



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO SECUESTRADO EN
DIFERENTES ESTRATOS ALTITUDINALES EN EL
ECOSISTEMA HERBAZAL DEL ÁREA PROTEGIDA
“ICHUBAMBA YASEPAN”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR:

ANTHONY JOSÉ ESPINOSA ZAMBRANO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO SECUESTRADO EN
DIFERENTES ESTRATOS ALTITUDINALES EN EL
ECOSISTEMA HERBAZAL DEL ÁREA PROTEGIDA
“ICHUBAMBA YASEPAN”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR: ANTHONY JOSÉ ESPINOSA ZAMBRANO

DIRECTORA: ING. NORMA XIMENA LARA VÁSQUEZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Anthony José Espinosa Zambrano

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.

Yo, Anthony José Espinosa Zambrano, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo 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, lunes 04 de diciembre de 2023.

A handwritten signature in blue ink that reads "Anthony Espinosa". The signature is written in a cursive style.

Anthony José Espinosa Zambrano
1720714425

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación; **ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO SECUESTRADO EN DIFERENTES ESTRATOS ALTITUDINALES EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DEL ÁREA PROTEGIDA “ICHUBAMBA YASEPAN”**, realizado por el señor: **ANTHONY JOSÉ ESPINOSA ZAMBRAMO**, 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

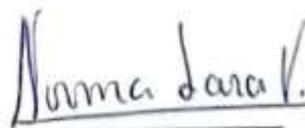
FECHA

Ing. Rosa del Pilar Castro Gómez Ph.D
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2023-12-04

Ing. Norma Ximena Lara Vásquez Ms.C
DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-12-04

Ing. Vilma Fernanda Noboa Silva Ms.C
ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-12-04

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la majestuosidad del ecosistema de páramo, que ha sido fuente de inspiración y razón principal para la realización del presente trabajo. A toda mi familia por su apoyo inquebrantable, a mi madre Rossana Zambrano, a mis abuelos Amparo Chavarría y José Zambrano por su esfuerzo, todo el tiempo invertido en mí y en mi proceso de estudio profesionalizante. A la naturaleza misma que nos enseña la importancia de preservar y entender el delicado equilibrio que sustenta la vida en cada ecosistema. Este trabajo de investigación es un modesto estudio tributo al compromiso con la conservación y la valiosa contribución que éstos ambientes brindan al secuestro de carbono orgánico. Que estas palabras reflejen mi profundo agradecimiento a aquellos que comparten el anhelo de proteger a nuestro planeta.

Anthony

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas y a la institución que hicieron posible la realización de este trabajo de integración curricular. A mi directora, asesora y docentes técnicos involucrados por su guía experta, conocimientos y ayuda en general, a mi familia por su apoyo incondicional y aliento para así permitirme obtener el título de Ingeniero Forestal. También agradezco a la Ingeniera Carolina Cevallos por su especial apoyo en la ejecución del presente trabajo. Este logro no habría sido posible sin la colaboración de ustedes. Muchas gracias por ser parte fundamental en mi proceso académico.

Anthony

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1	Planteamiento del problema.....	2
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
1.3	Hipótesis.....	2
1.3.1	<i>Hipótesis nula</i>	2
1.3.2	<i>Hipótesis alterna</i>	3

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.	Antecedentes.....	4
2.1.1.	<i>Calentamiento global y cambio climático</i>	4
2.1.2	<i>Efecto invernadero</i>	4
2.1.3.	<i>Gases de efecto invernadero</i>	5
2.1.4.	<i>Ecosistema</i>	7
2.1.5.	<i>Páramo</i>	7
2.1.6.	<i>Características del páramo</i>	8
2.1.6.1.	<i>Características bióticas y abióticas</i>	8
2.1.6.2.	<i>Flora</i>	9
2.1.6.3.	<i>Fauna</i>	9
2.1.6.4.	<i>Características del suelo</i>	10

2.1.6.5.	<i>Características meteorológicas</i>	10
2.1.6.6	<i>Servicios eco sistémicos</i>	10
2.1.7	<i>Zona altitudinal</i>	10
2.1.8	<i>Dióxido de carbono</i>	11
2.1.9	<i>Carbono Orgánico</i>	12
2.1.10	<i>Ciclo del carbono</i>	12
2.1.11	<i>Contenido de carbono en ecosistemas alto andinos</i>	13
2.1.12	<i>Métodos: Cuantificación de carbono</i>	14
2.1.12.1	<i>Método de Dumas o de combustión seca (Grewal et al., 1991)</i>	15
2.1.12.2	<i>Método de calcinación o pérdida por ignición (Schulte y Hopkins, 1996)</i>	15
2.1.12.3	<i>Método Walkey y Black</i>	15
2.1.13	<i>Secuestro y stock de carbono</i>	16
2.1.14	<i>Mercados de carbono</i>	17
2.1.15	<i>Diseño de parcelas</i>	18
2.1.15.1	<i>Parcela</i>	20
2.1.15.2	<i>Numero de parcelas</i>	21
2.1.15.3	<i>Tamaño y forma de las parcelas</i>	21
2.1.15.4	<i>Unidad muestral</i>	21
2.1.15.5	<i>Subunidades muestrales</i>	21
2.1.15.6	<i>Recolección de muestras</i>	21
2.1.16	<i>Proyecto GLORIA: Monitoreo de Contenidos y Flujos de Carbono en Gradientes Altitudinales Altoandinos</i>	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1	Enfoque de la investigación	23
3.2	Nivel de investigación	23
3.3	Diseño de investigación	23
3.3.1	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	24
3.3.2	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	24
3.4	Tipo de estudio	24
3.5	Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	24
3.5.1	<i>Calculo de la muestra</i>	25
3.6	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	26

3.6.1	<i>Materiales y equipos</i>	26
3.6.1.1	<i>Materiales y equipos de campo</i>	26
3.6.1.2	<i>Materiales y equipos de laboratorio</i>	27
3.7	Caracterización del área de estudio	27
3.7.1	<i>Ubicación geográfica</i>	27
3.7.2	<i>Delimitación del área de estudio</i>	28
3.8	Establecimiento de las parcelas	31
3.8.1	<i>Tamaño y forma</i>	31
3.8.2	<i>Número</i>	32
3.8.3	<i>Ubicación</i>	32
3.9	Recolección de muestras	33
3.9.1	<i>Recolección de muestras de necromasa</i>	33
3.9.2	<i>Recolección de muestras de biomasa</i>	33
3.9.3	<i>Recolección de muestras de suelo</i>	33
3.10	Metodología para los objetivos 1 y 2 Necromasa y Biomasa	34
3.10.1	<i>Estimación del contenido de carbono orgánico de la necromasa y la biomasa</i>	34
3.11	Metodología para el objetivo 3 Suelo	35
3.11.1	<i>Estimación del contenido de carbono orgánico secuestrado del suelo</i>	35

