificación de carbono, sus características que se realizaran en el laboratorio respectivo dentro de una subparcela de 10 x 10m, teniendo en cuenta que para los estratos de bosques siempre verde andino de ceja andina de acuerdo a su particularidad de alto contenido de carbono se tomará muestras de suelo hasta 60 cm de profundidad por ende para este estudio se consideró 2 profundidades de 0-30 y 30-60 cm para diferenciar el contenido de carbono en estos estratos (MAE, 2012, págs. 10-30).

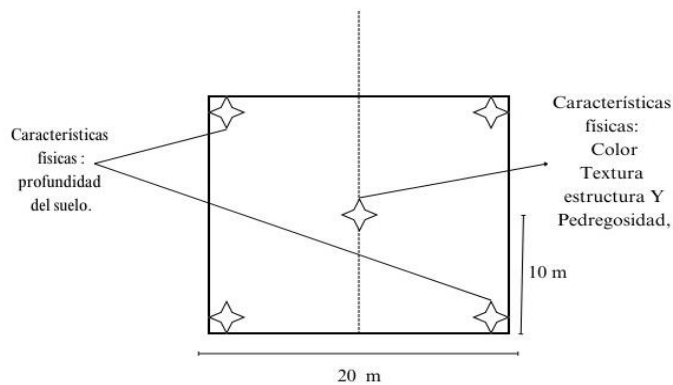


Ilustración 2-5: Ubicación de puntos para caracterización física del suelo

Fuente: (MAE, 2012, págs. 10-30).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

Es así que a cada profundidad se tomara tres muestras de suelo: la primera sirve para calcular el carbono orgánico, la segunda muestra que es tomada en cilindros para el carbono en raicillas y la tercera muestra en cilindros para calcular la densidad aparente del suelo (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59). Por lo que se debe lo siguiente: remover la hojarasca, mediante una olladora realizar una calicata para introducir los cilindros (MAE, 2012, págs. 10-30).



Ilustración 2-6: Introducción de cilindros en el perfil del suelo

Fuente: (MAE, 2012, págs. 10-30).



Ilustración 2-7: Extracción de cilindros del perfil del suelo

Fuente: (MAE, 2012, págs. 10-30).

2.2.8. *Biomasa aérea*

2.2.8.1. *Biomasa arbórea o forestal*

Para la medición de la biomasa aérea forestal sobre el suelo existen dos métodos conocidos: método directo e indirecto (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59). El método directo o también conocido como destructivo se utiliza para la construcción de ecuaciones alométricas y los factores de expansión, donde consiste cortar uno o varios individuos para determinar su biomasa de acuerdo al peso directo de cada uno de sus componentes como fuste, ramas y hojas para luego extrapolar los resultados para un área total y el siguiente método es el indirecto el cual se refiere a utilizar las ecuaciones alométricas que nos permitirá relacionar las dimensiones que se toman en campo con características de interés, es decir, utilizar una ecuación que permita calcular la biomasa total de un árbol mediante la medición de su diámetro (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59).

Estas ecuaciones se generan con una técnica estadística llamada análisis de regresión, donde las ecuaciones alométricas es para estimar la biomasa arbórea sobre el suelo están en función del tipo de vegetación y especie medida (plantaciones forestales en monocultivo, barbechos y bosques naturales o incluso para árboles dispersos) y tipo de componente (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59). Para esto se tomará en cuenta algunas variables que son importante como: DAP (diámetro de altura de pecho) y la altura comercial y total en cada parcela principal de 60 x 20 m.

2.2.8.2. *Medición del diámetro de los arboles*

- Para la medición del diámetro se debe realizar sobre la corteza a 1,3 m de altura de pecho (DAP), es así que se recomienda a las personas que realizan la medición conozcan el punto exacto de la altura (1,3 m) (MAE, 2012, págs. 10-30)
- A través de una cinta se registra los datos en centímetros y se debe tener cuidado que la cinta este totalmente estirada alrededor del árbol y evitar los bejucos enrollados que pueden obstaculizar a la medición
- Debe considerar la forma correcta de medición del diámetro en el campo en terrenos planos o si están bifurcado, donde debe iniciar sobre el extremo hacia donde está inclinado el árbol, por lo que debe ser perpendicular al eje central del tronco (MAE, 2012, págs. 10-30).

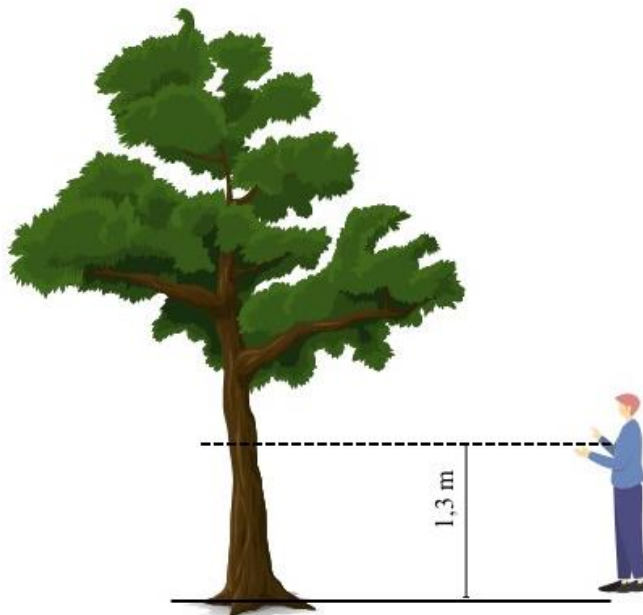


Ilustración 2-8: Medición del diámetro de forma correcta en terrenos planos

Fuente: (MAE, 2012, págs. 10-30).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

2.2.9. Determinación de biomasa herbazal o sotobosques

Esta determinación de biomasa es el complemento para la información de la biomasa aérea dentro de los estratos de bosques que son necesarios medir por el método destructivo (MAE, 2012, págs. 10-30).

- Se toma en cuenta para varios estratos y para los bosques del Ecuador sus mediciones en surales en una parcela de 50 x 50 cm.

- Donde se procede a cortar todo el material vivo ≤ 10 cm de DAP (≤ 5 cm para ceja andina) al ras del suelo hasta los bordes exactos de la subparcela. Seguidamente se pesará el total de material recolectado (1kg) para luego llevarlo al laboratorio (MAE, 2012, págs. 10-30).

2.2.10. Biomasa subterránea o raicillas

Hace referencia toda la biomasa de las raíces vivas, donde las raíces finas son de menos 2mm de diámetro, es decir que no se puede distinguir de la materia orgánica del suelo o la hojarasca, para su recolección se realiza mediante los cilindros a 30 cm de profundidad introduciendo de manera horizontal en unas calicatas realizadas en la subparcela de 10 x 10 m (MAE, 2012, págs. 10-30).

2.2.11. Respiración del suelo

La respiración del suelo se conoce como la producción total de CO₂ (por unidad de área y el tiempo), en suelos no alterados por organismos edáficos, raíces, hifas, etc., (Toledo et al., 2020, págs. 151-165). Además, la respiración del suelo se regula por dos factores como bióticos y abióticos: la temperatura, estructura de vegetación, contenido hídrico y de nutrientes, actividad fotosintética y, por último, la biomasa de las raíces finas y microbiana (Lefevre et al., 2017, págs. 1-74). La respiración del suelo consta de dos componentes como respiración autotrófica y heterotrófica (Toledo et al., 2020, págs. 151-165).

- **Respiración autotrófica:** Se refiere al catabolismo de las raíces vivas y los microorganismos unidos a la rizosfera y la respiración de las raíces de las plantas (Toledo et al., 2020, págs. 151-165).
- **Respiración heterotrófica:** Es originado por los microorganismos que existen en el suelo que son por la descomposición de los detritos y la materia orgánica, esto por parte de los organismos del suelo (Toledo et al., 2020, págs. 151-165). Además, la respiración heterótrofa implica a la actividad biológica de varios microorganismos como bacterias, hongos, algas y macro organismos como insectos, lombrices, nematodos y colémbolos (Bracamontes et al., 2018). Sabiendo que los organismos heterótrofos edáficas se alimentan de la materia orgánica del suelo para la obtención de la energía que necesitan para el proceso de metabolismo (Bracamontes et al., 2018).

Es por esto que la respiración del suelo llega a ser crítica en la determinación de los fenómenos ecológicos, como funcionamiento de plantas y concentración de CO₂ (Toledo et al. 2020). Por otra parte, se considera positivo porque indican la actividad microbiana y la calidad suelo por ende se

considera una herramienta para monitorear la calidad de suelo en agro ecosistemas (Bracamontes et al., 2018).

2.2.11.1. *Oxitop-IDS Set 6*

Este equipo es un respirómetro manométrico, generalmente diseñado para determinar la demanda biológica de oxígeno de las aguas residuales (DBO), además se ha logrado determinar con la ayuda de estos equipos la biodegradabilidad de la materia orgánica disuelta, que se pueden encontrar en las aguas residuales e hidrolisis (Ramírez et al., 2021, págs. 1-8). Para análisis de suelo se ha implementado esta técnica para determinar la mineralización de la materia orgánica, respiración y actividad microbiana, debido a que este equipo registra las presiones producidas por los gases que intervienen en los procesos de digestión anaeróbica, es decir el consumo de oxígeno en un sistema cerrado (Ramírez et al., 2021, págs. 1-8). El equipo de Oxitop consiste en un conjunto de 6 frascos constituidos por: un control, cabezal medidor y la base agitadora, en los cabezales se puede controlar su funcionamiento como: calibraciones, ensayos, evaluación de muestras, configuración de mediciones (Ramírez et al., 2021, págs. 1-8).

2.2.11.2. *Factores que afecta a la respiración del suelo*

- *Humedad*

En el suelo hace refiere a la existencia o no de agua subterránea, es decir la cantidad de agua por volumen de suelo; además es importante para la descomposición de la materia orgánica y la formación de gases de efecto invernadero (Flores et al., 2010, págs. 3-54). La respiración llega a incrementar debido a la humedad encontrada entre 50 y 70% y si esta por los 30% deduce que hay una menor actividad microbiológica (Flores et al., 2010, págs. 3-54); el contenido alto de agua indica algunos problemas como el reducir la actividad de algunos organismos edáficos y acrecentar las emisiones de metano (Flores et al., 2010, págs. 3-54)

- *Temperatura*

Es importante para el monitoreo de crecimiento microbial lo cual varía de acuerdo a la estación del año, también se ve afectado la concentración de la humedad, porosidad, color, la densidad, textura y el contenido de materia orgánica y agua (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

Para la medición de estos parámetros se realizará por medio de un termo higrómetro con Datalogger Temperatura y Humedad, el cual como su nombre mismo lo menciona es un datalogger que registra datos de temperatura y humedad de diversos sitios como el ambiente, suelo, invernaderos, almacenes, zonas climatizadas, etc (Cárdenas, 2015, págs. 38-45). El termo higrómetro Elitech RC-4HC es uno de los instrumentos más sencillos de utilizar y muy práctico ya el registro de datos se puede realizar al tiempo programado. Para ver los datos almacenados registrados se ayuda de un software y nos da a conocer la humedad y temperatura registrada.

2.2.11.3. *La respiración del suelo en ecosistemas forestales*

Dentro del flujo de carbono, unos de los factores importantes es la Respiración del suelo (Rs) (Chen et al., 2017, págs. 103-115); dentro de un ecosistema forestal la respiración del suelo es el resultado de respiración autótrofa y heterótrofa (Hanson et al., 2000, págs. 115-146). La estimación de la Rs está asociada cada tanto al horario como diurno o nocturno y también a las estaciones, ya que es importante para las interpretaciones correctas de los cambios que puede presentar los factores abióticos, bióticos y las respiraciones anuales en ecosistemas forestales (Braendholt et al., 2017, págs. 1603-1616). Los cambios ambientales producen notables variaciones en la Rs y para comprenderlos se debe identificar los factores que causan impacto en el ecosistema forestal y los efectos que producen en las variaciones de emisión (Ramírez et al., 2008, págs. 4381-4393).

Si bien se conoce que factores abióticos como la temperatura y humedad y otros regulan las variaciones de Rs a escala de parcela en ciertas zonas (Adachia et al., 2017, págs. 97-104), existe muy poca información de los efectos que produce la vegetación y la retribución del carbono en el suelo sobre la Rs (Hursh et al., 2017, págs. 2090-2103). Las variaciones de la acumulación del carbono en el suelo están asociadas a las cantidades de materia orgánica que entran en las cuales se debe tomar en cuenta para la Rs (Hursh et al., 2017, págs. 2090-2103). Por lo antes mencionado, la pérdida de materia orgánica del suelo por oxidación producirá un aumento de emisiones de CO₂ atmosférico y a la vez contribuyendo al calentamiento global; por otra parte, los aumentos de materia orgánica del suelo disminuirán las emisiones de CO₂ atmosférico, ayudando a una retroalimentación negativa del calentamiento global (Adachia et al., 2017, págs. 97-104); Así pues, la Rs está asociado con el carbono que se encuentra en el suelo. La vegetación afecta a la Rs por medio de la respiración y exudación de las raíces de la planta y también por los aportes de residuos vegetales al suelo como la hojarasca, que es uno de los componentes esenciales de carbono orgánico en el suelo (COS) (Xu et al., 2016, págs. 16-28).

2.2.11.4. La respiración del suelo en humedales forestales

En los ecosistemas de humedales los estados de inundación permiten acumular cantidades representativas de carbono, pero también provocan la producción y emisión de dióxido de carbono (CO₂) y Metano (CH₄) esto se puede dar tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas (IPCC, 2001, págs. 35-135), las emisiones de estos gases al medio ambiente contribuyen al calentamiento global.

Las actividades del hombre pueden alterar a los reservorios de carbono en los humedales forestales y en el intercambio de gases de efecto invernadero (GEI) con la atmosfera (Roulet, 2000, págs. 605-615). Por ejemplo la intervención del ganado en los humedales disminuye significativamente la biomasa aérea, la productividad primaria neta y produce mayores emisiones de CH₄ en los humedales de la meseta tibetana de Qinghai en China (Hirota et al., 2005, págs. 5255-5259), se ha presentado mayores concentraciones de CO₂ a nivel global esto se debe primordialmente por el cambio de uso desuelo y el consumo de combustibles por lo que reportan cinco veces más de emisiones de CO₂ en pastizales de ladera que en suelos pantanosos, que son casi similares (Hernández et al., 2018, págs. 5-16).

2.2.12. Coeficiente de correlación r de Pearson

La correlación es un método estadístico también conocido como coeficiente de correlación del producto-momento, representado por (r) (Fiallo, 2021, 2006, págs. 2491-2509). Obtenido como resultado medidas numéricas entre dos variables cuantitativa lo cual permiten describir su relación (Fiallo, 2021, págs. 2491-2509).

Las principales características que presenta son: correlación entre las variables, fuerza o intensidad y relación positiva o negativa. Donde la correlación positiva o directa significa el incremento de la relación entre las dos variables, mientras que la correlación negativa o indirecta significa inversamente proporcional (Fiallo, 2021, págs. 2491-2509).

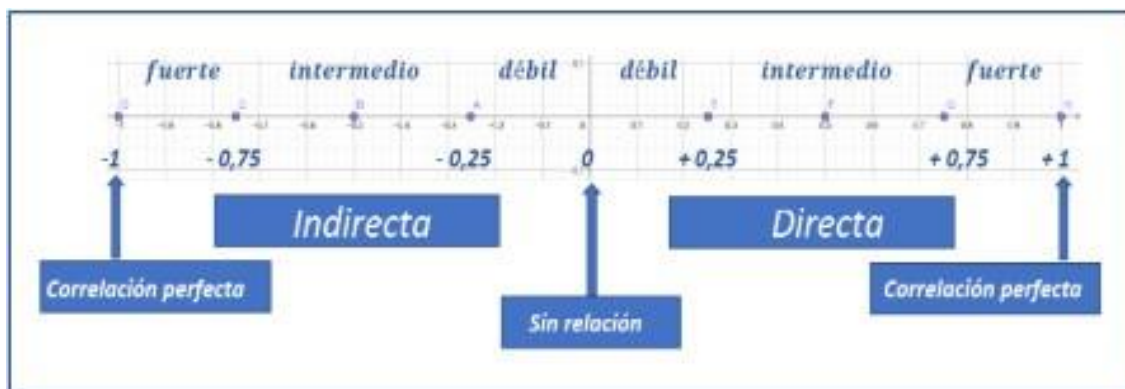


Ilustración 2-9: Interpretación de la correlación de Pearson

Fuente: (Fiallo, 2021, 2006, págs. 2491-2509).

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Flujo de carbono

El flujo de carbono se refiere a los procesos que alteran el stock de carbono y la respiración del suelo que está compuesta por respiración autótrofa (árboles) y heterótrofa (hojarasca, madera muerta, suelo) (Honorio et al., 2010, págs. 7-44). Es así que el flujo tanto en la superficie terrestre y atmósfera tiene un balance entre el flujo del cambio de uso del suelo (positivo) y un componente residual (negativo) por los sumideros de carbono (Martínez et al., 2004).

2.3.2. Humedales de bosques

En el año 2011 se menciona que los humedales de bosques son más conocidos como: humedales forestales, humedales boscosos o humedal arbóreo quienes representan un ambiente con características de bosques y humedales debido a la transición de comunidad terrestre y ambiente acuáticos (Correa et al., 2011, págs. 326-335); además son zonas inundadas saturadas que presentan vegetación arbórea y son ecosistemas que absorben grandes cantidades de CO₂ acumulando la mitad de carbono terrestre (Cruz et al., 2021, págs. 1-17).

2.3.3. Respiración del suelo

La respiración del suelo (R_s) es la medida de cantidad de CO₂ en la atmósfera y que tienen importancia en el calentamiento global. Además, a la R_s también se le denomina como el flujo de CO₂, es así que es el segundo flujo de carbono importante entre la tierra y la atmósfera, siendo uno de los componentes del ciclo de carbono (Yané et al., 2017, págs. 1-22); además, los factores como: humedad, temperatura, precipitación, contenido de nutrientes en el suelo, el tipo de

vegetación y la concentración de oxígeno son los que regulan la respiración del suelo (Lefevre et al., 2017, págs. 1-74). Por otra parte, que a cambios insignificantes afecta a la dinámica global del carbono (Wei et al., 2014, págs. 119-125).