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	38
4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados	38
4.1.1	<i>Resultados contenido de carbono en necromasa (hojarasca)</i>	38
4.1.2	<i>Resultados contenido de carbono en biomasa aérea</i>	40
4.1.3	<i>Resultados contenido de carbono del suelo</i>	41
4.1.3.1	<i>Contenido de carbono a 30 cm de profundidad del suelo</i>	41
4.1.3.2	<i>Contenido de carbono a 60 cm de profundidad del suelo</i>	43
4.1.3.3	<i>Contenido de carbono a 90 cm de profundidad del suelo</i>	45
4.1.4	<i>Carbono orgánico total</i>	48
4.1.4.1	<i>Contenido de carbono a 3440 metros sobre el nivel del mar</i>	48
4.1.4.2	<i>Contenido de carbono a 3840 metros sobre el nivel del mar</i>	48
4.2	Inventario de especies de flora encontradas en el ecosistema herbazal en diferentes gradientes altitudinales	49
4.2.1	<i>Comprobación de la hipótesis</i>	50

CAPITULO V

DISCUSIÓN.....51

CAPITULO VI

6.1 CONCLUSIONES.....53

6.2 RECOMENDACIONES.....55

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Principales gases de efecto invernadero en la atmósfera (expresados en unidades equivalentes de CO ₂).....	5
Tabla 2-2: Emisiones de GEI correspondiente a sectores económicos en Ecuador (2010).....	6
Tabla 2-3: Distribución de los páramos en las provincias del Ecuador.....	8
Tabla 4-1: Resultados del análisis de carbono orgánico en la necromasa.....	38
Tabla 4-2: Medias ajustadas y errores estándares para estratos inversa de la función de enlace con efecto aleatorio = 0.....	39
Tabla 4-3: Resultados del análisis de carbono orgánico de la biomasa.....	40
Tabla 4-4: Medias ajustadas y errores estándares para estratos inversa de la función de enlace con efecto aleatorio = 0.....	41
Tabla 4-5: Resultados del análisis de carbono orgánico del suelo a 30 cm de profundidad. ...	43
Tabla 4-6: Medidas de ajuste del modelo.	43
Tabla 4-7: Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III).	44
Tabla 4-8: Medias ajustadas y errores estándares para Estratos. LSD Fisher (Alfa=0,05). Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni.	44
Tabla 4-9: Resultados del análisis de carbono orgánico del suelo a 60 cm de profundidad. ...	45
Tabla 4-10: Medidas de ajuste del modelo.	46
Tabla 4-11: Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III).	46
Tabla 4-12: Medias ajustadas y errores estándares para Estratos. LSD Fisher (Alfa=0,05). Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni.	46
Tabla 4-13: Resultados del análisis de carbono orgánico del suelo a 90 cm de profundidad. ...	47
Tabla 4-14: Medidas de ajuste del modelo.	48
Tabla 4-15: Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III).	48
Tabla 4-16: Medias ajustadas y errores estándares para Estratos. LSD Fisher (Alfa=0,05). Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni.....	48
Tabla 4-17: Contenido de carbono orgánico total a 3440 m.s.n.m.	49
Tabla 4-18: Contenido de carbono orgánico total a 3840 m.s.n.m.	50
Tabla 4-19: Especies de flora encontrada en las zonas de estudio a 3440 m.s.n.m.....	50
Tabla 4-20: Especies de flora encontrada en las zonas de estudio a 3840 m.s.n.m.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Esquema del flujo de carbono.....	12
Ilustración 2-2:	Diseño básico de las unidades y subunidades muestrales para la estimación y monitoreo de carbono en ecosistemas altoandinos.....	20
Ilustración 3-1:	Fórmula para el tamaño de la muestra propuesta por De la Hoz.....	25
Ilustración 3-2:	Mapa de ubicación geográfica de la zona del área protegida “Cooperativa Ichubamba Yasepan.....	28
Ilustración 3-3:	Recorrido para la toma de coordenadas y de la zona de muestreo.....	30
Ilustración 3-4:	Zona de estudio del área protegida Ichubamba Yasepan.....	31
Ilustración 3-5:	Diseño de muestreo estratificado al azar.....	32
Ilustración 4-1:	Contenido de necromasa Ton C/h a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.....	39
Ilustración 4-2:	Contenido de biomasa Ton C/h a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.....	41
Ilustración 4-3:	Contenido de carbono en suelo a 30cm Ton C/h a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.....	43
Ilustración 4-4:	Contenido de carbono en suelo a 60 cm Ton C/h a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.....	45
Ilustración 4-5:	Contenido de biomasa Ton C/h a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO B: DETERMINACIÓN DE ESTRATOS

ANEXO C: INSTALACIÓN DE LAS PARCELAS

ANEXO D: RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

ANEXO E: RECONOCIMIENTO DE ESPECIES VEGETATIVAS DE LA ZONA

RESUMEN

Las fuentes de información acerca de las cantidades de carbono orgánico secuestrado en los ecosistemas de páramo en el Ecuador son escasas y limitadas. Los contenidos de carbono orgánico merecen ser evaluados además con fines de conservación de los ecosistemas y generar información relevante que nos permita estudiar la influencia de diversos factores. La investigación se desarrolló en el área protegida “Cooperativa Ichubamba Yasepan”, en donde se establecieron parcelas con un diseño experimental estratificado al azar según los estudios del Proyecto CIMA. Para la estimación del carbono orgánico en ambos estratos altitudinales de 3440 y 3480 m.s.n.m, se colocan parcelas de 10 m², se establecen 2 parcelas circulares de 5 m y 2,5 m de radio dentro de la parcela, se establecen 4 subunidades muestrales de 15 cm² para las muestras de biomasa y necromasa, y con subunidades muestrales de 1 m² para el suelo en las esquinas de la parcela, con profundidades de 30, 60 y 90 cm. Para el análisis de carbono se usó el método de ignición LOI. Se recolectó las muestras. El análisis estadístico fue elaborado mediante Infostat con la interfaz de modelo lineal mixto generalizado. El resultado de carbono en las variables medidas fueron de 26,39 Ton C/ ha necromasa; 31,46 Ton C/ ha biomasa; 94,08 Ton C/ ha suelo a 30 cm; 126,36 Ton C/ ha a 60 cm y 331,3 Ton C/ ha a 90 cm en 3440 m.s.n.m. A 3840 m.s.n.m son de 23,06 Ton C/ ha; 31,52 Ton C/ ha; 48,2 Ton C/ ha; 59,56 Ton C/ ha y 73,12 Ton C/ ha en el mismo orden. Con los resultados se determinó que el carbono se almacena más en el estrato a 3440, mediante observaciones se concluyó que la cobertura vegetal presente propicia una elevada tasa de secuestro de carbono.

Palabras clave: <SECUESTRO DE CARBONO>, <ESTRATO ALTITUDINAL>, <VEGETACIÓN HERBAZAL>, <BIOMASA ÁEREA >, <NECROMASA >, <PÁRAMO>.