Mediante los procesos biológicos producen CO₂ del suelo, teniendo en cuenta la respiración de raíces y organismos edáficos, también la descomposición de la materia orgánica y la oxidación química de compuestos de carbono (Moitinho et al., 2015). Por lo que el efecto de cambio climático es dado por las altas temperaturas y cambios de precipitación (Lefevre et al., 2017, págs. 1-74).

2.4. Base legal

2.4.1. Constitución de Ecuador

La Constitución de Ecuador con registro oficial 449 de 20-oct.-2008 y su última modificación el 25 de enero de 2021, menciona las prioridades de la conservación, preservación de ecosistemas y derechos de capital ambiental en los siguientes artículos:

Art. 14.- “Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” (Constitución del Ecuador, 2008).

Art. 57.- “Conservar y promover sus prácticas de manejo de la biodiversidad y de su entorno natural. El Estado establecerá y ejecutará programas, con la participación de la comunidad, para asegurar la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad” (Constitución del Ecuador, 2008).

Art. 71.- “El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema” (Constitución del Ecuador, 2008).

Art. 276.- “Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural” (Constitución del Ecuador, 2008).

Art. 395.- “El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras” (Constitución del Ecuador, 2008).

Art. 406.- “El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros” (Constitución del Ecuador, 2008).

Art. 414.- “El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo” (Constitución del Ecuador, 2008) .

2.4.2. *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)*

TULSMA está compuesto por IX libros donde establecen políticas para la protección del ambiente en el Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2017), por lo que se menciona varios libros que se relacionan con nuestra investigación.

El Libro III (Régimen forestal) en su Título II del régimen forestal y en el Título IV de los Bosques y Vegetación Protectores, menciona la importancia, protección, conservación, desarrollo sostenible y un manejo sustentable de estos ecosistemas (Ministerio del Ambiente, 2017).

2.4.3. *Ley de Gestión Ambiental*

Se registró oficialmente con suplemento 418 el 10 de septiembre de 2004, donde tiene por objetivo establecer principios y directrices la política ambiental (Ministerio del Ambiente, 2004); por lo que es importante para la conservación de ecosistemas a estudiar donde se muestra en los siguientes artículos:

Título II: del Régimen Institucional de la gestión ambiental

Art. 7.- “La gestión ambiental se enmarca en las políticas generales de desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

que establezca el presidente de la República al aprobar el Plan Ambiental Ecuatoriano. El Plan Ambiental Ecuatoriano contendrá las estrategias, planes, programas y proyectos para la gestión ambiental nacional y será preparado por el Ministerio del ramo” (Ministerio del Ambiente, 2004).

Art. 12.- menciona que un estado del sistema descentralizado de gestión ambiental tiene la obligación de “Regular y promover la conservación del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales en armonía con el interés social; mantener el patrimonio natural de la Nación, velar por la protección y restauración de la diversidad biológica, garantizar la integridad del patrimonio genético y la permanencia de los ecosistemas” (Ministerio del Ambiente, 2004).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El diseño de investigación para este proyecto fue el método cuantitativo debido a los análisis de muestras de suelo y el secuestro de carbono en diferentes depósitos como: suelo, biomasa aérea, raicillas y sotobosque; tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos y la respiración del suelo. Posteriormente son utilizados en el método estadístico correlación de Pearson para determinar la relación del flujo de carbono entre las variables antes mencionada.

3.2. Área de estudio

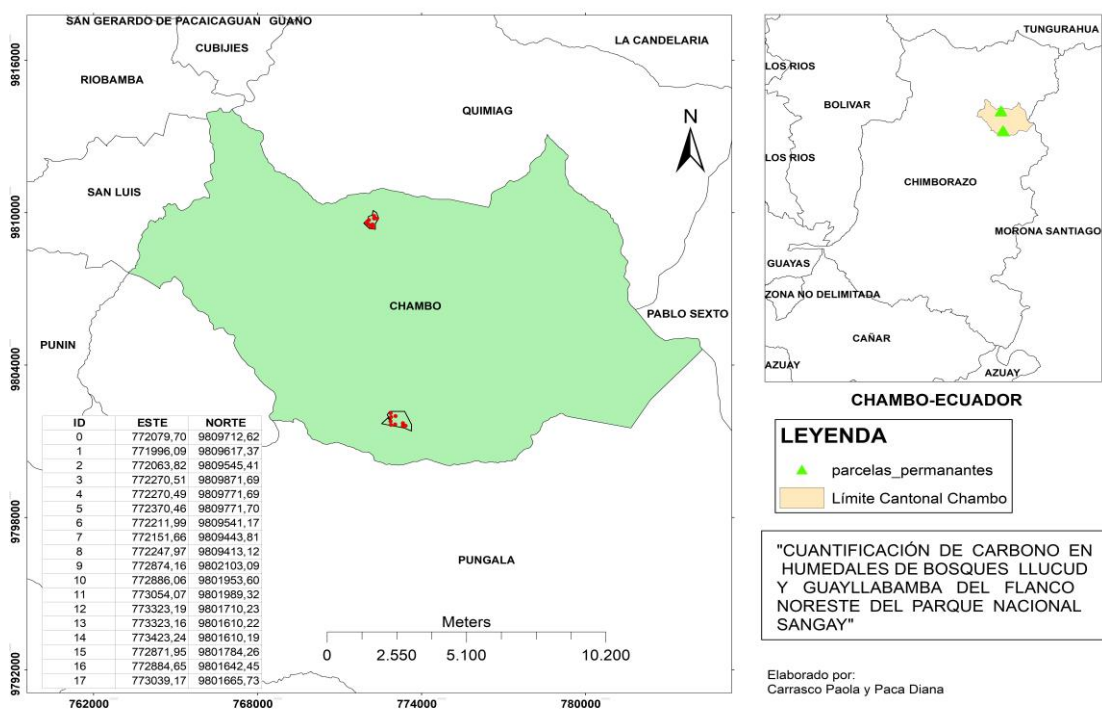


Ilustración 3-1: Mapa del área de estudio del cantón Chambo

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

La presente investigación se llevó a cabo en los bosques del cantón Chambo ubicado en la zona de amortiguamiento del flanco Noreste del Parque Nacional Sangay. Sabiendo que el Parque Nacional Sangay es una de las áreas protegidas más extensa, se ubica en el centro región andina del Ecuador (Rivera et al., 2006, págs. 5-329).

Como menciona Mena el Parque Nacional Sangay cuenta con nueve zonas de vida que son: “Páramo Pluvial subandino, Bosque húmedo montano, Bosque muy húmedo montano, Bosque Pluvial montano, Bosque húmedo montano bajo, Bosque muy húmedo montano bajo, Bosque Pluvial montano bajo, Bosque muy húmedo premontano y Bosque Pluvial premontano; y dos pisos altitudinales: andino y niva” (Mena, 2011, pág. 386). Además, se ha realizado una clasificación vegetal de la Sierra según varios sectores como: sector norte y centro de la Cordillera Oriental y Occidental, sector sur de la Cordillera Oriental, estribaciones de la Cordillera Oriental y sector de las Cordilleras Amazónicas (Rivera et al., 2006, págs. 5-329).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población de estudio

La población de estudio consta de dos bosques andinos en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Sangay. El bosque perteneciente a Guayllabamba que se encuentra a una altitud aproximadamente de 3,100 msnm con un área de 30,346422 ha, el bosque LLucud se encuentra alrededor de 3,300 msnm con un área de 20,146826 ha, los cuales se ubican en el cantón Chambo provincia de Chimborazo. Con un área total de estudio de 50,4932 hectáreas.

3.3.2. Tamaño de la muestra

Tras conocer el área se calcula el número de parcelas necesarias, para lo cual se usa la ecuación para muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas.

$$n = \frac{Z^2(p \cdot q \cdot N)}{d^2(N - 1) + Z^2pq}$$

Ecuación 3-1: Tamaño de muestra

Dónde:

N=Tamaño población

p= probabilidad de que un evento suceda

q= probabilidad de que el evento no suceda

Z= Valor obtenido mediante niveles de confianza. Se toma en relación al 99% de confianza equivale a 2,58 (como más usual).

d= precisión (este valor toma valores de 1% (0,01)).

El tamaño de muestra es de tipo probabilístico, es decir cada muestra tiene la misma probabilidad de ser seleccionada (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59). Como resultado, se obtuvieron 18 puntos de muestro para determinar la biomasa área y subterránea, parámetros fisicoquímicos y respiración del suelo.

3.4. Metodología

Para la cuantificación del carbono en el parque Nacional Sangay de los sectores de Llucud y Guayllabamba se realiza una investigación en tres fases metodológicas de la siguiente forma: Fase de Campo, Fase de laboratorio y la fase de análisis de datos.

3.5. Fase de campo

3.5.1. Recolección de datos

Mediante la recolección de datos en las dos zonas específicas del Parque Nacional Sangay, se midieron los diámetros y alturas correspondientes a la biomasa arbórea, y se tomaron muestras para la determinación de la biomasa de raíces y suelo para el respectivo análisis en el laboratorio.

3.5.2. Equipos y materiales

3.5.2.1. Equipos

- GPS.
- Cinta métrica de 50 metros.
- Cinta métrica de 1 metro.
- Data Logger (Temperatura y Humedad)

3.5.2.2. Materiales

- Estacas.
- Piola.
- Fundas Ziploc grande.
- Machete.
- Combo.
- Barreno.

- Balanza.
- Espátula
- Cinta de embalaje
- Pala
- Olladora

3.5.3. *Métodos*

3.5.3.1. *Recolección de muestras de suelo*

- Las muestras se seleccionaron mediante muestreo aleatorio simple en una parcela de 10 x10m.
- Mediante un barreno se extrajeron muestras (suelo) a profundidades requeridas: 0-15 cm (respiración del suelo) y 0-30 cm, 30-60 cm (carbono y parámetros fisicoquímicos); ya que a estas profundidades los cambios de contenido de carbono son más notorios de acuerdo al IPCC.
- Se introdujeron las muestras en fundas ziploc debidamente etiquetadas y selladas para transportarlas al laboratorio (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59).

Las muestras para la densidad aparente se realizaron de la siguiente manera:

- En cada parcela se removió la hojarasca hasta obtener el suelo limpio.
- Mediante la olladora se realiza calicatas hasta una profundidad de 60 cm, para introducir los cilindros de forma horizontal a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm).
- Se extrae el cilindro con muestra de suelo y luego se procede sellar herméticamente para que no pierda la humedad.
- Se recolectaron 6 muestras por cada conglomerado y luego se llevaron las muestras al laboratorio para sus respectivos análisis (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59).

En total, se recolectaron 36 muestras de suelo a dos profundidades mencionadas para determinar el carbono orgánico del suelo (COS), además se usaron cilindros para recoger diferentes muestras de suelo en cada parcela y a cada profundidad para evaluar la densidad aparente y raicillas, por lo que se recolectaron 108 muestras; el muestreo se realizó en días y semanas para que no exista ningún daño y contaminación en cada muestra.

3.5.3.2. Recolección de datos para la biomasa área

- *Medición del diámetro a la altura del pecho (D.A.P)*

La circunferencia del árbol a la altura del pecho (D.A.P) se puede determinar mediante el uso de una cinta métrica o de una forcípula que ayuda a medir la circunferencia que posee el árbol. Por lo general la medición se realiza a una altura de 1,3 metros; sin embargo, se tiene en cuenta que el DAP del árbol se mide con la corteza por lo que su altura de referencia es de 1,3 m sobre la base del árbol (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59). Para la determinación de DAP se emplea la siguiente fórmula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Ecuación 3-2: Diámetro a la altura del pecho

Dónde:

DAP= Diámetro a la altura de pecho.

CAP= Circunferencia a la altura del pecho.

π = 3.1416.

- *Medición de alturas*

La altura de un árbol se define como la distancia entre el pie del árbol que está a nivel del suelo y la parte final del tallo (Morales et al., 2019, págs. 1-186), la medición de las alturas se puede hacer con equipos especializados que proporcionan datos automáticamente, los más utilizados son los clinómetros o hipsómetros (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59) en este estudio se utilizó un distanciómetro.

- *Medición biomasa de sotobosque, arbustos, hierbas/ cultivos*

De acuerdo con el ENF el procedimiento para el muestreo de sotobosques es el siguiente:

- Se selección dos subparcelas de 50 x 50 cm ubicado en esquinas de la parcela principal.
- Se cortó el material vegetal vivo menor a 10 cm de DAP al ras de suelo hasta los bordes de la subparcela.
- El total del material fue pesado en una balanza y registrado el peso de la humedad en campo.
- Se tomaron una muestra representativa del material vegetal alrededor de 1 kg y fue llevado al laboratorio para obtener el peso seco.

3.6. Fase de laboratorio

Para el cumplimiento de los objetivos en la investigación se utilizó las metodologías del Manual de Metodologías para Análisis de Suelo del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático- GIDAC de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.6.1. Análisis de suelo

3.6.1.1. Determinación de pH y conductividad eléctrica

- Para su determinar el pH en el suelo se determina en el agua según la metodología convencional que es potenciómetro.
- Se pesaron 20 g de suelo en un vaso plástico, luego se agregó 80 mL de agua destilada.
- Se procedió agitar con la varilla por 10 minutos aproximadamente (muestra + agua) y dejar en reposo durante 5 min hasta su sedimentación.
- Llevar al peachímetro para su respectiva medición (Fernández et al., 2006, págs. 11-170).
- Mientras que la conductividad eléctrica se mide después de 24 horas (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

3.6.1.2. Determinación del tipo de color

Para la determinación del color del suelo se utilizó la tabla o cartas estándar de color conocida como tabla de Munsell donde incluyen tres características y un nombre para cada color (Flores et al., 2010, págs. 3-54). El procedimiento fue el siguiente:

- Después del secado y pulverizado de las muestras de suelos se tomó alrededor de 20 g de suelo.
- A través de la Tabla de Munsell se identificó la numeración de color de suelo a diferentes profundidades.
- Se procede a registra el matiz (numerador) y croma (denominador), para definir el color.

3.6.1.3. Determinación de textura

Para su determinación se utilizó el método de textura por tacto y el procedimiento fue el siguiente:

- Se tomó una muestra aproximadamente de 25 g, para humedecerla hasta que sea maleable.

- Seguidamente se trató de hacer una cinta para verificar en el diagrama del método de textura por tacto; y por último determinar la clase de textura correspondiente Ver (Ilustración 2-4).

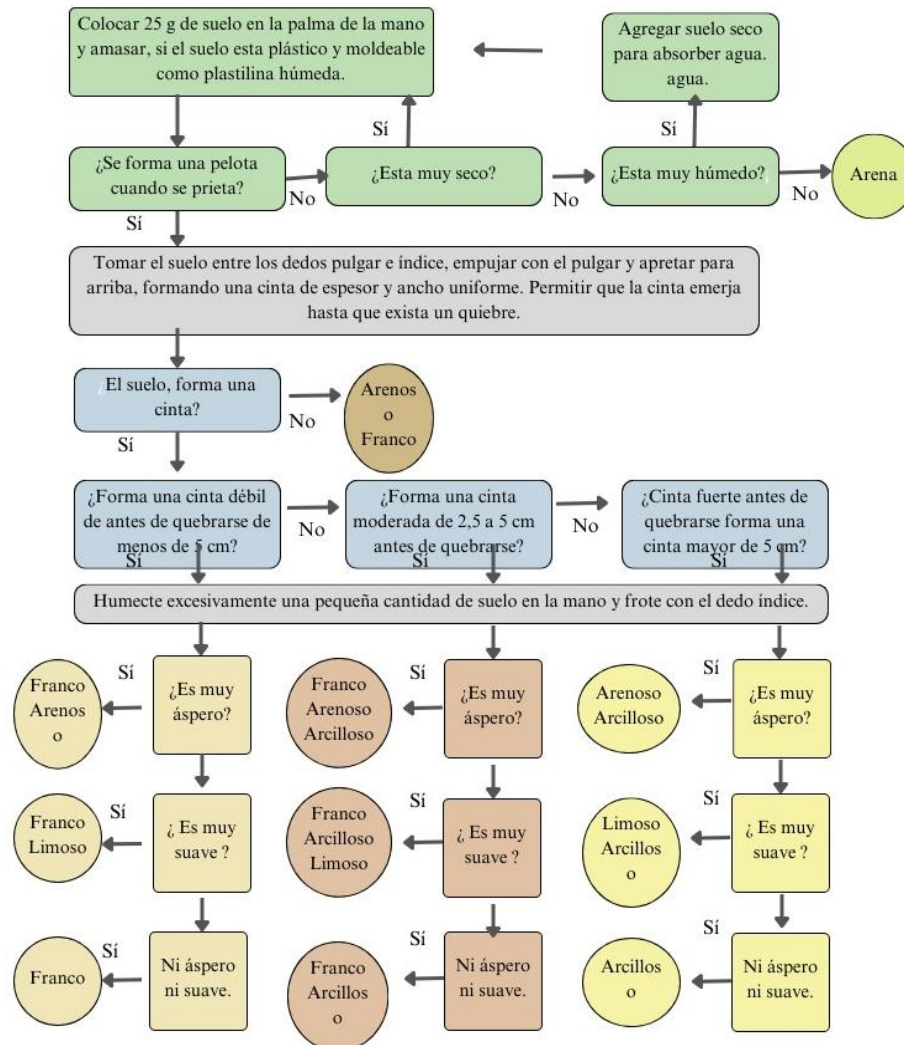


Ilustración 3-2: Procedimiento de textura por tacto

Fuente: (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

3.6.1.4. Determinación de la densidad aparente del suelo

Para determinar la densidad se realiza mediante el método del cilindro con un volumen conocido y se realizó el siguiente procedimiento en el laboratorio:

- Se pesa la muestra de suelo del cilindro
- Se introduce a la estufa durante 24 horas a una temperatura de 105 °C.
- Posterior al secado se deja enfriar en el desecador y se obtiene el peso seco.