0101-DBRA-UPT-2024

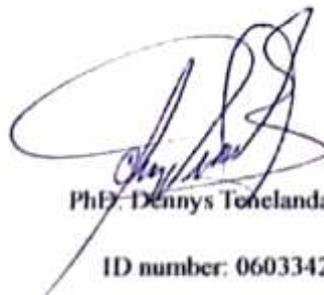


ABSTRACT

Sources of information about the quantities of organic carbon sequestered in paramo ecosystems in Ecuador are scarce and limited. The organic carbon contents also deserved to be evaluated for ecosystem conservation and to generate relevant information that allows studying the influence of various factors. The research aimed to protect the area “Cooperativa Ichubamba Yasepan”, where plots designed with a stratified randomized experimental design according to the studies of the CIMA Project. For the estimation of organic carbon in both altitudinal strata of 3440 and 3480 m a.s.l., plots of 10 m² are placed, two circular plots of 5 m and 2.5 m radius are established within the plot, four sampling subunits of 15 cm² are shown for the biomass and necromass samples, and with sample subunits of 1 m² for the soil in the corners of the plot, with depths of 30, 60 and 90 cm. The LOI ignition method is used for carbon analysis. The samples were collected. The statistical analysis used Infostat with the generalized linear mixed model interface. The carbon result in the measured variables was 26.39 Ton C/ha necromass, 31.46 Ton C/ha biomass, 94.08 Ton C/ha soil at 30 cm, 126.36 Ton C/ha at 60 cm, and 331.3 Ton C/ha at 90 cm at 3440 m.a.s.l. at 3480 m.a.s.l., they are 23.06 Ton C/ha, 31.52 Tons C/ha., 48.2 Tn C/ha 59.56 Ton C/ha, and 73.12 Ton C/ha in the same order. It was determined that carbon is stored more in the stratum at 3440. It was concluded that the vegetation cover promotes a high carbon sequestration rate.

Keywords: <CARBON SEQUESTRATION> <ALTITUDINAL STRATUM> <HERBAL VEGETATION> <AERIAL BIOMASS> <NECROMASS> <PARAMO>

Riobamba, January 16th, 2024



Ph.D. Dennys Tonclanda López
ID number: 0603342189

INTRODUCCIÓN

El páramo es un ecosistema neo tropical de montaña que se extiende a lo largo de toda la zona andina del Ecuador entre el límite del bosque de ceja andina y los nevados, se encuentra a altitudes de entre 2800 y 5000 metros sobre el nivel del mar en cordilleras o picos aislados. Existen varias estimaciones sobre la superficie ocupada por los páramos en el Ecuador (Jorgensen, y otros, 1999). Descontadas las zonas boscosas o antropizadas, los páramos ocuparían 12650 km² (León-Yáñez, 2000) casi un 7% del total del territorio del país. A nivel nacional de acuerdo con el Libro Rojo de plantas endémicas del Ecuador (León-Yáñez, y otros, 2011) se registraron 659 especies endémicas de plantas para el país. De estas 273 crecen exclusivamente en páramos, también posee más de 500 especies de fauna, una cantidad considerable.

El clima de baja temperatura, la descomposición lenta y acumulación de la materia orgánica junto a la capacidad de almacenamiento de agua, hace que los páramos sean sumideros que acumulan más carbono en comparación con otros ecosistemas. Éste carbono procede de diferentes fuentes como el carbono atmosférico fijado por las plantas a través de la fotosíntesis que se incorpora al suelo y el carbono que se agrega a través del aporte continuo de materia orgánica de distinto origen. El páramo ayuda a la regulación del clima al secuestrar el carbono evitando su liberación a la atmósfera y disminuyendo así los efectos del calentamiento global.

Estudios realizados demuestran que en páramos del norte de Ecuador, encontraron reservas de carbono orgánico secuestrado de entre 40 y 530 +- Ton C / ha (Tonnejck, y otros, 2010) . Sin embargo no se tiene información sobre el resto de hectáreas de páramo del país, por esto la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha comenzado actividades de investigación para conocer acerca de carbono orgánico en el páramo del área protegida “Ichubamba Yasepan” y así aportar con información relevante para el estudio de carbono en el páramo.

El presente trabajo aporta con conocimiento de mucho valor sobre la distribución de carbono orgánico en el suelo, en la biomasa y la necromasa del páramo, y la diferencia que pueden existir en estratos a diferentes altitudes.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Los páramos son considerados entornos estratégicos de gran importancia, son encargados de brindar servicios eco sistémicos como suministrar agua y ser sumideros de carbono; a pesar de la información disponible sobre éstos medios, son escasos los estudios acerca del carbono orgánico secuestrado en Ecuador, el cuál puede ser ampliamente acumulado gracias a las condiciones ambientales del mismo. El almacenamiento de carbono es un proceso que permite la mitigación del efecto invernadero mediante la toma de CO₂ emitido a la atmósfera, lo que resulta en impactos ambientales positivos y reduce las consecuencias del cambio climático.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo general*

Estimar el carbono orgánico secuestrado en diferentes estratos altitudinales en el ecosistema herbazal del área protegida “Ichubamba Yasepan”.

1.2.2 *Objetivos específicos*

Calcular la cantidad de carbono orgánico en la vegetación presente en el ecosistema herbazal.

Valorar la cantidad de carbono orgánico en la hojarasca presente en el ecosistema herbazal.

Evaluar la cantidad de carbono orgánico bajo el suelo a diferentes profundidades de 30, 60 y 90 cm.

1.3 Hipótesis

1.3.1 *Hipótesis nula*

La cantidad de carbono secuestrado en el ecosistema herbazal en diferentes estratos es similar

1.3.2 Hipótesis alterna

La cantidad de carbono secuestrado en el ecosistema herbazal en diferentes estratos no es similar.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 *Calentamiento global y cambio climático*

Ambos conceptos ligados entre sí, se refieren al estado de la temperatura del planeta y tienen significados diferentes. El cambio climático se refiere a las variaciones a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos; es considerado un problema social, de desarrollo y ético y está relacionado con la protección y supervivencia de la humanidad.

Desde la década de 1800, las actividades antrópicas o humanas han sido el principal impulsor del cambio climático, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles, que emiten gases de efecto invernadero (GEI); en éste proceso los gases se acumulan y actúan como una manta que envuelve a la Tierra, atrapando el calor del sol y elevando las temperaturas en la superficie.

Los principales gases de efecto invernadero que están causando el cambio climático debido a su gran cantidad son el dióxido de carbono y el metano (ONU, 2022).

Mientras que el calentamiento global es considerado como un incremento progresivo, proyectado y observado en la temperatura media de la superficie global terrestre, debido a la alteración en la diferencia entre la radiación solar absorbida y reflejada. Es el problema ambiental más importante de la época y está considerado como una de las dificultades más desafiantes para la supervivencia del ser humano.

2.1.2 *Efecto invernadero*

El efecto invernadero es un fenómeno terrestre en el que la atmósfera retiene radiación o energía calorífica proveniente del sol por medio de gases como dióxido de carbono (CO₂) y permite un calentamiento equilibrado del planeta haciendo que la temperatura media del planeta sea de alrededor de 14 °C, en las últimas décadas ha aumentado la concentración de gases de efecto invernadero lo que provoca un aumento adicional en la conservación de calor. Este fenómeno es

un problema actualmente debido al calentamiento global excesivo que tiene efectos negativos significativos en el clima del planeta Tierra.