3.6.2. *Determinación del carbono orgánico en el suelo*

Para obtener el contenido de materia orgánica en el suelo por el método de calcinación o pérdida de ignición. Por lo que se realizó por etapas:

- Se secó la muestra a temperatura ambiente y se mezcló para obtener un color uniforme.
- Se seleccionó una muestra representativa y se tritura en el motero para luego tamizarla (335 um) con el objetivo de eliminar grava o raíces.
- Para la materia orgánica primero consiste en tarar los crisoles a 800 °C por 2 horas para a prevenir impurezas en los crisoles.
- Seguidamente se pesó una muestra de 5 g de suelo para colocar en los crisoles, posteriormente se introdujo en la estufa a una temperatura de 105°C durante 24 horas y se dejar enfriar en el desecador por unos minutos, el cual es el peso seco del suelo.
- Finalmente, se coloca las muestras pesadas anteriormente, en la mufla a temperatura de 360 °C durante 2 horas y se deja enfriar en el desecador unos minutos y se obtiene el peso calcinado del suelo.

3.6.3. *Biomasa de sotobosque y de arbustos, hierbas/cultivos*

Como señala Rüginitz la biomasa en sotobosques se determina por la diferencia de humedad es así que el procedimiento en laboratorio se realizó lo siguiente:

- Se procede a cortar y pesar las muestras húmedas traídas de campo.
- Se registró el peso húmedo de las muestras, seguidamente se colocó en la estufa por 24 horas a una temperatura de 105° C.
- Por último, se pesó las muestras secas obtenidas y se registra los datos (Rodríguez et al., 2013, págs. 1-199).

3.6.4. *Respiración del suelo mediante oxitop*

Para la obtención de los datos correspondientes se realizó:

- Se pesó 300 g de muestras de suelo y se añade en cada frasco de oxitop.
- Seguidamente se añadió 30 ml de NaOH al 1N en cada vaso de precipitación correspondiente a los frascos.

- Por último, se sella cuidadosamente y se etiqueta los frascos, dejar reposar 5 días para la obtención de datos.

3.7. Fase de análisis de datos

3.7.1. Contenido de carbono en el suelo

El contenido de carbono se obtiene a partir de varios parámetros como la densidad aparente, porcentaje de materia orgánica y carbono, obtenidos en la etapa de laboratorio se puede determinar el contenido de carbono en el suelo mediante las siguientes formulas:

3.7.1.1. Densidad aparente

La densidad aparente se define como la masa del suelo por unidad de volumen, es decir la densidad aparente se determina mediante el método de volumen conocido mencionado por (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59); se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{PSN}{VCH}$$

Ecuación 3-3: Densidad aparente

Dónde:

DA= densidad aparente (g/cm³)

PSN= Peso seco del suelo dentro del cilindro (g)

VCH= Volumen del cilindro (cm³)

Para obtener el volumen del cilindro se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$VCH = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Ecuación 3-4: Volumen de cilindro

Dónde:

VCH= Volumen del cilindro (cm³)

r= radio del cilindro (cm)

h= altura del cilindro (cm)

3.7.1.2. *Porcentaje de la materia orgánica del suelo*

El cálculo del porcentaje de la materia orgánica se obtiene mediante las diferencias de pesos a diferentes temperaturas obtenida en el laboratorio y se aplica la siguiente ecuación:

$$\%MO = \frac{(\text{Peso a } 105^{\circ}C - \text{Peso a } 360^{\circ}C)}{(\text{Peso a } 105^{\circ}C)} \cdot 100$$

Ecuación 3-5: Porcentaje de materia orgánica

Dónde:

%MO= Porcentaje de materia orgánica (%)

Peso a 105° C= peso del suelo seco

Peso a 360° C= peso del suelo calcinado

100= para transformar el resultado a porcentaje

3.7.1.3. *Porcentaje de carbono orgánico del suelo*

Para la estimación del carbono a partir del porcentaje de materia orgánica se utiliza el factor Van Bemmelen que corresponde a 1,724 que resulta de $1/0,58= 1,724$ de la suposición de la materia orgánica del suelo contiene aproximadamente el 58% de carbono, para su cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%CO = \frac{\%MO}{1,724}$$

Ecuación 3-6: Porcentaje de carbono orgánico

Dónde:

%CO =Porcentaje de carbono orgánico (%)

%MO= Porcentaje de materia orgánica (%)

1,724= Factor de Van Bemmelen.

3.7.2. *Contenido de carbono en la biomasa aérea*

Para el contenido del carbono en la biomasa aérea existen dos métodos, el directo o destructivo, que se basa en cortar y pesar la biomasa del árbol, y el indirecto o no destructivo, que se basan en estimar la biomasa mediante ecuaciones mediante diferentes variables recolectadas en campo, para este estudio se utilizó el método indirecto o no destructivo para no alterar o afectar el área.

3.7.2.1. Biomasa aérea

Según el Manual de Evaluación Forestal ENF menciona que la biomasa aérea total es el peso vegetal que va desde el suelo hasta la copa del árbol, incluyendo hojas, ramas, corteza, entre otros. Con las variables tomadas en campo como el DAP, altura comercial y total, se procede a calcular la biomasa aérea mediante ecuaciones alométricas desarrolladas por (Rügnitz et al., 2009, págs. 3-59) a partir de DAP, la altura de cada especie. Para lo cual se emplea las siguientes ecuaciones: $Ba = Bc * 2,80$ donde se obtiene la biomasa aérea de la vegetación y el Bc es la biomasa comercial que proviene de $0,54 \cdot Vt$ donde 0,54 corresponde a la densidad de las especies y el Vt es el volumen de la altura total de cada especie o en un área. Por consiguiente, la Vt se determina de AB (Área basal que corresponde a $\pi * (DAP^2)/4$, por el factor de expansión de la especie Latifoliadas (0,50) y altura total de las especies. Por otra parte, para calcular la Bs , es el resultado de $Ba * 0,27$, teniendo una biomasa aérea total es decir biomasa en la vegetación y en el suelo para lo cual se usa la ecuación 1.

$$Bta = Ba + Bs \quad (1)$$

Ecuación 3-7: Biomasa total aérea

Dónde:

Bta= Biomasa total aérea (kg)

Ba= biomasa aérea (kg)

Bs= biomasa subterránea (kg)

- *Contenido de carbono en la biomasa aérea*

Para convertir los datos de biomasa a la cantidad de carbono se debe multiplicar el valor de la biomasa por el factor 0,503, el cual estima que aproximadamente el 50,31% de la biomasa vegetal de una especie corresponde a carbono. Para calcular el contenido de carbono se aplica la siguiente ecuación alométrica:

$$CC = B \cdot 0,5031$$

Ecuación 3-8: Contenido de carbono

Dónde:

CC= contenido de carbono (ton)

B= biomasa (kg/ha o t/ha)

3.7.2.2. Biomasa de sotobosque y de arbustos, hierbas/cultivos

Para determinar el contenido de carbono en este depósito se obtiene mediante ecuaciones:

$$CH = \frac{Phs - Pss}{Pss} \cdot 100$$

Ecuación 3-9: Contenido de humedad

Dónde:

CH = contenido de humedad (%)

Phs = peso húmedo submuestra (g)

Pss = peso seco submuestra (g)

A partir del contenido de humedad se calcula la proporción del peso húmedo que corresponde a biomasa:

$$B = \frac{PhBt}{1 + \left(\frac{CH}{100}\right)}$$

Ecuación 3-10: Biomasa seca

Dónde:

B = biomasa seca (g)

PhBt = peso húmedo total de biomasa (g)

CH = contenido de humedad (%)

Para el contenido de carbono se multiplica la biomasa por el factor 0,503 que corresponde al 50,31% de biomasa vegetal correspondiente al carbono.

3.7.3. Determinación de respiración del suelo

Para determinar el consumo de oxígeno en (mg/L) se utiliza una ecuación que es derivada de la ley general de los gases, donde se considera variables como temperatura, la constante universal de los gases, el peso molecular del O, el peso de la muestra, la presión registrada en el Oxitop y el volumen libre de la muestra.

$$Rs = \frac{PM(O_2)}{R * T} * \frac{Vfr}{mBt} * |\Delta P|$$

Ecuación 3-11: Respiración del suelo

Dónde:

RS= Respiración del suelo.

PM (O₂)= 31.998 mg*mol

R=83, 14 L hPa/ K mol

T= Temperatura en K

Vfr= Volumen libre de la muestra (L)

MBt= masa de la muestra seca de suelo (Kg)

ΔP= Cambio de presiones registradas.

Se emplea la constante general de los gases R en vez de la constante de los gases específicos R' para oxígeno (20°C) facilitando resultados exactos con (error <0,5%) en la mayor parte de estudios prácticos.

Para conocer el volumen libre de la muestra (Vfr) se emplea la siguiente formula:

$$Vfr = Vtotal - VAG - VAM - VBf$$

Ecuación 3-12: Volumen libre de la muestra

Dónde:

Vfr= Volumen libre de la muestra (L)

V Total = Volumen total del recipiente de medición, sin suelo, sin agente absorbente y sin recipiente del agente absorbente (L)

VAG = Volumen del recipiente del agente absorbente (L)

VAM = Volumen del agente absorbente (L)

VBf = Volumen del suelo que se colocara en el recipiente (L)

Para el cálculo de la masa de la muestra seca de suelo se utiliza la siguiente formula:

$$MBt = mBf * \frac{Ts}{100\%}$$

Ecuación 3-13: Masa de la muestra seca

Dónde:

MBt = masa de la muestra seca de suelo(Kg)

mBf= masa de la muestra húmeda de suelo (Kg)

Ts = Contenido de la muestra de suelo seco (%)

100% = Termino de corrección.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultado de las propiedades fisicoquímicas del suelo en las zonas de estudio

Para analizar las condiciones fisicoquímicas a profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm se tomaron en cuenta las siguientes variables: pH, conductividad eléctrica, humedad, densidad aparente, color, textura, materia orgánica y carbono orgánico.

4.1.1. Características fisicoquímicas a la profundidad de 0-30 cm

En la siguiente tabla se muestra los parámetros fisicoquímicos:

Tabla 4-1: Propiedades fisicoquímicas de los suelos en los humedales de bosque a una profundidad de 0-30cm

CC	Pa	C	T	pH	CE (ds/m)	CH (%)	DA (g/cm ³)	MO (%)	CO (%)
LL1- C1-PT	P1	7,5YR 5/2	Franco	6,23	0,09	43,38	0,59	13,14	7,62
	P2	7,5YR 5/2	Franco	5,98	0,08	51,51	0,47	13,84	8,03
	P3	7,5YR 5/1	Franco	6,32	0,08	54,81	0,50	12,96	7,52
LL2- C2-PT	P1	5YR 4/4	Franco	6,00	0,06	42,21	0,60	11,38	6,60
	P2	10 YR 3/2	Franco Arcilloso	6,19	0,08	42,79	0,63	10,42	6,04
	P3	7,5 YR 5/1	Franco	6,33	0,08	46,53	0,63	7,52	4,36
LL3- C3-PT	P1	7,5YR 5/2	Franco limoso	5,74	0,04	42,88	0,72	14,21	8,24
	P2	7,5YR 5/2	Franco	5,70	0,03	34,06	0,70	14,51	8,42
	P3	10 YR 5/3	Franco	5,49	0,03	58,11	0,51	9,86	5,72

C1-G1-PT	P1	10YR 4/3	Franco Limoso	5,54	0,09	56,04	0,46	11,64	6,75
	P2	10YR 4/3	Franco Limoso	6,02	0,08	43,41	0,59	12,22	7,09
	P3	10YR 5/3	Franco limoso	5,88	0,07	41,28	0,76	12,47	7,23
C2-G2-PT	P1	10 YR 5/2	Franco	6,15	0,10	33,15	0,80	10,91	6,33
	P2	10 YR 5/3	Franco	5,69	0,05	38,62	0,72	11,43	6,63
	P3	10 YR 5/2	Franco	6,17	0,09	42,93	0,68	12,83	7,44
C3-G3-PT	P1	10 YR 5/2	Franco Limoso	5,91	0,08	31,35	0,98	9,67	5,61
	P2	10 YR 5/3	Franco	6,35	0,10	35,44	0,75	8,21	4,76
	P3	10 YR 5/2	Franco Limoso	5,99	0,09	38,64	0,67	11,05	6,41
<p>Nota: Negrita (valor inferior), Cursiva (valor superior), CC (conglomerado), LL (Llucud), G (Guayllabamba), Pa (Parcela), C (Color), T (Textura), CE (Conductividad Eléctrica), CH (contenido de humedad), DA (Densidad aparente), MO (Materia Orgánica) y CO (Carbono Orgánico).</p>									

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **pH**

En la zona de Llucud determinó un promedio de 6,00 con una desviación estándar de 0,30; un valor máximo de 6,33 determinado en LL2-C2-P3 y el valor mínimo de 5,49 en LL3-C3-P3. En cambio, en la zona de Guayllabamba el pH tuvo un valor promedio de 5,97 con desviación estándar de 0,25; un valor máximo de 6,35 ubicado en G3-C3-P2 y el valor mínimo de 5,54 en G1-C1-P1. De acuerdo a los resultados entre 5,5 a 6,5 los suelos son ligeramente ácidos que contienen poco o nada de aluminio, además indican que son suelos óptimos para el crecimiento de la vegetación (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

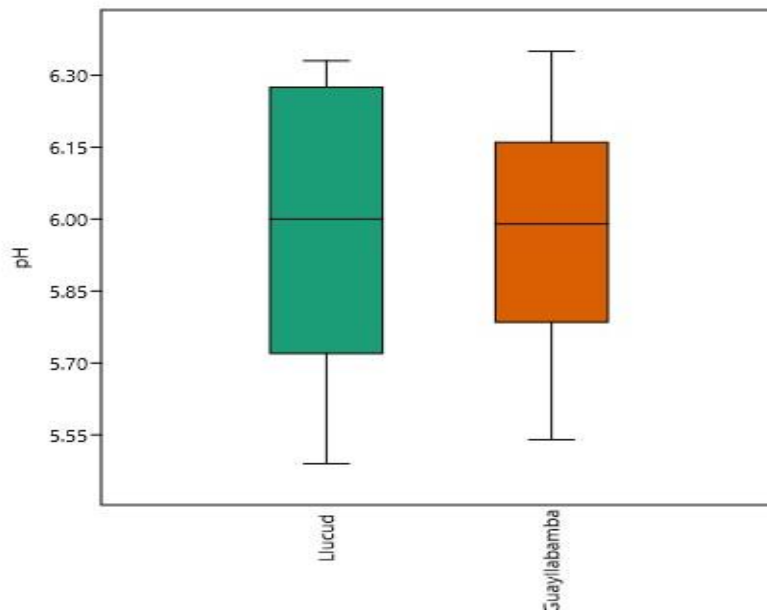


Ilustración 4-1: Caja de bigotes en la que se representa los valores de pH del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Conductividad eléctrica**

En la zona de Llucud su valor promedio fue de 0,06 ds/m con desviación estándar de 0,02; un valor máximo de 0,09 ds/m determinado en LL1-C1P1 y el valor mínimo de 0,03 ds/m en LL3-C3-P2. Por otra parte, en Guayllabamba a la misma profundidad se obtuvo un promedio de 0,08 uS/cm con una desviación estándar de 0,01; un valor máximo de 0,10 ds/m en G3-C3-P2 y el valor mínimo de 0,05 ds/m en G2-C2-P2. De acuerdo con los valores obtenidos estos suelos son de baja conductividad que representan a suelos no salinos debido a que se encuentran en proceso de restauración luego de modificaciones o cambio de suelo (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

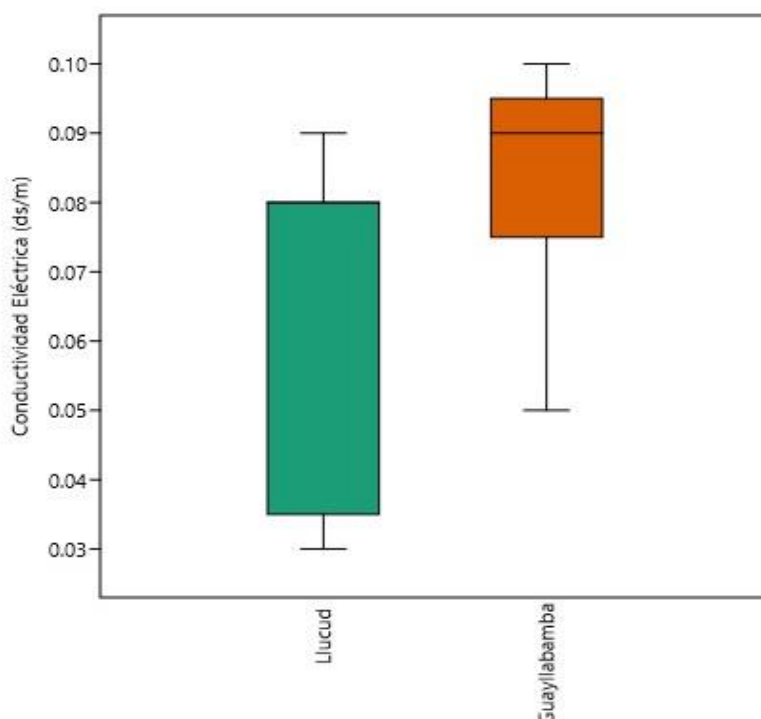


Ilustración 4-2: Caja de bigotes en la que se representa los valores de conductividad eléctrica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Contenido de humedad**

En relación al contenido de humedad en la zona de Llucud, obtuvo un promedio de 46,25 % con una desviación estándar de 7,40 correspondiente a todas las parcelas; un valor máximo de 58,11% localizado en LL3-C3-P3 y el valor mínimo de 34,06% en LL3-C3-P2. Por el contrario, en Guayllabamba tuvo promedio de 40,10 % con una desviación estándar de 7,29; un valor máximo de 56,04% determinado en G1-C1-P1 y el valor mínimo de 31,35% en G3-C3-P1. De acuerdo con valores obtenidos el contenido de la humedad en estos humedales es bajo en comparación de otros humedales, debido a la mínima saturación de agua en la superficie (Coral, 2021, págs. 40-55).

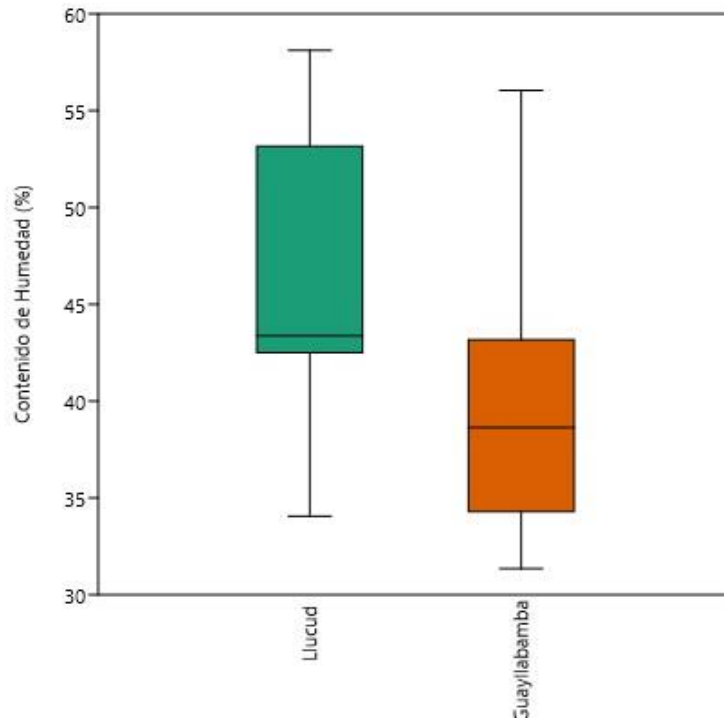


Ilustración 4-3: Caja de bigotes en la que se representa los valores de contenido de humedad del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Densidad aparente**

En la zona de LLucud a una profundidad de 0-30 cm la densidad aparente demostró un promedio de 0,60 g/cm³ con una desviación estándar de 0,09; con un límite máximo de 0,72 g/cm³ ubicado LL3-C3-P1 y su límite mínimo de 0,47 g/cm³ en LL1-C1-P2. En cambio, en Guayllabamba tuvo un valor promedio de 0,71g/cm³ con una desviación estándar de 0,14; un valor máximo de 0,98 g/cm³ localizado en G3-C3-P1 y el valor mínimo de 0,46 g/cm³ en G1-C1-P1. Considerando estos valores estos suelos tienen una densidad aparente significativa; debido a que estos suelos son limosos y francos, además que han sido modificados por las actividades humanas afectando a sus propiedades y a la vegetación (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

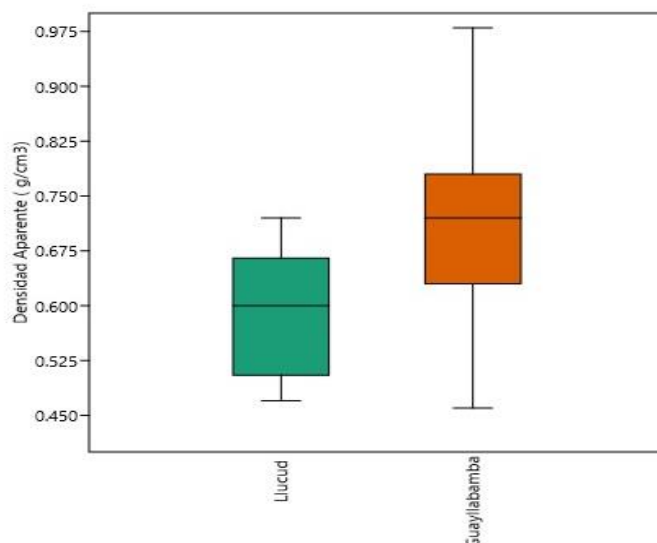


Ilustración 4-4: Caja de bigotes en la que se representa los valores de densidad aparente del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Textura y color**

En la zona de LLucud se identificó tres tipos de texturas: franco (77,78) %; franco arcilloso (11,11) % y franco limoso con (11,11) % siendo el predominante la textura franca. Por otra parte, en la zona de Guayllabamba se encontró una textura: franco (44,44) % y franco limoso (55,56) % el cual predomina. Las clases de texturas predominantes es debido su alto contenido de MO (Cargua Catagña et al., 2019, págs. 149-156); además, son suelos derivados de materiales volcánicos por lo que otorgan buenas propiedades físicas en el suelo (Zúñiga et al., 2018, pág. 183).

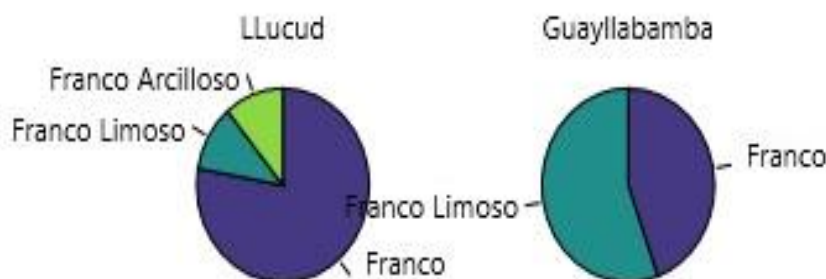


Ilustración 4-5: Clases texturales a la profundidad de 0-30 cm en las dos zonas de estudio

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

La identificación del color en la zona de Lluccud muestra 3 tonos: 7,5 YR, 5 YR y 10YR; siendo el color dominante en los conglomerados el 10YR. Sin embargo, en Guayllabamba se determinó un solo color 10YR con distinto valor y saturación en todas sus parcelas. Estas coloraciones en los suelos son debido a presencia de la materia orgánica y de moteados (óxidos de hierro) los cuales participan como agentes cementantes de la estabilización estructural (Zúñiga et al., 2018, pág. 183).

- **Materia Orgánica**

La zona de LLucud posee un promedio de 11,98% con una desviación estándar de 2,36; un valor máximo de 14,51% en la parcela LL3-C3-P2 y el valor mínimo de 7,52% en LL2-C2-P3. En Guayllabamba un promedio de 11,16 % una desviación estándar de 1,45%; su límite máximo fue de 12,83 % en la parcela G2-C2-P3 y el límite inferior de 8,21 % en G3-C3-P2. Estos resultados representan un valor alto de materia orgánica debido a su diversidad y la actividad de la fauna del suelo permitiendo así suelos con una buena estabilidad de la estructura del suelo (Luza, 2014, págs. 97-105).

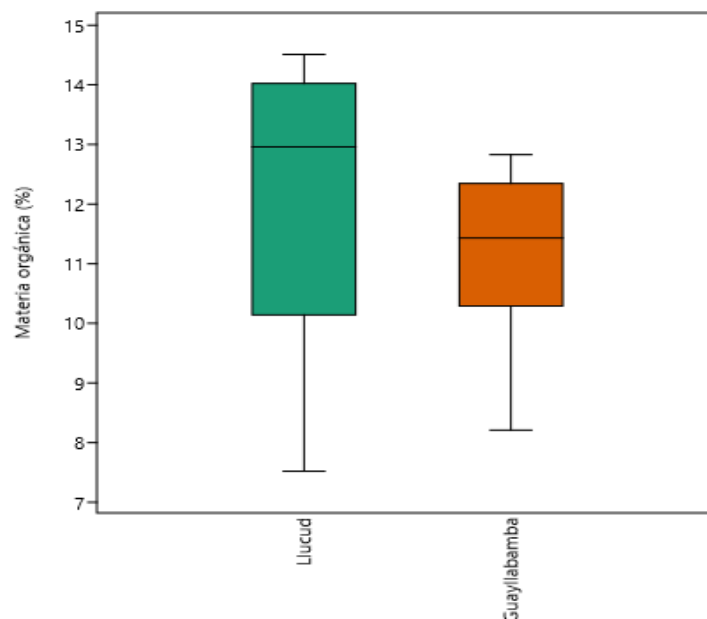


Ilustración 4-6: Caja de bigotes en la que se representa los valores de materia orgánica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm

Nota: C1-P1(conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Carbono Orgánico**

En LLucud obtuvo un valor promedio de 6,95% con desviación estándar de 1,37; con un límite superior de 8,42% ubicado en LL3-C3-P2 y su límite inferior de 4,36% en LL2-C2-P3. Sin embargo, Guayllabamba tiene promedio de 6,47% con desviación estándar de 0,84%; un valor máximo de 7,44% determinado en el G2-C2-P3 y el valor mínimo de 4,76% en el G3-C3-P2; el contenido de carbono en estos suelos son significativos debido a su alto contenido de MO, lo cual se almacena en su mayoría en las capas superficiales (Martínez et al., 2008).

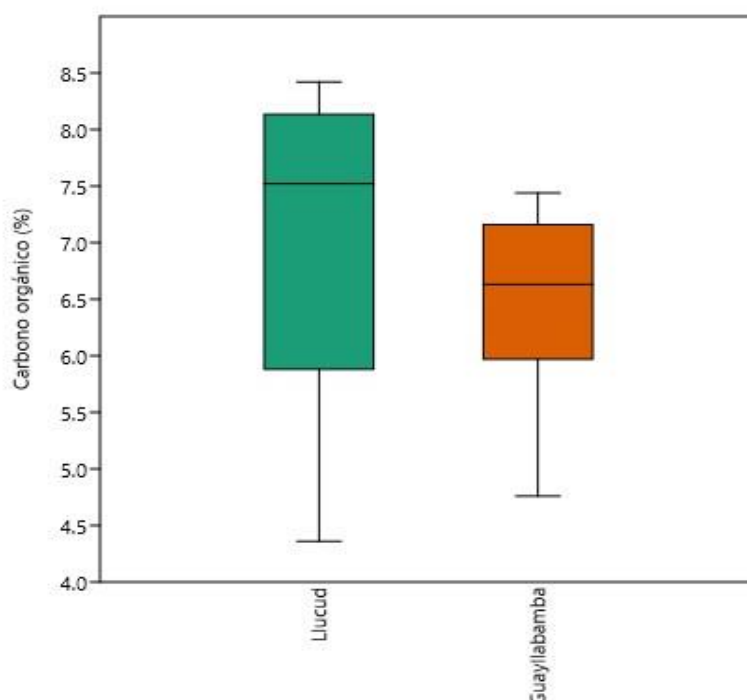


Ilustración 4-7: Caja de bigotes en la que se representa los valores de Carbono orgánico del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 0-30 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.1.2. Características fisicoquímicas a la profundidad de 30-60 cm

En la siguiente tabla se muestra las propiedades fisicoquímicas:

Tabla 4-2: Propiedades fisicoquímicas de los suelos en los humedales de bosques a una profundidad de 30-60 cm

CC	Pa	C	T	pH	CE (ds/m)	CH (%)	DA (g/cm ³)	MO (%)	CO (%)
LL1-C1-PT	P1	7,5YR 6/1	Franco	6,43	0,03	52,66	0,49	10,81	6,27

	P2	7,5YR 6/1	Franco	5,99	0,04	48,61	0,49	8,20	4,76
	P3	10YR 3/1	Franco	6,41	0,04	55,38	0,52	13,82	8,02
LL2-C2-PT	P1	7,5 YR 5/1	Franco	6,15	0,04	33,86	0,85	8,69	5,04
	P2	7,5 YR 5/1	Franco Arcilloso	6,30	0,07	42,53	0,64	11,76	6,82
	P3	10 YR 4/2	Franco	6,33	0,05	50,29	0,50	6,99	4,06
LL3-C3-PT	P1	7,5YR 5/1	Franco limoso	5,83	0,03	43,37	0,81	12,31	7,14
	P2	7,5YR 5/1	Franco	5,48	0,03	59,88	0,54	11,28	6,54
	P3	10 YR 7/1	Franco	5,69	0,02	37,70	1,09	5,19	3,01
G1-C1-PT	P1	10YR 5/3	Franco Limoso	5,74	0,05	37,89	0,79	9,95	5,77
	P2	10YR 4/2	Franco Limoso	5,92	0,06	34,41	0,85	12,65	7,34
	P3	2,5Y 4/3	Franco limoso	5,76	0,05	34,09	0,91	8,53	4,95
G2-C2-PT	P1	10 YR 5/2	Franco	6,03	0,08	28,75	0,82	8,83	5,12
	P2	10 YR 5/4	Franco Limoso	5,73	0,05	34,42	0,79	8,39	4,87
	P3	10 YR 5/2	Franco Limoso	5,58	0,05	35,78	0,87	9,25	5,37
G3-C3-PT	P1	10 YR 5/2	Franco Limoso	5,98	0,06	30,17	0,91	9,19	5,33
	P2	10 YR 5/3	Franco Limoso	6,07	0,09	29,01	1,16	7,32	4,25
	P3	10 YR 5/3	Franco Limoso	6,00	0,09	25,92	1,08	7,76	4,50

Nota: Negrita (valor inferior), Cursiva (valor superior), CC (conglomerado), LL (Llucud), G (Guayllabamba), Pa (Parcela), C (Color), T (Textura), CE (Conductividad Eléctrica), CH (contenido de humedad), DA (Densidad aparente), MO (Materia Orgánica) y CO (Carbono Orgánico).

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **pH**

En la zona de LLucud el pH posee suelos con promedio de 6,07 con desviación estándar de 0,34; con un valor máximo de 6,43 situado en el LL1-C1-P1 y el valor mínimo de 5,48 en el LL3-C3-P2. Sin embargo, Guayllabamba obtuvo promedio de 5,87 con desviación estándar de 0,17; teniendo un límite máximo de 6,07 localizado en el G3-C3-P2 y el límite mínimo de 5,58 en el G2-C2-P3. A las dos profundidades (0-30 y 30-60 cm), los suelos de estas zonas son ligeramente ácidos, debido a que se encuentra dentro del rango 5,5-6,5; además son característicos de suelo forestales húmedo y son óptimos para el crecimiento de la mayoría de las especies (Luters et al., 2000, págs. 1-79).

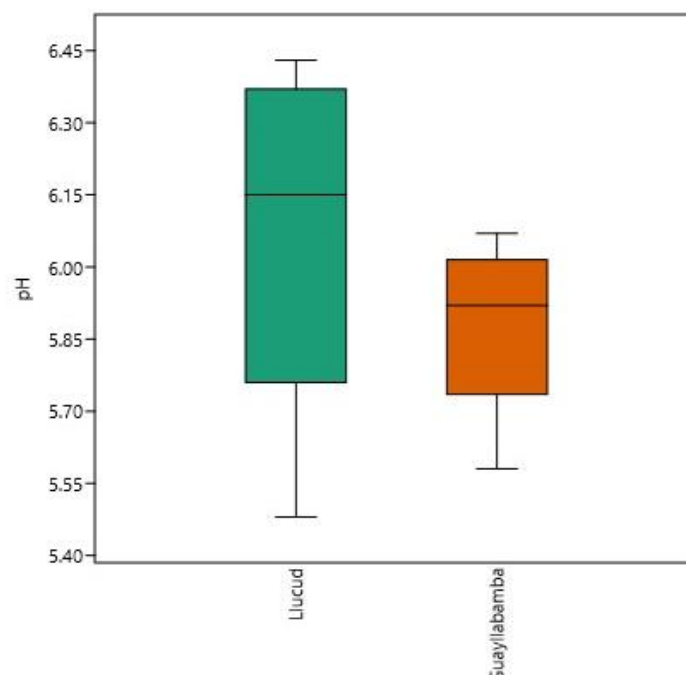


Ilustración 4-8: Caja de bigotes en la que se representa los valores de pH del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Conductividad eléctrica**

La zona de LLucud tiene promedio de 0,04 ds/m con una desviación estándar de 0,01; su límite superior fue de 0,07 ds/m determinado en LL2-C2-P2 y el límite inferior fue de 0,02 ds/m en LL3-C3-P3. Por otro lado, en Guayllabamba identificó con valor promedio de 0,07 ds/m con desviación estándar de 0,02; con un valor máximo de 0,09 ds/m situado en el G3-C3-P2 y el valor mínimo de 0,05ds/m en G2-C2-P2. De acuerdo con los resultados obtenidos estos suelos contienen baja conductividad a dos profundidades, estos suelos con esta característica son aceptables para el crecimiento de vegetación y los organismos son pocos afectados (Luters et al., 2000, págs. 1-79).

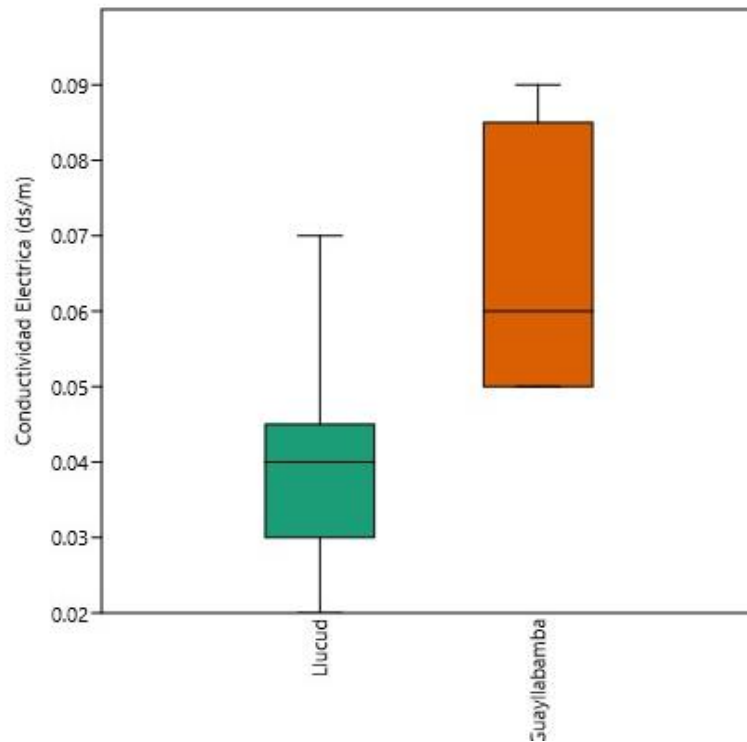


Ilustración 4-9: Caja de bigotes en la que se representa los valores de conductividad eléctrica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Contenido de humedad**

La zona de LLucud posee promedio de 47,14% con desviación estándar de 8,47; un valor máximo de 59,88% situado en LL3-C3-P2 y el valor mínimo de 33,86% en el LL2-C2-P1. Mientras tanto

en Guayllabamba obtuvo un promedio de 32,27 % con desviación estándar de 3,94; un valor máximo de 37,89% en G1-C1-P1 y el valor mínimo de 25,92% en G3- C3-P3. A esta profundidad sigue siendo suelos con baja humedad debido a la mayor densidad aparente en el suelo, lo cual hace que el espacio poroso se reduce en función a su textura franco (Cabrera et al., 2019, págs. 30-50).