2.1.3 Gases de efecto invernadero

Éstos son los gases que promueven la acción del efecto invernadero, son aquellos que permiten que se acumule energía que calienta la superficie terrestre. Estos gases atrapan la radiación infrarroja emitida por la tierra, que se encuentra en un equilibrio entre el consumo y la producción. La concentración de estos gases ha aumentado en el último siglo como consecuencia principal del consumo de combustibles fósiles (CO₂) y por actividades silvoagropecuarias (CH₄ y N₂O) los cuales contribuyen más del 25% de emisiones (Janssens-Maenhout et al., 2020, pp 12-14-17).

Tabla 2-1: Principales gases de efecto invernadero en la atmósfera (expresados en unidades equivalentes de CO₂).

GEI	Composición molecular	GWP (CO ₂)	Vida media (años)	Origen
Dióxido de carbono	CO ₂	1	50 a 200	Quema de combustibles fósiles de biomasa, incendios forestales.
Metano	CH ₄	23	12 + (-) 3	Cultivos, producción agropecuaria, residuos sólidos urbanos, emisiones industriales.
Óxido nitroso	N ₂ O	296	120	Fertilizantes, degradación de suelos, usos médicos.
Hidrofluorurocarbonos	HFC-23	12000	1,5 a 264	Refrigeración. Aire acondicionado, extinguidores, petroquímica, solventes en producción de espuma, aerosoles, refrigerantes,
	HFC-125	3400		
	HFC-134a	1300		
	HFC-152a	120		
	HFC-227a	3500		
	HFC-236a	9400		
	HFC-4310mee	1500		

Perfluorurocarbonos	CF ₄	5700	2600 a	producción de halocarbonos.
	C ₂ F ₄	11900	50000	Refrigerantes, producción de
	C ₄ F ₁₀	8600		aluminio, producción
	C ₆ F ₁₄	9000		y uso de halocarbonos, aerosoles.
Hexafluoruro de azufre	SF ₈	22200	3200	Aislante dieléctrico en transformadores e interruptores de redes de distribución eléctrica, refrigerante industrial, producción de aluminio, magnesio y otros metales, producción y uso de halocarbonos.

Fuente: Mendiola (2008). (Parte 1 y 2)

Según datos del Ministerio del Agua, Ambiente y Transición Ecológica (2010) las emisiones de CO₂ del Ecuador representaron un 0,16% de las emisiones globales, las actividades que más atribuyen a la emisión de GEI son las de uso, cambio de suelo y actividades silvoagropecuarias.

Tabla 2-2: Emisiones de GEI correspondiente a sectores económicos en Ecuador (2010).

Sectores	Gg de CO ₂ _eq	%
Energía	5381252	44,5
Procesos Industriales	2659250	3,3
Utilización de disolventes y otros productos		
Agricultura	14515940	18,0
Uso del suelo, cambio del uso de suelo y silvicultura	24171110	30,0
Residuos	3345410	4,2

Total	80504230	100
-------	----------	-----

Fuente: MAATE (2010).

2.1.4 Ecosistema

El ecosistema es concebido por muchos autores como el conjunto de organismos y el medio físico en el que se encuentran, interactuando en un lugar y entre sí. Es importante para entender los sistemas naturales con un alto grado de organización. Tiene la ventaja de ser globalmente aplicable y flexible, y puede adaptarse casi a cualquier situación. Cualquier sitio en el que se presenten estas condiciones de interrelación entre espacio y seres vivos, podría ser considerado como un ecosistema, sin importar el tamaño o lo breve que sea la duración de las interacciones (Armenteras, D et al., 2016).

Odum (1971) definió el ecosistema como “Cualquier unidad que incluya todos los organismos en un área dada interactuando con el ambiente físico, de forma que el flujo de energía lleva a definir estructuras tróficas, diversidad biótica y ciclos de materiales” (Odum et al., 1971).

2.1.5 Páramo

Los páramos son ecosistemas de montaña que se desarrollan por encima de los bosques andinos, a alturas desde los 3,000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) o superior. Por su ubicación en la zona ecuatorial, tienen clima frío todo el año, y sus suelos de origen volcánico suelen ser muy fértiles.

La gran mayoría de los páramos se encuentra en Colombia (42,48%) y Ecuador (37%), aunque también los hay en el norte de Perú, el occidente de Venezuela y en Costa Rica (Herrera Santoyo, 2013).

La Real Academia Española de la Lengua (1992) define páramo como un “terreno yermo, raso y desabrigado o como cualquier lugar sumamente frío; muchas veces se usa el término como sinónimo de “llovizna”. Por el clima frío y el aspecto uniforme de los pajonales, el nombre fue usado por los conquistadores españoles para esta zona de las montañas andinas.”

A continuación se representa la distribución espacial actual del ecosistema páramo en el Ecuador por provincias proveniente del Mapa de Sistemas Ecológicos de Páramo del Ecuador.

Tabla 2-3: Distribución de los páramos en las provincias del Ecuador.

Provincia	Extensión de Páramo (ha)	Extensión de la provincia (ha)	Total de páramos por provincia (%)
Azuay	295 696,5	800 846	36,92
Bolívar	41 511,8	393 798	10,54
Cañar	97 490,6	316 531	30,94
Carchi	67 119,1	360 436	18,62
Chimborazo	249 007,4	652 706	38,15
Cotopaxi	128 015,0	595 689	21,49
El Oro	26 696,2	573 644	4,65
Esmeraldas	3 032,0	1 523 481	0,20
Imbabura	101 789,6	461 575	22,05
Loja	83 572,0	1 085 280	7,70
Morona Santiago	252 653,0	2 392 937	10,55
Napo	363 379,0	1 316 629	20,59
Orellana	406,9	2 169 200	0,018
Pichincha	211 074,7	1 304 366	16,18
Santo Domingo de los Tsáchilas	9,3	352 300	0,026
Sucumbíos	85 092,0	1 773 472	4,79
Tungurahua	136 451, 0	347 091	39,31
Zamora Chinchípe	150 753,6	1 058 334	14,24
Total	2 157 298,7	17 478 315	

Fuente: Beltrán et al (2010).

2.1.6 Características del páramo

2.1.6.1 Características bióticas y abióticas

Se refiere a todos los organismos vivos e inertes que interactúan, estas relaciones establecidas condicionan su existencia entre sí. Los factores abióticos son los que determinan que tipo de organismo vivirá en un ecosistema, los factores bióticos modifican a los abióticos y figuran

elementos como el clima, el suelo, la calidad del agua, la latitud, el pH, la conductividad eléctrica y la humedad.

Los páramos tienen un importante valor científico, ambiental, ecológico y socioeconómico por su flora, fauna endémica y su paisaje único.

2.1.6.2 *Flora*

En términos de flora, la vegetación de los páramos se puede clasificar en tres grandes unidades de acuerdo con su fisonomía y estructura: subpáramo arbustivo, páramo de pajonal y superpáramo (Beltrán, Karla et al., 2009). A esto se suma la presencia de parches de bosques a veces monotípicos de *Polylepis*, *Gynoxys* y *Buddleja*, aparentemente remanentes de una extensión histórica mucho mayor de los bosques altoandinos que caracteriza en términos generales los hábitats de los páramos (Fjeldsá, 1993).