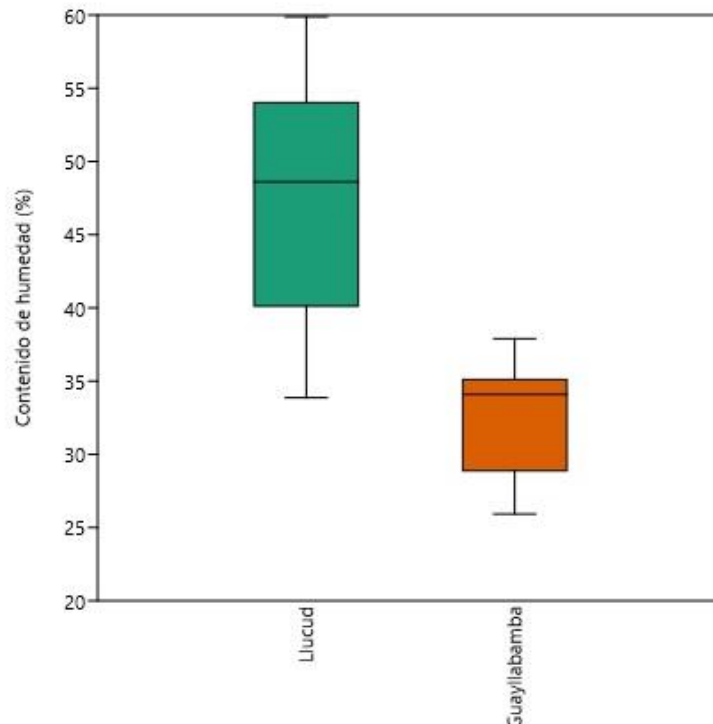


Ilustración 4-10: Caja de bigotes en la que se representa los valores de Humedad del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Densidad aparente**

En la zona de Llucud su promedio es de 0,66 g/cm³ con desviación estándar de 0,21; con un límite superior de 1,09 g/cm³ localizado en el LL3-C3-P3 y el límite inferior de 0,49 g/cm³ en el LL1-C1-P1. Aunque en la zona de Guayllabamba el promedio fue de 0,91 g/cm³ con una desviación estándar de 0,13; con un valor máximo de 1,16 g/cm³ situado en el G3-C3-P2 y el valor mínimo de 0,79 g/cm³ en el G2-C2-P2; la densidad aparente es considerable ya que son suelos arenosos, limosos y francos con bajo contenido de arcilla, por estas características existe la incrementación de compactación afectando a la humedad retenido en suelo y limita el crecimiento de las raíces (Flores et al., 2010, págs. 3-54).

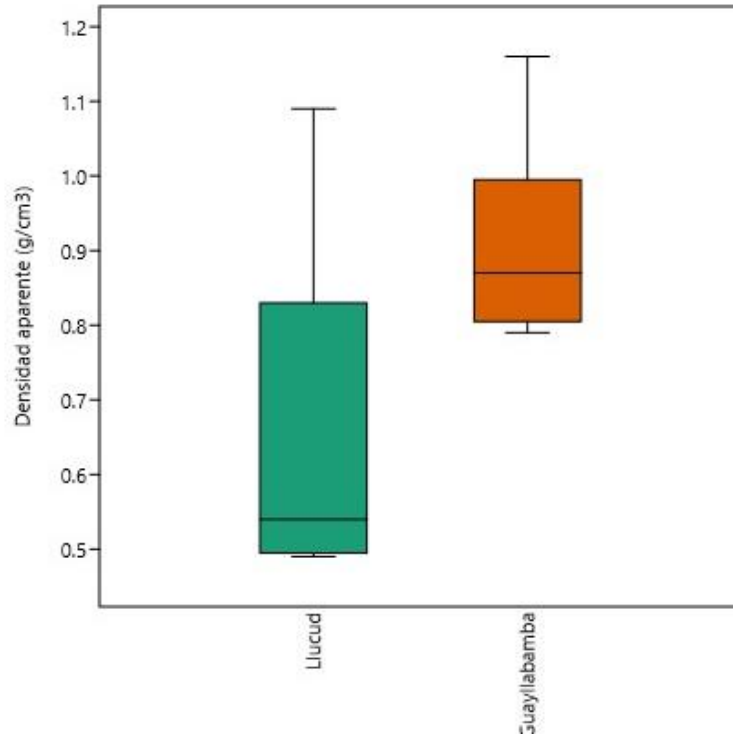


Ilustración 4-11: Caja de bigotes en la que se representa los valores de densidad aparente del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Textura y color**

En la zona de LLucud se determinó tres clases de texturales: franco siendo el predominante (77,78) %, franco arcilloso (11,11) % y franco limoso (11,11) % en el LL3-C3-P1. Sin embargo, en Guayllabamba se identificó franco limoso siendo predominante (88,89%) y franco (11,11) % en G2-G2-P1. Estos cambios en las clases texturales en su mayoría se deben a procesos de deforestación por lo que los horizontes del suelo se erosionan cambiando su clase textural en los suelos (Cabrera et al., 2019, págs. 30-50).

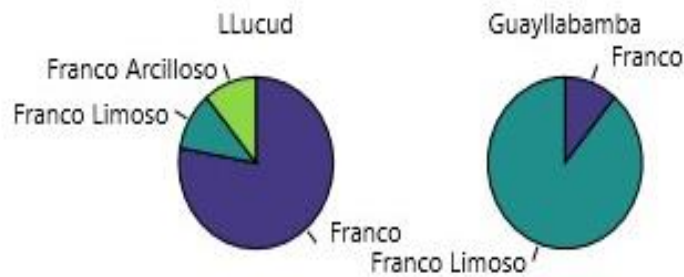


Ilustración 4-12: Clases texturales a la profundidad de 30-60 cm en las dos zonas de estudio

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

En la zona de LLucud se identificó 2 tonos: 7,5YR y 10Y; siendo el color predominante en los conglomerados en los conglomerados 7,5YR. Por el contrario, los tonos del suelo en Guayllabamba son: 2,5YR y 10YR siendo dominante en todos los conglomerados; la coloración de estos suelos en su mayoría es de color amarillento y rojo; lo cual deduce la presencia de moteados de óxido de hierro de acuerdo al código de su color (Luters et al., 2000, págs. 1-79).

- **Materia Orgánica**

La zona de LLucud posee un promedio de 9,90% con desviación estándar de 2,79; su límite máximo fue de 13,82% situado en el LL1-C1-P3 y el límite mínimo fue de 5,19% en LL3-C3-P3. Aunque en la zona de Guayllabamba demostró un promedio de 9,10% con desviación estándar de 1,55; con un valor máximo de 12,65% determinado en el G1-C1-P2 y el valor mínimo de 7,32% en el G3-C3-P2. En comparación a la primera profundidad la materia orgánica disminuyó a pesar de esto la cantidad de materia orgánica sigue siendo alta; los valores altos de MO indican suelos en proceso de restauración teniendo la capacidad de almacenar carbono, estabilizar la estructura del suelo e incrementando la tasa de infiltración (Cárdenas, 2015, págs. 38-45).

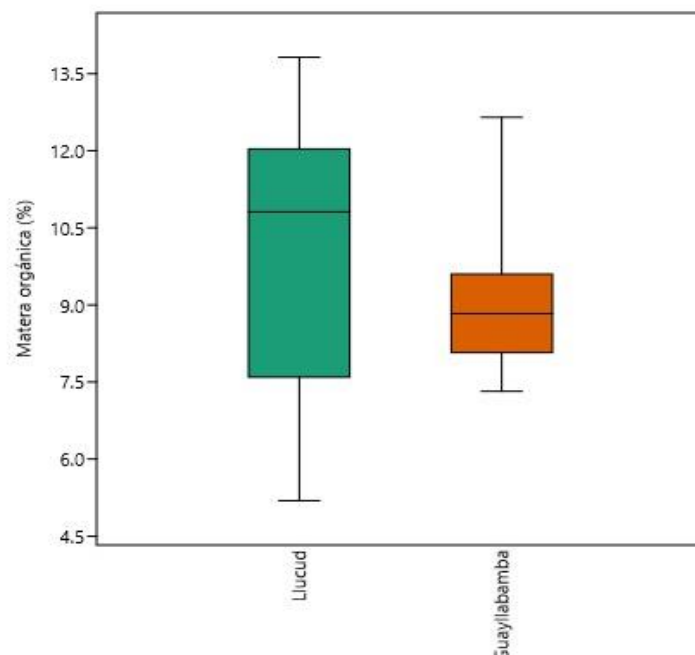


Ilustración 4-13: Caja de bigotes en la que se representa los valores de Materia orgánica del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

- **Carbono Orgánico**

En la zona de Lluçud el promedio fue de 5,74% con desviación estándar de 1,62; un valor máximo de 8,02% localizado en el LL1-C1-P3 y el valor mínimo 3,01% en el LL3-C3-P3. En Guayllabamba demostró una media de 5,28% con desviación estándar de 0,90; un valor máximo de 7,34% determinado en el G1-C1-P2 y un valor mínimo de 4,25 % en el G3-C3-P2. El carbono orgánico es considerable, aunque a esta profundidad se disminuye; sabiendo que el contenido de carbono tiene relación con la materia orgánica acumulada en el suelo (Martínez et al., 2008).

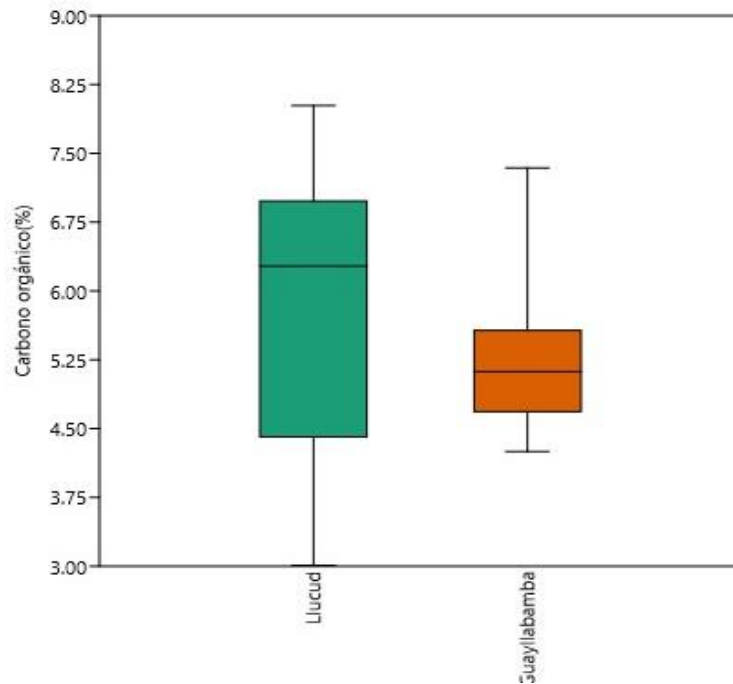


Ilustración 4-14: Caja de bigotes en la que se representa los valores de Carbono orgánico del suelo en dos zonas de estudio a una profundidad de 30-60 cm

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.2. Resultados de estado de conservación de carbono en biomasa área y subterránea (raicillas)

4.2.1. Contenido de carbono orgánico en biomasa aérea forestal

Para definir la densidad poblacional, se realizó una evaluación de los árboles en parcelas de 1200 m²; la mayor cantidad individuos se identificaron en el sector LLucud en el conglomerado LL1-C1 con un total de 46 árboles y una relación de 383 árboles/ha. Por otra parte, en el Sector de Guayllabamba se determinó un total de 46 árboles en G2-C2 y una relación de 383 árboles/ha. La cantidad de árboles y la diversidad de especies indican la acumulación de carbono en la biomasa aérea (Cargua et al., 2019, págs. 149-156) es así que su acumulación es considerable en este depósito.

Tabla 4-3: Densidad poblacional y carbono orgánico en la biomasa forestal de las dos zonas de estudios

Biomasa aérea (forestal)		
Conglomerados	N° Árboles	CO%
LL1-C1	46	5,44
LL2-C2	35	3,93
LL3-C3	45	4,27
G1-C1	39	3,73
G2-C2	46	2,68
G3-C3	45	3,59
Nota: Negrita (valor inferior), Cursiva (valor superior) y CO (Carbono Orgánico), LL (Llucud), G (Guayllabamba), C (conglomerado).		

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

Como se muestra en el gráfico el carbono orgánico en la zona de LLucud posee un promedio de 4,55%; su valor máximo fue de 5,44% situado en el LL1-C1 y su valor mínimo fue de 3,93% en el LL2-C2. Sin embargo, en Guayllabamba su promedio fue de 3,33%; con el valor máximo de 3,73% ubicado en el G1-C1 y su límite inferior fue de 2,68% en el G2-C2; según estos valores es considerable la cantidad de carbono acumulado, por lo que la mayor cantidad de árboles, mayor DAP y su altura total incrementan la acumulación de carbono (Hernández et al., 2018, págs. 5-16).

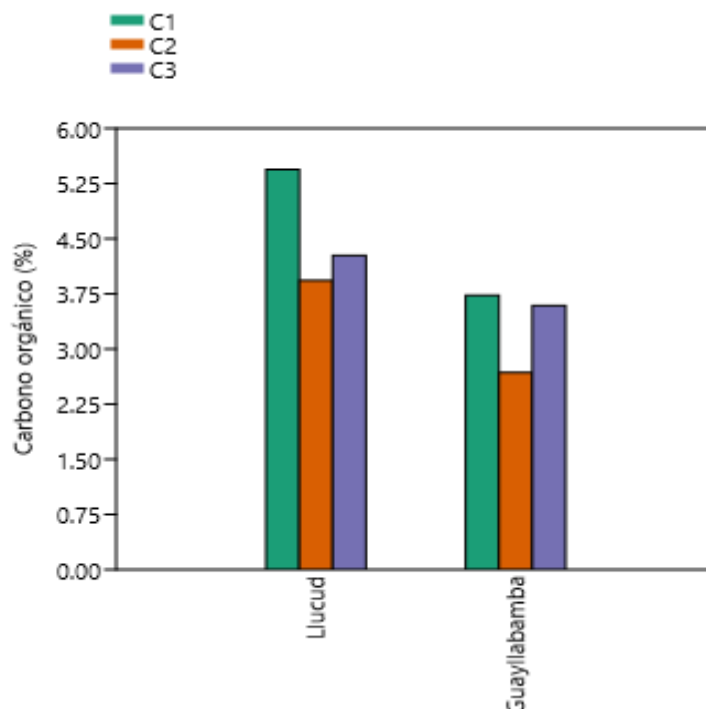


Ilustración 4-15: El contenido de carbono orgánico en biomasa aérea en dos sectores de estudio

Nota: C1 (Conglomerado 1), C2 (Conglomerado 2), C3(Conglomerado 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.2.2. *Contenido de carbono orgánico en biomasa de sotobosque*

El sector de Llacud presenta un promedio de 6,62% con una desviación estándar de 2,40; un valor máximo de 10,80 % ubicado en el LL1-C1-P3 y el valor mínimo de 3,91 % en el LL2-C2-P3. Por otra parte, en Guayllabamba resulto un promedio 5,78% con desviación estándar de 1,73; con un valor máximo de 8,98% situando en el G3-C3-P2 y el valor mínimo de 3,72% en el G2-C2-P2. De acuerdo con estos resultados el contenido de carbono obtenido en estas zonas es significativa debido a la producción de sotobosque que influyen en la dinámica del bosque (Hernández et al., 2017, págs. 921-938).

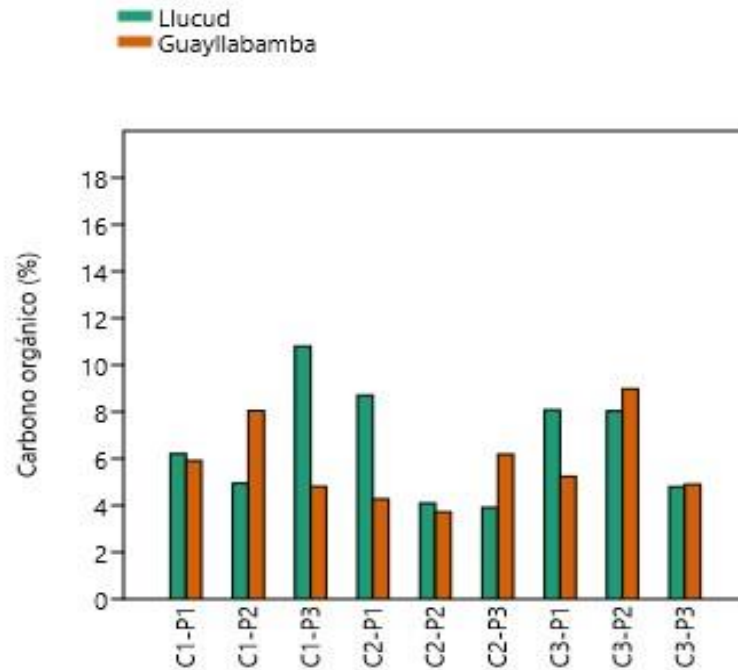


Ilustración 4-16: Carbono orgánico de biomasa en sotobosque en dos zonas de estudio

Nota: C1-P1(conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.2.3. *Contenido de carbono orgánico en raicillas*

En el sector de Llucud se encontró con un promedio de 8,64 % con una desviación estándar de 4,16; un valor máximo de 17,40 % situado en el LL3-C3-P1 y el valor mínimo de 3,87 % en el LL1-C1-P2. Por otro lado, Guayllabamba posee un promedio de 7,43% con desviación estándar de 3,06; su límite superior fue de 13,66% localizado en el G1-C1-P2 y su límite inferior fue de 9,20% en el G1-C1-P1. Según los resultados obtenidos en estos suelos existe una mayor concentración de carbono en raicillas debido a que su acumulación es mayor en la primera capa superficial (0-30 cm) y a la considerable producción de sotobosque (Hernández et al., 2017, págs. 921-938).