El páramo posee una vegetación compuesta principalmente por pajonales y existe también, una gran variedad de especies de tipos arbustivas, herbáceas y árboles pequeños. También existe una amplia variedad de microorganismos, bacterias y hongos en los suelos. De los taxones exclusivos del páramo, *Asteraceae*, *Orchidaceae*, *Gentianaceae* y *Poaceae* son los géneros más diversos con 44, 45, 25 y 18 especies respectivamente (Jorgensen y otros., 2011).

2.1.6.3 *Fauna*

La importancia biológica de los páramos se evidencia por el conjunto de seres vivos excepcionales, únicos y singulares que habitan allí. El clima tan extremo, de bajas temperaturas en la noche, de alta irradiación en el día, frecuencia de niebla y alta humedad por la lluvia, impuso una preparación especial a los seres que intentaban vivir en éste ecosistema. Esta preparación evolutiva de los seres ha resultado que varios de los animales en el páramo no se encuentren en ningún otro entorno en el mundo (Mena, Medina y Hofstede, 2001) (Mena-Vásquez et al., 2001).

Los páramos han cobrado importancia debido a que contienen una fauna singular, y de altos índices de endemismo de especies, lo que le da un valor ecológico relevante. Allí existe una rica fauna silvestre, osos, venados, aves, ranas, lagartijas e insectos para los que constituye un hábitat único.

Respecto a la fauna del páramo, se estima que la mayoría de las especies, especialmente de mamíferos y aves, utilizan el páramo como un corredor o zona de transición para realizar sus actividades en otras zonas de vida. Los mamíferos del páramo incluyen 70 especies, dentro de las cuales se tiene el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), el tapir lanudo (*Tapirus pinchaque*), el venado de páramo (*Mazama rufina*), el conejo de páramo (*Sylvilagus brasiliensis*), entre otros. En cuanto a las aves que se han registrado son cerca de 70 especies. De igual manera la diversidad faunística del páramo es evidente en herpetofauna e invertebrados (Llambi, 2012).

2.1.6.4 Características del suelo

El pH del suelo específico de los páramos, el cual se conoce mediante estudios, se encuentra dentro de los rangos de 6.1 a 6.5 y de 6.6 a 7.3 los cuales se interpretan como ligeramente ácidos y neutros respectivamente. Para la conductividad eléctrica se conoce que se encuentra dentro del rango de <4 mmHos/cm. La característica de humedad del suelo posee una humedad de aproximadamente el 30%. Para la velocidad de infiltración se conoce que es moderada de unos 10 a 15 cm/h de movimiento desde el exterior a interior del perfil del suelo. La textura del suelo en los páramos es franco arenoso y presenta niveles bajos de porcentaje de nitrógeno de alrededor 0,651% de N total (Cunalata, 2012).

2.1.6.5 Características meteorológicas

En el páramo la precipitación es continua y en gran cantidad a lo largo del año, el rango de precipitación en éste ecosistema está entre 600 y 3100 mm por año y la humedad relativa tiene un rango de 26 y 96% con un promedio aproximado de 70 – 85%. Su presión barométrica es de 662 hPa, ésta característica puede variar a la altitud en la que se encuentre en el páramo. Los páramos en Ecuador poseen un valor promedio de 86% en humedad, estos porcentajes pueden variar debido a que llueve más en meses como septiembre. Y registran velocidades de viento de 15 km/h en promedio. En el páramo la temperatura que varía entre los 4 y 20 °C con una media anual de 13, 7 (Cunalata, 2012).

2.1.6.6 Servicios eco sistémicos

Los páramos brindan varios servicios ecosistémicos, por ejemplo, la regulación hídrica, captura de carbono, protección del suelo, conservación de la biodiversidad, entre otros (Calderón y otros., 2013; Farley et al., 2011).

Además, la calidad del agua en los páramos tiene un índice de calidad buena en análisis de parámetros físico-químico y microbiológico (Cunalata, 2012).

2.1.7 Zona altitudinal

Históricamente, el páramo se ha clasificado en tres regiones distintas: subpáramo, páramo en sentido estricto y superpáramo, como se señala en el trabajo de Cuatrecasas en 1958. Estas divisiones no siempre resultan evidentes y se basan principalmente en la temperatura promedio, aunque la precipitación y la humedad también desempeñan un papel importante, según lo mencionado por Van der Hammen en 1997. Estas tres variables ambientales, junto con factores relacionados con el suelo, son elementos influyentes que determinan la composición de la flora, la cobertura vegetal y la apariencia general de los páramos. Además, la topografía y la fisiografía del terreno también impactan en la extensión y distribución de las diferentes franjas o subzonas en este ecosistema, como se indica en el estudio de Rangel en el año 2000.

Según la delimitación de sub zonas de páramo de Rangel (2000), se encuentran cuatro franjas donde se expresa la altísima diversidad del ecosistema: altoandina - subpáramo o zona de ecotonía, entre 3.000 y 3.200 m; subpáramo (páramo bajo), entre 3.200 y 3.500 (3.600) m; Páramo propiamente dicho, entre 3.500 (3.600) y 4.100 m; superpáramo, por encima de los 4.100 m y hasta el límite inferior de las nieves perpetuas.

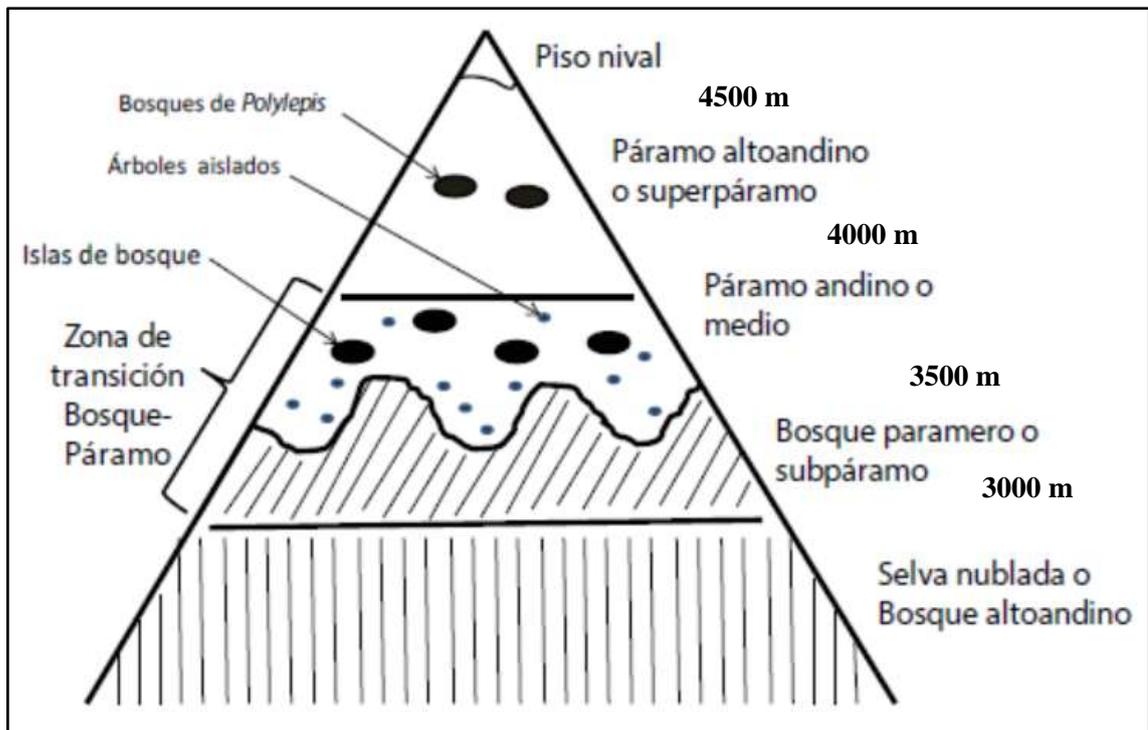


Figura 1-2: Representación esquemática de los diferentes ecosistemas y su gradiente altitudinal que conforman el mosaico de la zona de transición bosque-páramo.

Fuente: Llambi (2015).

2.1.8 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono, se libera como un compuesto residual en la combustión de la materia orgánica. Este gas ha sido tomado como criterio primordial a nivel mundial, por lo tanto, es un gas de efecto invernadero, la constante presencia en la atmósfera evita que el calor ingrese directamente a la tierra. La presencia del exceso del dióxido de carbono en la atmósfera es responsabilidad humana, porque la concentración ha aumentado masivamente desde la actividad de las industrias, que ha incrementado el nivel de temperatura media a la tierra, fenómeno a la cual se denomina calentamiento global (Ruiz, 2015).

2.1.9 Carbono Orgánico

El carbono orgánico es el principal componente del ciclo global del carbono y del flujo del carbono en los suelos (FAO, 2001).

Es el componente de la materia orgánica que se encuentra en los seres vivos y por ende en residuos orgánicos en descomposición. Compuesto principalmente por átomos de carbono e hidrogeno, junto con otros elementos como oxígeno, nitrógeno, fosforo y azufre en menor medida. Se encuentra una amplia variedad de estructuras y formas de vida.

El medio edáfico puede operar como fuente o reservorio de carbono orgánico dependiendo de su modo de uso y manejo. Se estima que desde que se incorporan nuevas áreas de suelos a las actividades agrícolas, hasta establecer sistemas intensivos de cultivo como el monocultivo, se producen pérdidas de carbono orgánico que alcanzan entre 30 y 50% del nivel inicial de carbono almacenado. Esto permite que la pérdida de carbono de los suelos cultivados sea superior a la tasa de formación de carbono orgánico de suelos no perturbados, por lo que el suelo, bajo condiciones de cultivo convencionales, es una fuente de emisiones de CO₂ para la atmósfera (Reicosky, 2002).

2.1.10 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados; la atmósfera, la biósfera terrestre incluyendo los sistemas de aguas frescas, los océanos y los

sedimentos, estos depósitos son fuentes que pueden ser sumideros que absorben o liberan el carbono de otra parte del ciclo; y como parte de éste ciclo también existen procesos fisicoquímicos por los cuales se transfiere el carbono. Los principales mecanismos del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la oxidación y la respiración (Álvarez.Condo, 2008).

En éste ciclo el carbono pasa por flujos entre la biosfera, la atmosfera, la litosfera y la hidrosfera donde existe una transferencia y depósito equilibrado del carbono, no todo éste compuesto se libera.

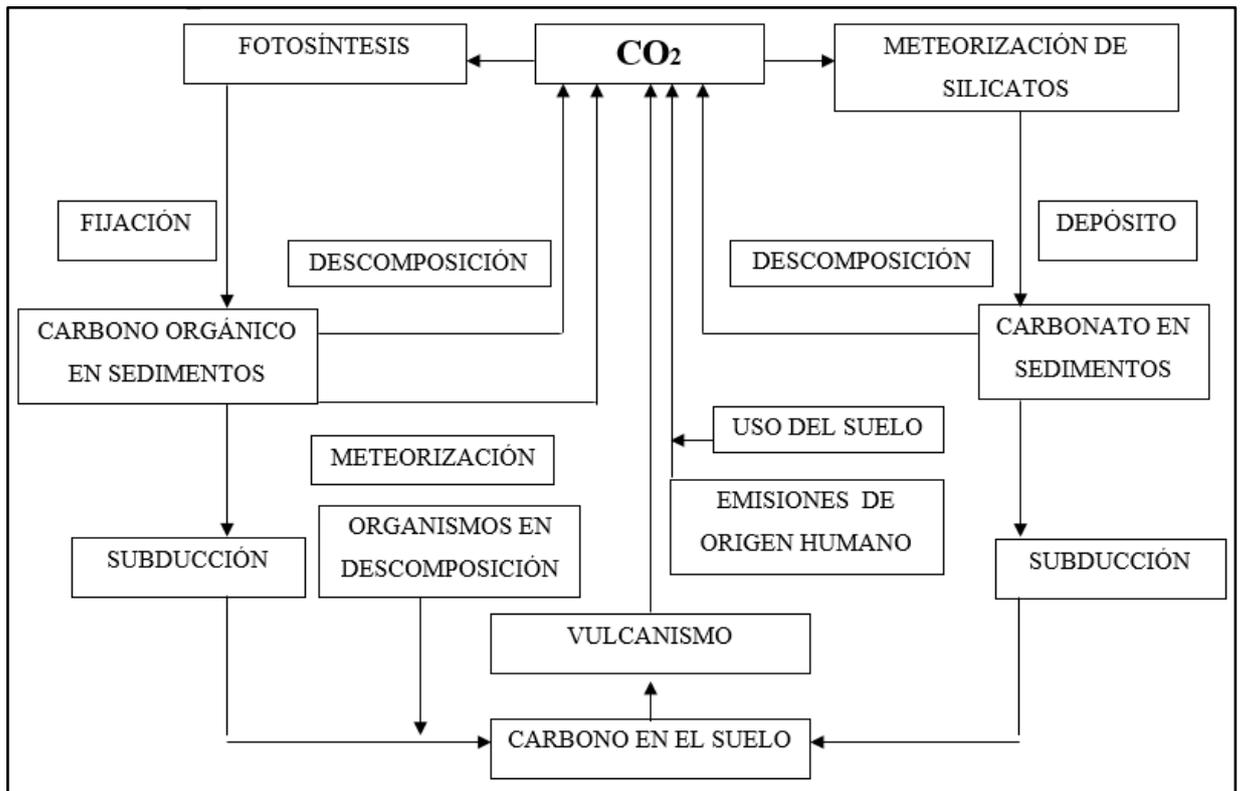


Ilustración 2-1: Esquema del flujo de carbono.

Fuente: Fernandes (2022).

2.1.11 Contenido de carbono en ecosistemas alto andinos

Los conocimientos sobre la dinámica de los flujos de carbono orgánico en los ecosistemas de páramo es limitado, no obstante los estudios realizados a pesar de ser escasos, revelan que éstos ecosistemas son reservorios importantes de carbono (Gibbon y otros., 2010).