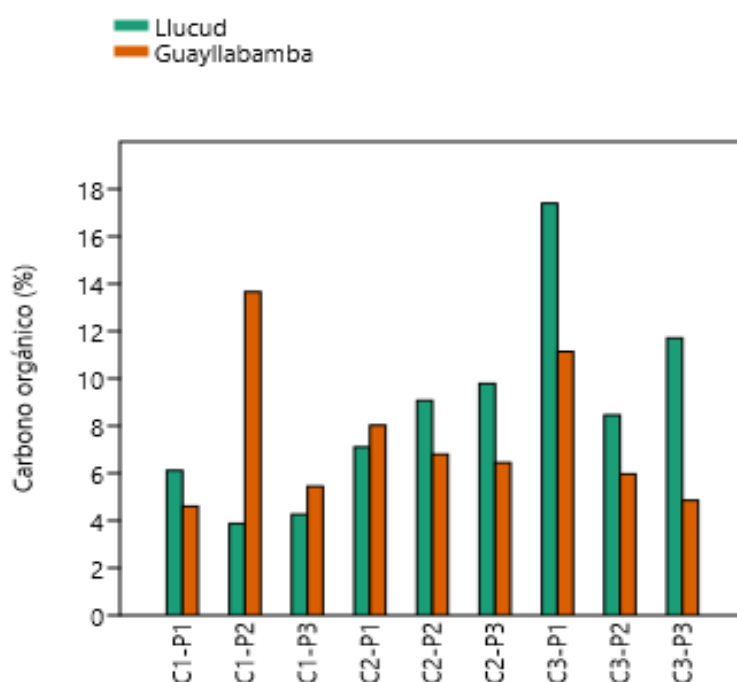


Ilustración 4-17: Carbono orgánico en raicillas (biomasa subterránea) en dos zonas de estudio

Nota: C1-P1 (conglomerado 1-Parcela 1), C2-P2 (conglomerado 2-Parcela 2), C3-P3 (Conglomerado 3-Parcela 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.3. Resultados de la respiración del suelo

Como se puede observar en el gráfico 3-1 la respiración del suelo de las dos zonas tiene un promedio total de $0,551 \text{ mg CO}_2/\text{Kg de suelo} \cdot \text{d}$, en la zona de Llucud tiene un promedio de $0,494 \text{ mg CO}_2/\text{Kg de suelo} \cdot \text{d}$ y en Guayllabamba $0,609 \text{ mg CO}_2/\text{Kg de suelo} \cdot \text{d}$. El máximo valor se encuentra en G2-C2, con un promedio de $0,821 \text{ mg CO}_2/\text{Kg de suelo} \cdot \text{d}$; mientras que el mínimo valor está en LL1-C1 con $0,328 \text{ mg CO}_2/\text{Kg de suelo} \cdot \text{d}$; Deduciendo así que las actividades biológicas del suelo son muy bajas, debido a que existen bajas emisiones de CO_2 porque la humedad se acerca a porcentajes de saturación (mayores al 80%) es decir existe congestión en los poros de la muestra que disminuye el oxígeno disponible.

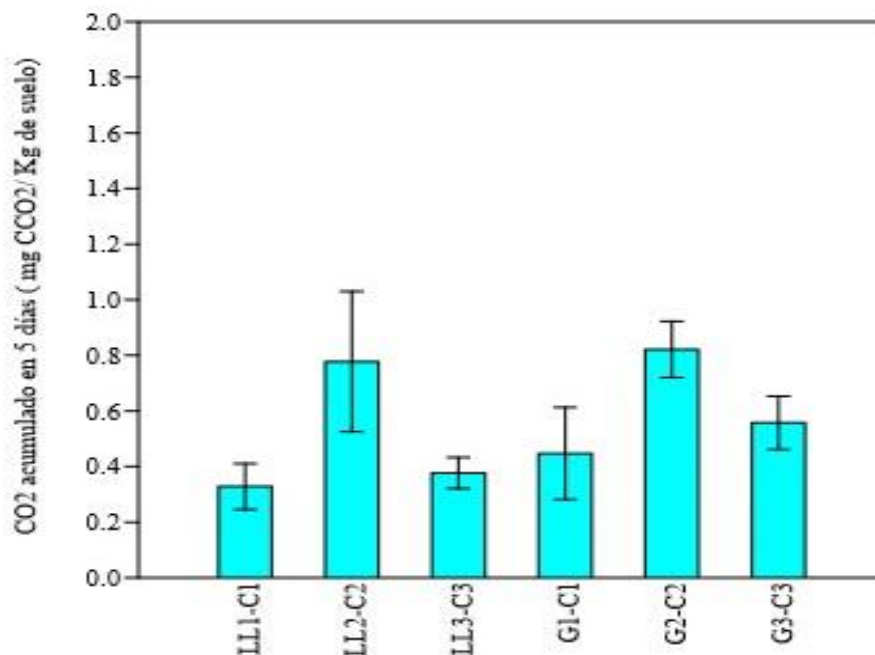


Ilustración 4-18: Distribución de la respiración del suelo con respecto a los conglomerados de las zonas de estudio

Nota: LL (Llucud), G (Guayllabamba), C1 (Conglomerado 1), C2 (Conglomerado 2), C3 (Conglomerado 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.3.1. *Relación del carbono orgánico en el suelo y la respiración de suelo*

Como se puede observar en el gráfico 3-2 la variabilidad del contenido de carbono dentro del suelo en relación a la Rs es inversamente proporcional y exponencial, siendo en LL1-C1 el máximo punto de contenido de carbono orgánico en el suelo con 7,04 % y una Rs de 0,03 % donde se evidencia que a mayores cantidades de COS menor tasa de Rs ; mientras que el valor mínimo de carbono orgánico en el suelo se encontró en G3-C3 con 5,14 % con una Rs de 0,06 % demostrado que a menores cantidades de COS mayor tasa de Rs.

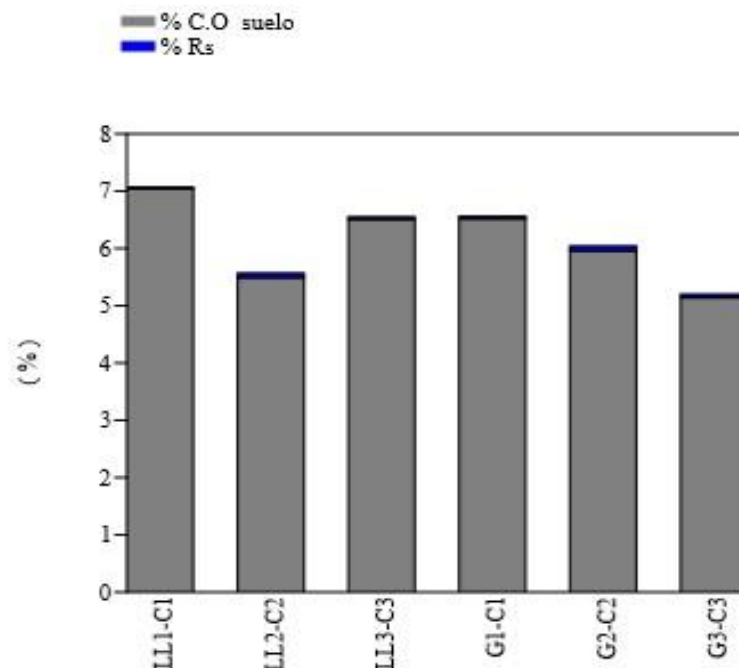


Ilustración 4-19: Relación del Carbono Orgánico y la respiración del suelo en las zonas de estudio

Nota: LL (Llucud), G (Guayllabamba), C1 (Conglomerado 1), C2 (Conglomerado 2), C3 (Conglomerado 3)

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.3.2. Relación de variables de temperatura y humedad con la respiración del suelo

Para analizar el comportamiento de la respiración del suelo se toma en cuenta dos variables del suelo: la temperatura y humedad, que fueron tomadas In-situ por un lapso de tiempo de 6 días y 2 horas. Con un intervalo de registro de datos de 15 min.

En la zona de Llucud los registros de temperatura y humedad iniciaron el 06/07/2023 y concluyeron el 11/07/2023, mientras que en la zona de Guayllabamba los registros iniciaron el 03/08/2023 y concluyeron el 08/08/2023.

La humedad en la zona de Llucud tuvo un promedio de 96,65% con una desviación estándar de 3,62 correspondiente a los 484 datos registrados; con un valor máximo de 99,7% localizado en el día 6 y el valor mínimo de 74,8% en el primer día. Mientras que la temperatura tuvo un promedio de 8,68 °C con una desviación estándar de 0,56, con un valor máximo de 9,9 °C localizado en el día 2 y un valor mínimo de 7,7 °C en el sexto día; es decir que a bajas temperaturas y presencia de lluvias presenta menores valores de Rs debido a que posee periodos más largos y por ende la mayor parte de COS se encuentra en el suelo inundado.

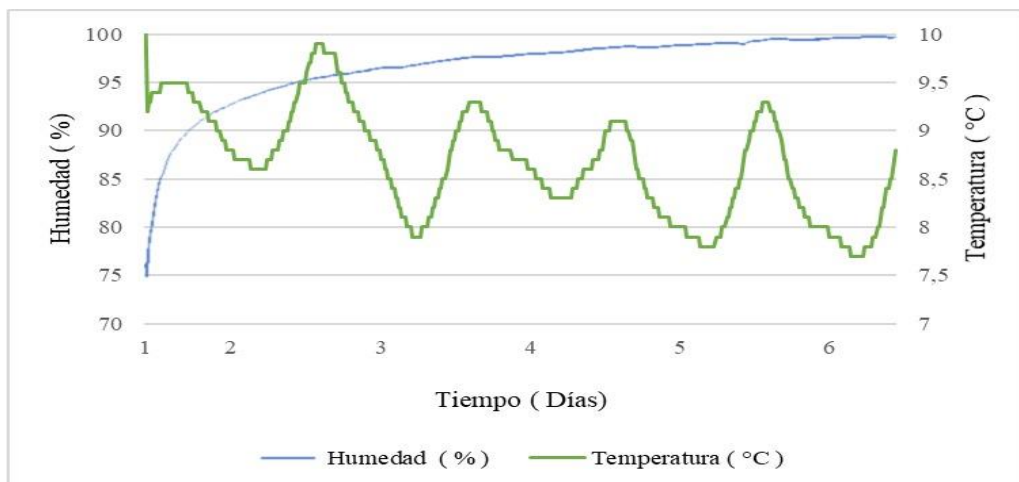


Ilustración 4-20: Representaciones de las variaciones de temperatura y humedad del suelo en la zona de Lluçud

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

La humedad en la zona de Guayllabamba tuvo un promedio de 88,82% con una desviación estándar de 1,57 correspondiente a los 484 datos registrados, con un valor máximo de 94,3% localizado en el día 6 y su valor mínimo de 79,6% en el primer día. Mientras que la temperatura tuvo un promedio de 9,31 °C con una desviación estándar de 0,40, con un valor máximo de 10,1 °C localizado en el día 4 y un valor mínimo de 8,4 °C en el segundo día. Señalando que a bajas temperaturas y períodos largos de lluvias presenta menores valores de Rs, por ende, la mayor parte de COS se encuentra en el suelo inundado.

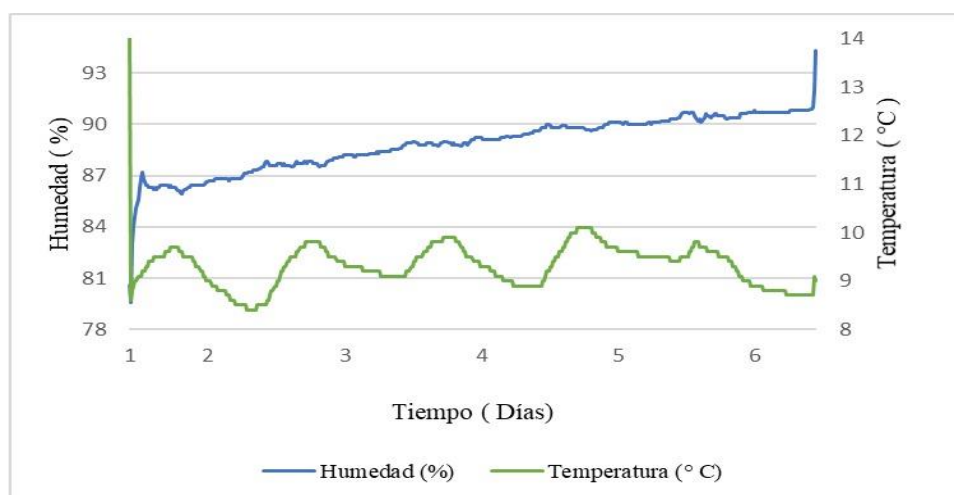


Ilustración 4-21: Representaciones de las variaciones de temperatura y humedad del suelo en la zona de Guayllabamba

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

4.4. Correlación del flujo de carbono

La ilustración 4-22, describe el carbono orgánico que se encuentra en los depósitos: Forestal aéreo, subterráneo, sotobosque, raicillas; y el stock de carbono orgánico en comparación a la respiración del suelo.

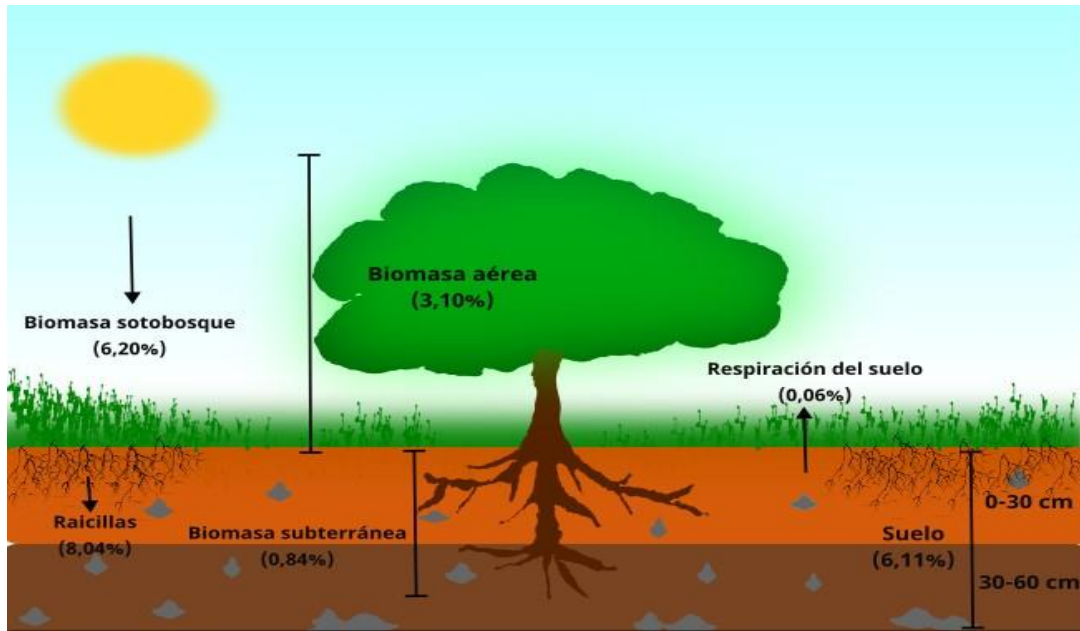


Ilustración 4-22: Concentración de carbono en diferentes depósitos y respiración del suelo

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar el nivel de significancia de los diferentes depósitos de carbono y la respiración del suelo en humedales de bosques, donde se observó una asociación lineal entre las variables de estudio como se muestra en la ilustración 4-23.

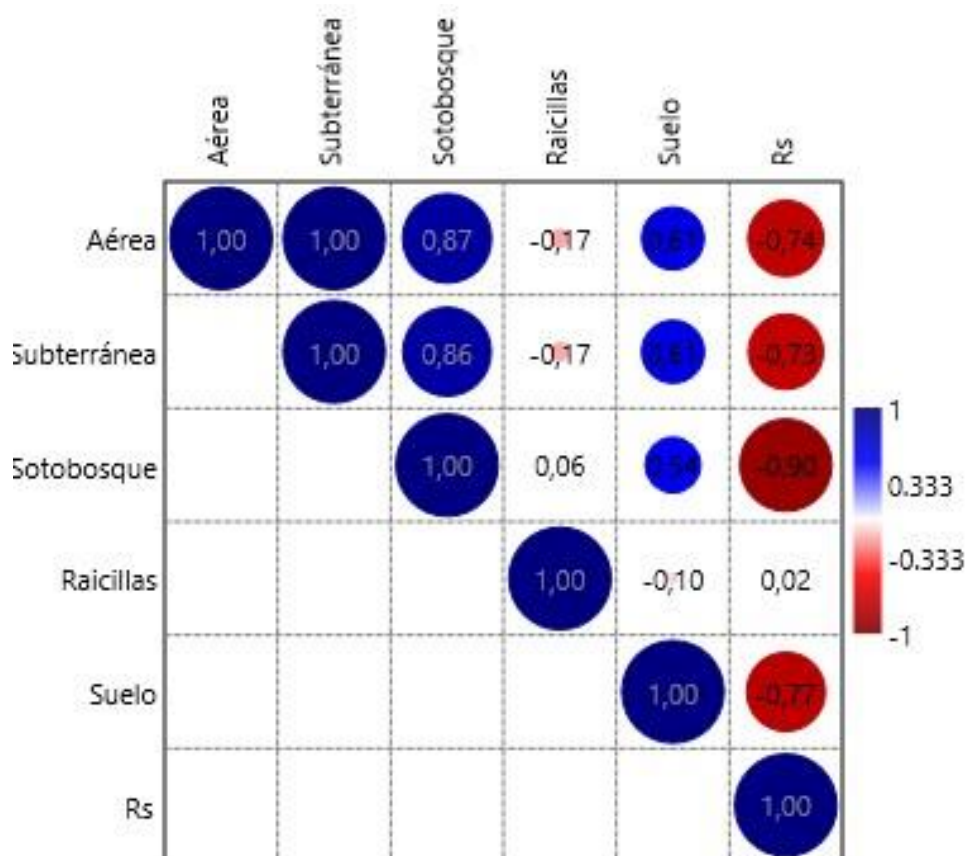


Ilustración 4-23: Correlación de Pearson de carbono entre las variables de humedales en bosques

Realizado por: Carrasco, P.; Paca, D., GIDAC, 2023.

La variable de biomasa aérea mostró un coeficiente correlación directa perfecta ($r= 1$) con biomasa subterránea, con sotobosque tiene una correlación positiva fuerte ($r=0,87$) y en el suelo la correlación fue positiva moderada ($r=0,61$); mientras que la biomasa aérea con la respiración suelo fue correlación negativa fuerte ($r=-0,74$), debido a esto su relación es indirecta ya que al aumentar el carbono en biomasa aérea disminuirá la respiración del suelo.

La correlación de biomasa subterránea con sotobosque fue positiva fuerte ($r=0,86$), con suelo fue positiva moderada ($r=0,61$) y con la Rs fue negativa fuerte ($r=-0,73$). Mientras que el carbono en sotobosque tuvo correlación con el suelo que fue positiva moderada ($r=0,54$), mientras que sotobosque con la Rs fue fuerte negativa ($r=-0,90$).

Por otra parte, la correlación de suelo con la Rs fue de fuerte negativa ($r=-0,77$). Por lo que, al incrementarse la Rs tiende disminuir el carbono en biomasa aérea, subterránea, sotobosque,

raicillas y suelo. Debido a esta correlación se conoce la relación de carbono en diferentes depósitos influyendo en el flujo de carbono de estos ecosistemas.

4.5. Discusión de resultados

4.5.1. Condiciones fisicoquímicas en el suelo y el secuestro de carbono orgánico en los humedales de bosques

A pesar de inexistencia de información sobre la cuantificación de flujo de carbono en humedales de bosque se logró comparar los resultados con ecosistemas similares, bosques andinos, humedales, etc., con características similares a la zona de estudio. Para verificar el secuestro de carbono en humedales de bosques se determinó parámetros físicos químicos y el carbono orgánico que se concentran en estos ecosistemas (Martínez et al., 2008); es así que se obtuvo un suelo con pH ligeramente ácido (5,97–6,5), con conductividad (0,06 –0,08 ds/m) correspondiente a suelos no salinos, con una cantidad significativa de carbono 6,71% (0-30 cm) y 5,98% (30-60cm); siendo similares al estudio realizado por Pinzón en bosques donde reporta carbono orgánico significativo (5,54 a 10) % acumulándose en las capas superficiales (1-90 cm), con mayor materia orgánica (11,70) %, con un pH (5 a 6) siendo suelos ligeramente ácidos, menor humedad (45-50%) por la mínima saturación de agua, densidad aparente alta (0,42 a 0,94) g/cm³ debido a alteraciones en el suelo (Pinzón, 2022, págs. 4-45) .

Mientras que en el año 2021 en el estudio denominado “Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del humedal Ramsar Laguna de la Cocha” indica la conductividad en humedales entre 0,05 a 0,06 ds/m siendo suelos no salinos que indican que están en proceso de restauración debido a las modificaciones en el suelo (Coral, 2021, págs. 40-55). A pesar de que el suelo es ligeramente ácido permite el crecimiento de cualquier vegetación deduciendo la buena calidad para cultivos y pastizales y su lenta descomposición de materia orgánica (Suárez et al., 2016, págs. 171-177). Por otra parte, las alteraciones de la mesofauna por las actividades humanas, y mayor compactación hace que las condiciones fisicoquímicas regulen el ciclo de carbono tratando de restaurar los ecosistemas y por consiguiente acumular carbono necesario en todos los depósitos (Zúñiga et al., 2018, pág. 183).

4.5.2. Estado de conservación del carbono orgánico en biomasa aérea y subterránea (raicillas)

En cuanto al carbono en biomasa aérea (4,20) % y sotobosque (6,20) % se comparó con estudios correspondiente a bosques andinos debido a su altitud y sus características similares. El estudio de comparación de reservorios de carbono en el suelo y flujos de gas de carbono reporta valores de CO (7,54) % en la biomasa aérea con una densidad poblacional alrededor de 134 árboles/ha (Hernández et al., 2018, págs. 5-16) ; mientras que la biomasa de sotobosques herbáceas acumula el 6% de carbono (Morales et al., 2020, págs. 5-13); estos resultados corresponden a la diversidad de especies, mayor área basal, altura total y mayor producción de vegetación, por lo que existe una mayor acumulación de carbono (Amaguaya, 2015, págs. 20-32). Es así como al comparar con los valores de nuestro estudio se observa una menor cantidad de CO en biomasa aérea, ya que se observó una menor diversidad de especie (tres especies predominantes: *Latifoliada*, *Miconia jahnii* y *Miconia bracteolata*) en todas las parcelas de estudio con altura total < 8 m. En cuanto a sotobosque (especies < 5 cm) en algunas parcelas se observó leves modificaciones del suelo y se registró pesos menores a la misma área (2500 m²); sin embargo, existe una cantidad de carbono significativo en este depósito, debido a que estos suelos permiten el crecimiento de cualquier vegetación produciendo una cantidad considerable de vegetación herbácea.

Para los resultados de carbono en raicillas (biomasa subterránea) en nuestro estudio se encontró valor significativo de 8,04 %, siendo similar al estudio de estimación del contenido de carbono en biomas aérea donde presenta alrededor de 8-10%, debido a la mayor concentración de raíces a una profundidad de 15 hasta 30 cm por el sistema de vegetación forestal y sotobosque herbácea que se desarrollan en estos ecosistemas (Romero et al., 2022, págs. 1-14); sin embargo, la cantidad de raicillas y el carbono en ellas tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad.

Por tanto, el estado de conservación del CO en estos dos depósitos se considera en amenaza debido a la concentración mínima de CO en biomasa aérea donde se identificó menor diversidad de especies debido a la posible deforestación y cambios de uso de suelo; sin embargo, el CO en sotobosques y raicillas es significativa efectuando así la inestabilidad del ciclo carbono lo cual permite escasez en uno de los depósitos. Mediante la correlación de Pearson se corroboró la relación directa e indirecta del CO en los depósitos y suelo. Teniendo una relación indirecta la respiración del suelo con el carbono en biomasa aérea, subterránea, sotobosque, raicillas, y suelo.

4.5.3. Respiración del suelo en humedales de bosques

Los estudios referentes al flujo de carbono en humedales de bosques altoandinos son escasos, por este motivo se evaluó la respiración edáfica y otros parámetros, en comparación con estudios realizados en bosques, humedales tropicales y paramos. Las variaciones de la Rs se deben a las

cantidades disponibles de COS en el suelo, en donde las zonas con menores cantidades de COS inducen al aumento de la Rs y en las zonas con mayores cantidades de COS disminuyen la tasa de Rs (Hursh et al., 2017, págs. 2090-2103). Además, Cruz manifiesta que la relación negativa entre Rs y COS se debe a que la Rs está siendo controlada en mayor parte por los factores ambientales como: temperatura, humedad y precipitación, en función al lugar y estacionalidad del ecosistema (Cruz et al., 2021, págs. 1-17). En la presente investigación se presentan emisiones promedio de CO₂ en Llacud 0,494 mg CO₂/Kg de suelo *d y en Guayllabamba 0,609 mg CO₂/Kg de suelo *d; donde se presenta bajas emisiones de CO₂ debido a la humedad que es mayor al 80% y produce una saturación de los poros del suelo que restringe el oxígeno libre (Barrales et al., 2014, págs. 12-15).

4.5.4. Correlación de flujo de carbono

De acuerdo con Fiallos los valores del coeficiente de correlación oscilan entre 0-1; donde la correlación baja corresponde a valores < a 0,4, correlación moderada valores entre 0,41-0,6 y correlación alta valores > a 0,6. En la presente investigación se tomó valores con nivel de significancia mayor a 0,6; donde presentaron correlaciones positivas entre biomasa aérea con subterránea (1,00), sotobosques (0,87), suelo (0,61); también las variables de la biomasa subterránea con sotobosque (0,86), suelo (0,61). Por otra parte, la variable de respiración que se correlaciona negativamente fueron la respiración del suelo con biomasa aérea (-0,74), subterránea (0,73), sotobosque (-0,90) y suelo (-0,77).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El secuestro de carbono en suelo de humedales de bosques es significativo tanto en la zona de LLucud (6,95% y 5,74%) y Guayllabamba (6,47% y 5,98 %) debido a las características fisicoquímicas a dos profundidades (0-30 y 30-60 cm) siendo suelos ligeramente ácidos (5,97-6,07), con conductividad eléctrica baja (0,08-0,07ds/m), con mayor materia orgánica (9,90-11,98%), una clase textural predominante franca y el color 10YR (amarillento-gris).
- El estado de conservación de carbono en humedales de bosques en función a los diferentes depósitos donde: en biomasa aérea (4,55 y 3,33%) contiene menor carbono por la menor diversidad de especies, menor DAP y su altura total de los árboles; en sotobosques es significativo (6,62-5,78%), mientras que en raicillas es 8,64 y 7,43%, por lo que este ecosistema se encuentra bajo amenaza debido a menor carbono en biomasa aérea, alteración del suelo (características fisicoquímicas evaluadas) y posiblemente por actividades antropogénicas que generan impactos negativos en estas zonas.
- La variabilidad de la respiración del suelo en LLucud (LL) y Guayllabamba (G) tuvo un promedio total de (0,494 y 0,609 mg CO₂ /Kg de suelo *d), con promedios totales de temperatura (8,68 y 9,31 °C) y humedad de (96,5 y 88,82 %) respectivamente. Lo que demuestra que las emisiones de CO₂ son bajas posiblemente a la baja actividad biológica, bajas temperaturas, altos porcentajes de humedad que sobrepasan el punto de saturación (80%) y debido a que existe mayor COS.

5.2. Recomendaciones

- Socializar con las autoridades municipales y los habitantes de las comunidades de Llucud y Guayllabamba, con la finalidad de dar a conocer los resultados del estudio, el comportamiento estos ecosistemas, su importancia y los efectos negativos que causa la deforestación al medio ambiente.
- Estos datos generados como base para la política pública y de esta manera conservar los humedales de bosques considerando la biodiversidad de vegetación que existen en ellos, ya que estos logran secuestrar grandes fuentes de carbono y almacenarlo en el suelo evitando así grandes emisiones de gases de efecto invernadero.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ADACHIA, Minaco; et al.** “Estimation of global soil respiration by accounting for land-use changes derived from remote sensing data”. *Journal of Environmental Management* [en línea], 15 de 09 de 2017, vol. 200(15). págs. 97-104. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479717305613>
2. **AGUIRRE MENDOZA, Zhofre; et al.** “Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador”. *Arnaldoa* [en línea], vol. 24, n°02(2017). págs. 543-556. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a07v24n2.pdf>
3. **AGUIRRE MENDOZA, Zhofre; et al.** “Estimación del carbono acumulado en una parcela permanente de bosque andino en el parque universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador”. *Arnaldoa* [en línea], 2018, vol. 25(3). págs. 939-952. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v25n3/a07v25n3.pdf>
4. **ALDANA, Rossybeth.** Equilibrio entre el CO₂ del ambiente y CO₂ capturado por biomasa de especies forestales ornamentales y en el suelo en la Av. Trapiche Comas. 2017 [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería. Lima-Perú. 2017. págs. 1-110. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/13053/Aldana_LR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. **ALVIS-CCOROPUNA, Tania; et al.** “Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú)”. *Revista de Investigaciones Altoandinas* [en línea], 2021, vol. 23(3). págs. 138-140. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v23n3/2313-2957-ria-23-03-139.pdf>
6. **AMAGUAYA, José Luis.** Determinación de carbono en el suelo de bosque nativo de ceja andina en el sector Guangra, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2015. págs. 20-32. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/3883/1/33T0135%20.pdf>

7. **ANDRADE CASTAÑEDA, Hernán.** *Estimación rápida y sencilla del carbono en la biomasa de bosques andinos y altoandinos y herbazales no arbolados del Tolima y Boyacá, Colombia* [en línea]. Ibagué: Sello Editorial Universidad del Tolima. 2019. pág.63. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://repository.ut.edu.co/entities/publication/6b45ffbb-a351-4c5d-a6aa-57c6c4aed22c>
8. **ASTUDILLO, Diana.** “Actividad minera en humedales altoandinos del Ecuador y la emisión de dióxido de carbono”. *Gestión de riesgos ambientales y cambio climático* [en línea], 08 de julio de 2022, vol. 5(e216). págs. 1-9. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e216>
9. **ÁVILA, Gabriel; et al.** “Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono en un bosque de clima templado-frío de Durango, México”. *Rev. Fitotec. Mex* [en línea], 2019, Vol. 42(2). págs. 119-127. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n2/0187-7380-rfm-42-02-119.pdf>
10. **BARRALES, Edgar; et al.** “Determinación in vitro de las emisiones de CO2 en muestras de mantillo”. *Agro ciencia*, vol. 48, n°7 (2014), (Montecillo, Estado de México). págs. 12-15.
11. **BARREZUETA-UNDA, S.; et al.** “Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el Oro-Ecuador”. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, vol. 19, n° 2 (2020), (Ecuador). págs. 25-35.
12. **BELTRÁN-DÁVALOS, Andrés A; et al.** “Evaluation of Soil Organic Carbon Storage of Attilo in the Ecuadorian Andean Wetlands”. *Soil Systems* [en línea], 2022, vol. 6 (92). pág. 2-11. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2571-8789/6/4/92>
13. **BRACAMONTES, Luis; et al.** *Manual de indicadores biológicos de la salud del suelo*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 2018. págs. 4-91.
14. **BRAENDHOLT, Andreas; et al.** “Overestimation of closed-chamber soil CO2 effluxes at low atmospheric turbulence”. *Biogeosciences* [en línea], 2017, vol.14 (1), págs. 1603–1616. [Consulta: 15 octubre 2023.]. Disponible en: <https://bg.copernicus.org/articles/14/1603/2017/>

15. **BURBANO ORJUELA, Hernán.** “El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático”. *Revista De Ciencias Agrícolas* [en línea], 2018, vol. 35(1), págs. 82-96. [Consulta: 15 octubre 2023.]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
16. **BUSSMANN, Rainer W.** “Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso”. *Revista Peruana de Biología* [en línea], 2005, vol. 12(02), págs. 203-216. [Consulta: 15 octubre 2023.]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332005000200006&script=sci_abstract
17. **CABRERA, Karen & SANAGUANO, Luis.** Efectos del cambio de uso en la dinámica del carbono orgánico asociado a agregados del suelo bajo bosque ceja andina [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2019. págs. 30-50. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5678/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2019-0011.pdf>
18. **CAMPOS, Adolfo.** “Trends in soil respiration on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (Mexico): Environmental contributions”. *Catena* [en línea], 2014, vol 114(1). págs. 59-66. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816213002543>
19. **CARANQUI, Jorge.** *Estudios básicos de bosques montanos del centro del Ecuador.* Riobamba: Editorial Académica Española, 2011. págs. 1-77.
20. **CÁRDENAS, Myriam.** Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador. 2015. págs. 38-45. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9368/1/UPS-QT071111.pdf>
21. **CARGUA CATAGÑA, Franklin; et al.** “Evaluation of Environmental Services of an Andean Brow Forest for Resource Management in High Andean Areas”. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* [en línea], 2019, vol. 8(2). págs. 149-156. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7153084>

- 22. CARGUA, Franklin.** “Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (*Pinus radiata*) y en estrato de páramo de ozogoche bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador”. *Información Tecnológica* [en línea], 2014, vol. 25(3). págs. 83-92. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v25n3/art11.pdf>
- 23. CEPSA, D.** *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI)* [en línea]. S.l.: CEPSA. 2015. págs. 3-13. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- 24. CHEN, Zengming; et al.** “Soil autotrophic and heterotrophic respiration in response to different N fertilization and environmental conditions from a cropland in Northeast China”. *Soil Biology and Biochemistry* [en línea], 2017, vol. 110(1). págs. 103-115. [Consulta: 11 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071716306861>
- 25. CHILUIZA, Brayan.** Evaluación de los humedales del sistema lacustre en la laguna Magdalena-Atillo del parque nacional Sangay como sumidero de carbono [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2020. págs. 3-86. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13800/1/236T0477.PDF>
- 26. CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR.** *Constitución de la Republica del Ecuador* [En línea], 2008. [Consulta: 15 octubre 2023]. Disponible en: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- 27. CORAL PAREDES, Eliana.** Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del humedal Ramsar Laguna de la Cocha [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia. 2021. págs. 40-55. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81882/1085932954.2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 28. CORREA, Francisco; et al.** “Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales”. *Rev. Chilena de Historia Natural*, vol. 84, n°1 (2011), págs. 326-335.

- 29. CRUZ, Yadihra; et al.** “Respiración del suelo en un bosque templado de México y su relación con el carbono orgánico”. *Madera y Bosques* [en línea], 2021, vol. 27(2). págs. 1-17. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v27n2/2448-7597-mb-27-02-e2722153.pdf>
- 30. DABADIE, Mariana; et al.** “Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en inceptisoles del NE de entre Ríos”. *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 117, n°1(2018), págs. 157-162.
- 31. ENGER, Eldo & SMITH, Bradley.** *Ciencia Ambiental: un estudio de interrelaciones*. México: China McGraw-Hill, 2006. págs. 4-475.
- 32. FAO.** *El trabajo de la FAO sobre cambio climático, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. S.l.: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015. págs. 1-35.
- 33. FERNÁNDEZ LINARES, Luis Carlos; et al.** *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación* [en línea]. México. : Biblioteca Digital (CIGA) de la SEMARNAT, 2006. págs. 11-170. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>
- 34. FIALLO, Germán.** “La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados”. *Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 5, n° 3(2021), (Ambato). págs. 2491-2509.
- 35. FLORES, Lourdes & ALCALÁ, Jorge.** *Manual de procedimientos analíticos física de suelos* [en línea]. México: Instituto de Geología (UNAM), 2010. págs. 3-54. [Consulta: 10 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>
- 36. GARCÍA, Guillermo.** *Una manera de combatir el cambio climático: Captura de CO2 por Medio de Árboles Artificiales*. Nicaragua: Temas Nicaragüenses. 2018. págs. 43-49.
- 37. GONZÁLEZ, Marcos; et al.** “Comentarios sobre bosques pantanosos, humedales importantes del centro-sur de Chile”. *Gestión Ambiental* [en línea], 2003, vol. 9(1). págs. 3-13. [Consulta: 08 octubre 2023.] Disponible en: <https://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/583/1/Gonz%C3%A1lez%20Hauen>

stein%2C%20Pe%C3%B1a-

Cort%C3%A9s%2C%20Garc%C3%ADa%2C%20Urrutia.%20Comentarios%20sobre%20bosques%20pantanosos%2C%20humedales%20importantes%20del%20centro-sur%20de%20Chile.pdf

38. **GUERRERO, Omar Antonio; et al.** “Caracterización y clasificación geo ecológica y ambiental: humedales altoandinos de la provincia de Loja- Ecuador”. *Revista de docencia, investigación y proyección social de la PUCE-SI* [en línea], 2022. vol. 1(26). págs. 19-28. [Consulta: 08 octubre 2023.] Disponible en: <https://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/742>
39. **GURMENDI, Chabelly & ORIHUELA, Witni.** Valoración económica de la reserva de carbono de Escallonia resinosa en San Pedro de Saños y Pucará [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú. 2019. págs. 25-40. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5320/T010_72371775_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
40. **HANSON, PJ: Edwards; et al.** “Separación de las contribuciones microbianas de las raíces y del suelo a la respiración del suelo: una revisión de métodos y observaciones”. *Biogeochemistry* [en línea], 2000, vol. 48(1). págs. 115-146. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/216811516_Hanson_PJ_Edwards_NT_Garten_CT_Andrews_JA_Separating_root_and_soil_microbial_contributions_to_soil_respiration_A_review_of_methods_and_observations_Biogeochemistry_48_115-146
41. **HERNÁNDEZ RAMOS, Jonathan; et al.** “Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de Eucalyptus urophylla S. T. Blake”. *Agrociencia*, vol. 51, n° 1 (2017), págs. 921-938.
42. **HERNÁNDEZ, María; et al.** “Comparación de reservorios de carbono en el suelo y flujos de gas de carbono en humedales forestales costeros y pastizales inundados en Veracruz, México”. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* [En línea], vol. 11, n°1(2018). págs. 5-16.