Se estima que los bosques montanos contienen entre 40-80 ton C / ha en biomasa aérea y 130 - 240 ton C / ha en suelo, mientras que el pajonal y la vegetación del páramo contiene hasta 20 ton C / ha en biomasa aérea. En suelo puede haber hasta 200 ton C / ha en los primeros decímetros de suelo con una tasa de acumulación anual de hasta 12 g/m² año y hasta 1700 ton C / ha en los dos primeros metros de suelo. En comparación, se estima que los bosques húmedos tropicales de tierras bajas en la Amazonia contienen 200 -375 ton C / ha en biomasa aérea y aproximadamente 125 -175 ton C / ha en el suelo (Bertzky et al., 2010).

El alto índice de secuestro en contenido de carbono orgánico en los páramos se debe a las bajas tasas de descomposición de la materia orgánica de la vegetación entre otros, por las bajas temperaturas, la humedad presente, la cual es producto de una precipitación casi constante a lo largo del año, por la formación de complejos órganometálicos (presencia de suelos alofánicos) y las aportaciones, por su cercanía de la alta actividad volcánica de los últimos millones de años (Buytaert y otros., 2005).

Los páramos exhiben una amplia diversidad en sus patrones de biodiversidad y en los niveles de carbono presente en el suelo a poca profundidad. Se sostiene que estas variaciones se originan debido a diferencias en factores como la altitud, el drenaje del suelo, la utilización de la tierra y el grado de exposición al viento.

Los datos de estudios obtenidos en gradientes altitudinales pueden servir como herramientas útiles para entender los procesos y evaluar los efectos de la variación abiótica y biótica sobre el contenido de carbono orgánico que también se encuentra correlacionado con la variación altitudinal, sobre la dinámica espacial y temporal de los flujos de carbono. Esto hace posible el establecimiento de hipótesis sobre los efectos del calentamiento global y el cambio climático en el balance de carbono en la biósfera. (Malhi y otros., 2010).

2.1.12 Métodos: Cuantificación de carbono

Dada la relevancia del proceso de captura de carbono en entornos forestales, sistemas vinculados a los bosques, plantaciones y ecosistemas marinos como una medida para contrarrestar el cambio climático, es imperativo adquirir conocimientos acerca de diversos enfoques destinados a calcular y medir la cantidad de biomasa. Además, resulta esencial la exploración y desarrollo de nuevos métodos que, en última instancia, podrán ser empleados para evaluar la ejecución de distintos

mecanismos relacionados con la compensación, la reducción de emisiones de carbono y la presencia de gases en la atmósfera. (Calderón y Lozada, 2010).

El carbono orgánico del suelo (COS) es un indicador clave de la calidad del suelo y de la capacidad de captura de carbono. Es debido a la capacidad de absorber el carbono que se evita que se caliente en la superficie terrestre.

Existen procesos naturales que reducen el ritmo de acumulación del carbono en la atmósfera y uno de ellos es la fijación al suelo por el flujo de carbono. Por ende es importante conocer las dinámicas del carbono orgánico mediante estudios para la conservación de los reservorios terrestres y evitar un aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en el ambiente.

2.1.12.1 Método de Dumas o de combustión seca (Grewal y otros., 1991)

El método de Dumas o de combustión seca posibilita la determinación del contenido total de carbono orgánico en las muestras, aunque su aplicación requiere personal capacitado y suele implicar costos relativamente elevados. Una desventaja adicional de esta técnica radica en su propensión a sobreestimar el contenido de carbono orgánico en suelos que contienen carbonatos. Para la conversión del carbono orgánico total en material orgánico, se emplea un factor propuesto por Van Bemmelen, que asume que el 58% de la materia orgánica (MO) está compuesta por carbono (C) (Tabatabai, 1996). No obstante, este cálculo se basa en la composición promedio de los ácidos húmicos y no considera la diversidad de sustancias orgánicas presentes en el suelo (Ponomareva y Plotnikova, 1967) (Eyherabide y otros., 2014).

2.1.12.2 Método de calcinación o pérdida por ignición (Schulte y Hopkins, 1996)

El método de calcinación o pérdida por ignición (loss on ignition, CH) determina la cantidad del contenido de MO directamente y se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas. Existen numerosos trabajos donde se utilizan temperaturas de ignición que van desde los 250 a los 600 °C en mufla y diferentes períodos de tiempo, desde 2 hasta 24 h (Combs y Nathan, 1998). Mitchell (1932) informó que temperaturas de ignición entre 350 y 400 °C eran adecuadas. Otro autor como Davies (1974) concluyó que 430 °C podría ser utilizada en suelos con presencia de carbonatos. Schulte y Hopkins (1996), para muestras de suelo de la región central del norte de los EEUU, desarrollaron el método de LOI que incluye como pretratamiento el secado a 105 °C durante 24 h y luego 2 h de ignición a 360 °C. Por otro lado, Rosell et al. (2001) y Konare et al. (2010), reportaron que temperaturas mayores a 500 °C pueden implicar importantes errores en la determinación de MO por pérdida de dióxido de carbono de los

carbonatos, agua estructural de los minerales de arcilla, oxidación del ión ferroso, descomposición de sales hidratadas y óxidos. No obstante, la técnica de LOI es propuesta como exacta y de bajo costo para determinar MO (Abella y Zimmer, 2007). Sin embargo, si se quiere estimar el COT a partir de la MO se debe utilizar el factor Van Bemmelen que como se mencionó, puede variar para distintos tipos de suelos (Eyherabide y otros., 2014).

2.1.12.3 Método Walkey y Black

Este procedimiento implica la oxidación en presencia de agua de una muestra de suelo utilizando dicromato de potasio en un entorno ácido. El calor liberado al agregar ácido sulfúrico es lo que provoca la oxidación parcial del carbono. En este proceso, la reducción del dicromato es equivalente al carbono que se oxida. Luego, se determina la cantidad de dicromato residual mediante titulación con sal ferrosa (Carreira, 2005).

Es importante destacar que este método solo calcula el contenido de carbono fácilmente oxidable (CFO), por lo que se aplica un factor de corrección que varía entre el 63% y el 86%, dependiendo del tipo de suelo y su horizonte, para estimar el carbono orgánico total (COT). El factor de corrección más comúnmente utilizado es 1,32, ya que se supone que, en promedio, se oxida el 76% del COT (Rosell et al., 2001) (Eyherabide et al., 2014).

2.1.13 Secuestro y stock de carbono

El secuestro de carbono orgánico y el stock de carbono orgánico se refieren a procesos relacionados con la captura y almacenamiento de carbono en sistemas naturales, principalmente suelos y vegetación.

El secuestro de carbono orgánico es el proceso mediante el cual se captura y almacena el carbono atmosférico en forma de compuestos orgánicos en suelos y biomasa vegetal. Es esencial para la mitigación del cambio climático, ya que reduce la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, un gas de efecto invernadero. El secuestro de carbono ocurre a través de la fotosíntesis, donde las plantas absorben CO₂ y lo convierten en materia orgánica (celulosa, lignina, etc.), y mediante la incorporación de materia orgánica al suelo a través de procesos como la descomposición de hojas caídas y raíces.