- 43. HIROTA, Mitsuru; et al.** “The potential importance of grazing of carbon dioxide and methane in an alpine wetland on the Quinhai-Tibetan Plateau”. *Atmospheric Environment* [en línea], 2005, vol. 39(1). págs. 5255-5259. [Consulta: 03 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222539458_The_potential_importance_of_grazing_of_carbon_dioxide_and_methane_in_an_alpine_wetland_on_the_Quinhai-Tibetan_Plateau
- 44. HONORIO, Eurídice & BAKER, Timothy.** *Manual para monitoreo del ciclo de carbono en bosques Amazónicos* [en línea]. Perú: E. N. Honorio Coronado. 2010. págs. 7-44. [Consulta: 03 septiembre 2023]. Disponible en: https://rainfor.org/wp-content/uploads/sites/129/2022/06/Honorio_Baker2010-Manual-carbono.pdf
- 45. HUAMÁN, Mary; et al.** “Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos”. *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2021, vol. 12(1). págs. 83-90. [Consulta: 03 septiembre 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v12n1/2306-6741-agro-12-01-83.pdf>
- 46. HURSH, Andrés; et al.** “The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale”. *National Library of Medicine* [en línea], 2017, vol. 23(5). págs. 2090-2103. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27594213/>
- 47. ILLANES, J; et al.** *Análisis del Sistema de Explotación de la balsa y sus impactos socio económicos y ambientales en territorios indígenas de amazonia*. Quito, Ecuador: s.n., 2022. págs. 35-50.
- 48. IPCC.** *Cambio Climático 2007. Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad* [en línea]. S.l.: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. 2007, págs. 3-113. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>
- 49. IPCC.** *Climate Change* [en línea]. S.l.: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. 2001. págs. 35-135. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf

- 50. IZQUIERDO BAUTISTA, Jaime & ARÉVALO HERNANDÁNDEZ, Jhon.** “Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación”. *Revista Ingeniería y Región* [en línea], 2021. Vol. 26, págs. 25-36. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/2527>
- 51. JARAMILLO, Daniel F.** *Introducción a la Ciencia del Suelo*. s.l.: Universidad Nacional de Colombia., 2002. págs. 24-569.
- 52. KEENAN, TF. & WILLIAMS, CA.** “The Terrestrial Carbon Sink”. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 43, n°1(2018), págs. 219-243.
- 53. LEFEVRE, Clara; et al.** *Carbono orgánico en el suelo* [en línea] Sandro Federici; et al. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017.págs. 1-74. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf>
- 54. LÓPEZ, Jorge; et al.** “Humedales”. *Atlas del Patrimonio Natural*, vol. 1(2010). pág. 4. [Consulta: 08 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267214046_Humedales
- 55. LUTERS, Alberto & SALAZAR, Juan Carlos.** *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. s.l.: Instituto de Calidad, 2000. págs. 1-79.
- 56. LUZA, Indira.** Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, 2014 [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú. 2014. págs. 97-105. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7530/3/IV_FIN_107_TE_Luz_a_Eyzaguirre_2014.pdf
- 57. MAE.** *Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador* [en línea]. Quito: Ministerio del Ambiente. 2015. págs. 5-164. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- 58. MAE.** *Manual de Campo de evaluación Nacional de monitoreo forestal* [en línea]. Quito: Ministerio del Ambiente. 2012. págs. 10-20. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://enf.ambiente.gob.ec/web_enf/documentos/enf-ManualCampo.pdf

- 59. MARTÍNEZ H, Eduardo; et al.** “Carbono orgánico y propiedades del suelo”. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, vol. 8, n°1(2008), págs. 68-96.
- 60. MARTÍNEZ, Julia & FERNÁNDEZ, Adrián.** *Cambio climático una visión desde México* [en línea]. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2017. [Consulta: 12 septiembre 2023]. Disponible en: [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-\(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf)
- 61. MARTÍNEZ, Julia & FERNÁNDEZ, Adrián.** *Cambio climático: una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología, 2004. págs. 75-83.
- 62. MENA VASCONÉZ, Patricio.** *Páramo: paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. Abya-Yala: Eco Ciencia: ECOBONA, 2011. pág. 386.
- 63. MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** *Ley de Gestión Ambiental, Codificación*. 2004.
- 64. MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** *Texto unificado de Legislación secundaria de Medio Ambiente*. 2017.
- 65. MOITINHO, Mara Regina; et al.** “On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production”. *Soil and Tillage Research*, vol. 148, (2015). págs. 127-132.
- 66. MORALES, SM, & VÁSQUEZ, VM.** Valoración económica de la captura de carbono en las especies *Podocarpus Sprucei* y *Oreocallis grandiflora* en el bosque protector aguarongo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador. 2019. págs. 1-186. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16640/4/UPS-CT008067.pdf>
- 67. MORALES-INOCENTE, Miguel; et al.** “Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México”. *Investigación y Ciencia*, vol. 28, n°80(Enero de 2020), págs. 5-13.

- 68. OJEDA, Ernesto.** Impactos de cambio de uso en coberturas de bosque a pasto en suelos de la comunidad de LLucud de la provincia de Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2017. págs. 1-60. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4178/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0007.pdf>
- 69. PAÑA, Daniel.** Determinación de la respiración edáfica en el páramo de igualata, provincia de Chimborazo, Ecuador [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2022. págs. 4-48. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17614/1/236T0613.pdf>
- 70. PAZ, F.; et al.** *El papel del programa mexicano del carbono en México en relación a los suelos*. Texcoco, Estado de México: Programa Mexicano del Carbono, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo., 2012.
- 71. PEÑA SALAMANCA, Enrique; et al.** *Monitoreo del ciclo del carbono en Ecosistemas de alta montaña del neotrópico. Métodos y estudios de caso*. Colombia: Universidad del Valle. 2013. págs. 45-75.
- 72. PINZÓN VALLEJO, Andrés.** Cuantificación del contenido de carbono orgánico edáfico en ecosistemas nativos e intervenidos, en la parroquia Quimiag, cantón Riobamba provincia de Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2022. págs. 4-45. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16126/1/33T00364.pdf>
- 73. RAMÍREZ, Álvaro & MORENO, Flavio.** “Respiración microbial y de raíces en suelos de Bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia)”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* [en línea], 2008, vol.61(1). págs. 4381-4393. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914077014.pdf>
- 74. RAMÍREZ, Marian; et al.** “Digestividad anaeróbica de biosólidos de aguas residuales usando el sistema Oxitop para estimar la producción de biogás”. *Revista de ID tecnológico* [en línea], 6 de Septiembre de 2021. págs. 1-8. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://codigestion.utp.ac.pa/wp-content/uploads/2021/09/2019-09-12.-Articulo-ID.-Digestion-anaerobia-de-biosolidos-de-aguas-residuales-por-actividad-economica.pdf>

- 75. RIVERA, Rossi; et al.** *Guía del patrimonio de áreas naturales protegidas del Ecuador* [en línea]. Ecuador: Investigación y Recopilación de Información. 2006. págs. 5-329. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.parks-and-tribes.com/national-parks/introduccion-areas-protegidas-ecuador.pdf>
- 76. RODRÍGUEZ, Marco & CARGUA, Franklin.** Elaboración de un inventario forestal multipropósito con énfasis en el contenido de carbono de las diferentes clases de uso de tierra [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2013. págs. 1-199. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/2794>
- 77. ROMERO-SÁNCHEZ, Martín; et al.** “Análisis y estimación del contenido de carbono en pastizales halófilos de la zona central semi-árida de México”. *Revista Terra Latinoamericana*, 40, (2022.). págs. 1-14. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v40/2395-8030-tl-40-e1007.pdf>
- 78. ROULET, Nigel.** “Turberas, almacenamiento de carbono, gases de efecto invernadero y el Protocolo de Kioto: perspectivas e importancia para Canadá”. *Wetlands* [en línea], 2000, vol. 20. págs. 605–615. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: [https://link.springer.com/article/10.1672/0277-5212\(2000\)020\[0605:PCSGGA\]2.0.CO;2](https://link.springer.com/article/10.1672/0277-5212(2000)020[0605:PCSGGA]2.0.CO;2)
- 79. RÜGNITZ, Marcos; et al.** *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades* [en línea]. Perú: Centro Mundial Agroforestal. 2009. págs. 3-59. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: http://www.aacidcf.org.co/Ponencias/2016/septiembre/MI120916-1/Ref.7.Guia_Carbono.pdf
- 80. RUIZ, Cristian.** Estimación de carbono en tres depósitos naturales del ecosistema herbazal de páramo en la microcuenca cachipara comunidad Llucud, cantón Chambo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2018. págs. 50-65. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4775/1/UNACH-EC-ING-AMB-2018-0006.pdf>
- 81. RUSSO, Ricardo.** “Los sumideros de carbono y los biocombustibles: su papel en el cambio climático global”. *Sostenibilidad*. vol. 5, n°9(2009). págs. 1-4.
- 82. SÁNCHEZ, Marelsi.** *Ciencias Naturales Química y Biología*. Perú: s.n., 2019.

- 83. SANDOVAL, Juan; et al. 2022.** “Reservas de carbono y micro morfología de la materia orgánica en suelos ribereños en tres ecosistemas de alta montaña: volcán Iztaccíhuatl”. *Madera y Bosques*, vol. 28, n°2(15 de 11 de 2022). págs. 1-16.
- 84. SARANGO, Francisco & TENEMPAGUAY, Wilson.** Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea, necromasa (hojarasca) y en el suelo en un bosque de pino en la comuna paquizhapa (provincia de Loja) [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador. 2020. págs. 1-126. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19153/1/UPS-CT008822.pdf>
- 85. SINGH, Ranjan; et al.** “Restoration of wetland ecosystem: a trajectory towards a sustainable environment”. *ResearchGate*, vol.1, (2020). págs. 30-40.
- 86. SUÁREZ DUQUE, D.; et al.** “Análisis del carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador”. *Ecología Aplicada*, vol. 15, n°2(2016), págs. 171-177.
- 87. TOLEDO, Guillermo; et al.** “Biomasa y respiración microbiana: Respuesta ante cambios en la humedad del suelo en la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina”. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, Vol. 12, n°3(2020), págs. 151-165.
- 88. UGAS Pérez, M.; et al.** “Cuantificación del flujo de CO₂ en el suelo colonizado por *Avicennia germinans*, emplazado en el humedal Laguna Grande, sector Los Totumos, estado Miranda, Venezuela”. *Miranda: La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* [en línea], 2022. vol. 35(1). págs. 85-97. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22256/1/Lgr_n35_Ugas_Calderón_Rivas_Núñez.pdf
- 89. VALDERRAMA, Christian; et al.** *Secuestro y almacenamiento de carbono: capturas de carbono por pagos de servicios ambientales*. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. 2019. págs. 106-117.
- 90. VARGAS-LARRETA, Benedicto; et al.** “Estimación de los almacenes de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango, México”. *Botanical Sciences*, vol. 101, n°1(2022), págs. 90-101.

- 91. VINUEZA, Luis.** Determinación del contenido de carbono en el suelo en una plantación de pino (*Pinnus radiata* d. don) implementada en el páramo en la comunidad de totoras, cantón Alausí, provincia de Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2015. págs. 4-110. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3888/1/33T0140%20.pdf>
- 92. VISTÍN-GUAMANTAQUI, Daniel & ESPINOZA-CASTILLO, Daniel.** “Estructura y Diversidad de Especies Arbóreas del Bosque Siempreverde Montano Alto del Parque Nacional Sangay-Ecuador”. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*, Vol. 7, (2021). págs. 1406-1430.
- 93. WEI, Shoucai; et al.** “Effect of soil temperature and soil moisture on CO2 flux from eroded landscape positions on black soil in Northeast China”. *Soil and Tillage Research*, vol. 144, (2014.), págs. 119-125.
- 94. XU, Ming & SHANGA, Hua.** “Contribución de la respiración del suelo a la ecuación global del carbono”. *Journal of Plant Physiology* [En línea], 2016, 20(1). págs. 16-28. [Consulta: 10 septiembre 2023]. ISSN 0176-1617. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161716301742>
- 95. YANÉZ, María; et al.** “Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra”. *Rev. Mex. de cienc. forestales* [en línea], 2017. vol. 8(42). págs. 1-22. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000400123
- 96. YÁNEZ, Patricio.** *Ecología y Biodiversidad: Un enfoque desde el Neotrópico*. Quito: s.n., 2014. págs. 2-15.
- 97. ZÚÑIGA UGALDE, Felipe; et al.** “Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia”. *Revista Terra Latinoamericana*, vol. 36, n°2(2018.), pág. 183.



ANEXOS

ANEXO A: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO



A1: Recolección de suelo con la olladora para DA.



A2: Sellar herméticamente los cilindros y etiquetarlas debidamente.



A3: Determinación de la Densidad aparente mediante cilindros.



A4: Medición del diámetro y altura de los cilindros.



A5: Determinación de color mediante la tabla de Munsell



A6: Determinación de Textura por la técnica de tacto.

ANEXO B: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

	
<p>B1: Agitación por 10 minutos de la mezcla de suelo con agua destilada.</p>	<p>B2: Determinación de pH.</p>
	
<p>B3: Determinación de conductividad eléctrica</p>	<p>B4: Tarar y etiquetar los crisoles</p>



B5: Muestras después de la estufa.



B6: Peso de Materia orgánica por incineración después de la mufla

ANEXO C: DETERMINACIÓN CARBONO EN SUELO



C1: Recolección del suelo (0-30 y 30-60 cm)



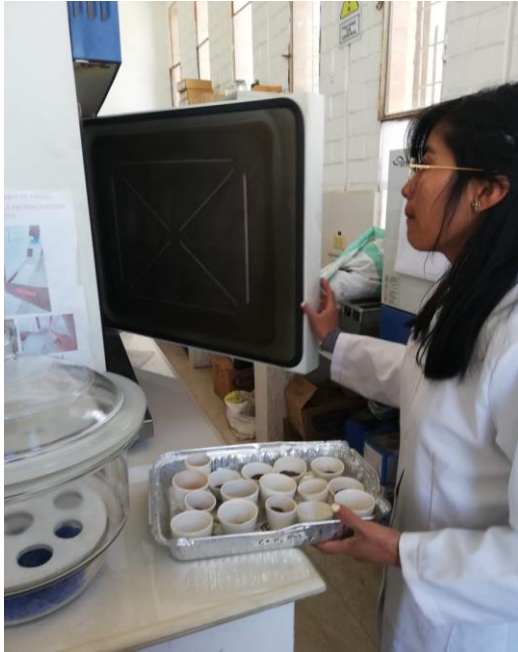
C2: Secado de muestras a temperatura ambiente



C3: Cuarteo y triturado de suelo.



C4: Colocar 5 g de suelo en crisoles.



C5: Crisoles con suelo después de la estufa



C6: Crisoles con suelo después de calcinación

ANEXO D: DETERMINACIÓN DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO



D1: Recolección del suelo y etiquetarla debidamente.



D2: Pesar 300 g de suelo y colocar en los frascos de oxitop.



D3: Colocar 30 ml de NaOH 1N en vaso de precipitación.



D4: Colocar el vaso de precipitación en los oxitop.



D5: Cerrar bien los frascos de oxitop.



D6: Anotación de los datos después de 5 días.

ANEXO E: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE BIOMASA AEREA



E1: Determinación de la parcela de 60x20 m.

E2: Medición del DAP de los árboles



E3: Estimación de altura total y comercial.

E4: Conteo de especies de árboles

ANEXO F: DETERMINACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA DE SOTOBOSQUE



F1: Determinación de la parcela de 50x50 cm



F2: Corte de toda la vegetación (subparcela)



F3: Peso de la biomasa húmeda y etiquetarla debidamente



F4: Corte y peso de la vegetación para secar



F5: Colocar en la estufa el sotobosque a 105°
C



F6: Sotobosque seco después de 24 horas

ANEXO G: DETERMINACIÓN DE CARBONO EN RAICILLAS



G1: Envolver los cilindros para mantener su humedad



G2: Medición de altura y diámetros de los cilindros



G3: Lavado de raicillas mediante los tamices



G4: Recolección de raicillas del tamiz.



G5: Raicillas pesadas y debidamente etiquetas para colocar en la estufa a 105° C

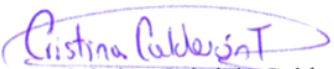


G6: Raicillas secas después de 24 horas



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 03/06/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Paola Johana Carrasco Satan Diana Elizabeth Paca Acan
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
 <p style="text-align: center;">Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD. Directora del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia, MsC. Asesora del Trabajo de Integración Curricular</p>