El stock de carbono orgánico es la cantidad total de carbono almacenado en un ecosistema particular en un momento dado. Puede referirse al carbono en la biomasa vegetal, en el suelo y en otros componentes orgánicos del ecosistema. Se mide en unidades de masa de carbono por unidad de área (por ejemplo, toneladas de carbono por hectárea) o en términos de concentración de carbono en el suelo (por ejemplo, porcentaje de carbono orgánico en el suelo). El stock de carbono orgánico es un indicador crucial de la salud de un ecosistema y su capacidad para actuar como sumidero de carbono, es decir, para retener carbono y reducir el cambio climático.

La gestión sostenible de los ecosistemas naturales, la reforestación, la conservación de suelos y prácticas agrícolas como la agricultura de conservación son importantes para aumentar el secuestro y el stock de carbono orgánico, contribuyendo así a la paliación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad.

2.1.14 Mercados de carbono

Son sistemas comerciales en los que se venden y compran créditos de carbono. Las empresas o las personas pueden utilizar los mercados de carbono para compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante la compra de créditos de carbono de entidades que eliminan o reducen las emisiones de GEI.

Se han desarrollado para abordar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de una manera económica y eficiente.

Son plataformas que permiten comprar y vender créditos de carbono, también conocidos como unidades de reducción de emisiones (URE). Estos créditos representan una cantidad específica de reducción de emisiones de GEI.

El principal objetivo de los mercados de carbono es incentivar a las empresas y organizaciones a reducir sus emisiones de GEI. Se basan en el principio de "quien contamina paga", lo que significa que las entidades que emiten GEI deben comprar créditos de carbono para compensar esas emisiones.

Los dos principales mecanismos de mercado de carbono son:

Mercado de Cap-and-Trade (Tope y Comercio): En este sistema, se establece un límite (tope) a las emisiones de GEI permitidas. Las empresas reciben una asignación de permisos de emisión y pueden comprar o vender estos permisos en el mercado. Si una empresa reduce sus emisiones por debajo de su asignación, puede vender los excedentes.

Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) e Implementación Conjunta (JI): Estos mecanismos permiten a los países desarrollados financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo a cambio de créditos de carbono. Esto fomenta la inversión en tecnologías limpias y el desarrollo sostenible en países en desarrollo.

El Protocolo de Kioto estableció las bases para los mercados de carbono, y el Acuerdo de París amplió estos esfuerzos para abordar el cambio climático a nivel mundial. El Acuerdo de París incluye disposiciones relacionadas con la implementación y el uso de los mercados de carbono.

Los proyectos que generan créditos de carbono pueden incluir actividades como la energía renovable, la captura de metano en vertederos, la reforestación y la eficiencia energética.

Los mercados de carbono han recibido críticas por cuestiones como la especulación financiera y la posibilidad de "lavado de carbono", donde se afirma una reducción de emisiones que no es real. También existe un debate sobre si estos mercados son suficientes para abordar la magnitud del cambio climático. Éstos sistemas han evolucionado a lo largo de los años, y su diseño y regulación varían en todo el mundo. Algunas regiones, como la Unión Europea, tienen sistemas de comercio de emisiones maduros, mientras que otros países están explorando la implementación de mercados de carbono.

En resumen, los mercados de carbono son una herramienta importante en la lucha contra el cambio climático, ya que incentivan la reducción de emisiones y la inversión en tecnologías limpias. Sin embargo, su efectividad depende de un diseño sólido y una regulación adecuada para garantizar la integridad ambiental y económica.

2.1.15 Diseño de parcelas

La parcela hace referencia a una porción de tierra, que forma parte de una extensión de terreno mayor. Esta puede ser utilizada de diversas formas, y para diversos fines, por tanto, es una

extensión de terreno que se encuentra delimitada, pero que forma parte de otra extensión de terreno mayor.

El diseño de parcelas, en el ámbito de la investigación científica y agrícola, implica la organización planificada de áreas experimentales en un estudio. Su propósito fundamental radica en asegurar la confiabilidad y validez de los resultados del experimento.

Busca principalmente controlar y reducir la variabilidad en un experimento. Al estructurar las parcelas de manera sistemática, se puede determinar con mayor precisión el impacto de las variables bajo estudio, ya sea en campos como la agricultura, la ecología, la ciencia ambiental, entre otros.

Las parcelas representan áreas específicas donde se llevan a cabo observaciones o tratamientos experimentales. Estas pueden abarcar desde pequeñas superficies de terreno hasta unidades experimentales completas, o incluso secciones dentro de un laboratorio, dependiendo de la naturaleza de la investigación.

Existen varios tipos de diseño de parcelas, entre ellos: Diseño de Parcelas Completamente al Azar (DPCA): En este enfoque, las parcelas se asignan de forma completamente aleatoria a los tratamientos, lo que contribuye a eliminar sesgos y a obtener estimaciones precisas del efecto de las variables.

Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA): Aquí, las parcelas se agrupan en bloques y, dentro de cada bloque, se asignan aleatoriamente los tratamientos. Esto ayuda a controlar la variabilidad debida a factores desconocidos o no controlados.

Diseño en Bloques al Azar con Parcelas Divididas (DBAPD): En este diseño, se utilizan bloques y parcelas divididas para analizar simultáneamente el efecto de dos o más factores. Es útil cuando se espera que algunos factores influyan en otros.

Diseño de Parcelas en Cuadrado Latino: Este diseño resulta conveniente cuando se desean evaluar varios tratamientos en un espacio limitado y se busca minimizar la interferencia entre tratamientos contiguos.

Replicación: En el diseño de parcelas, se emplea la replicación, lo que significa que cada tratamiento se aplica en múltiples parcelas o bloques. Esto aumenta la confiabilidad de los resultados, permitiendo análisis estadísticos y la detección de diferencias significativas.

Análisis Estadístico: Tras la recopilación de datos, se lleva a cabo un análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Esto se logra mediante pruebas estadísticas como el análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación múltiple.

El diseño experimental es una técnica estadística que consiste en manipular intencionalmente la variable independiente de un modelo para observar y medir sus efectos en la variable dependiente, busca determinar el impacto en una variable como consecuencia de modificar otra variable. Esto, dentro de un proceso o estudio estadístico.

En resumen, el diseño de parcelas es una estrategia esencial en la investigación científica que apunta a controlar la variabilidad y obtener resultados sólidos y confiables. La elección del diseño adecuado depende de los objetivos específicos de la investigación y la naturaleza de las variables estudiadas.

2.1.15.1 Parcela

De acuerdo con Gómez (1972), la unidad experimental (parcela) es el área en la que se lleva a cabo la asignación aleatoria de los tratamientos en un ensayo. Rodríguez et al. (2018) la definen como la unidad de información básica de la experimentación.

Cabe resaltar que este tipo de método se caracteriza por ser cuantitativo. Es decir, se utilizan las matemáticas para medir los cambios observados en la variable dependiente. Un factor importante a tomar en cuenta también, es el número de parcelas a utilizar ya que nos permite probar una muestra de todo el universo.

El diseño de muestreo, utiliza parcelas permanentes de 10×10 m como unidad de muestreo o réplica, ubicadas al azar. Dependiendo de la variable, las mediciones se realizan en toda el área de la parcela de 10×10 m (e.g., para estimar la biomasa aérea en bosque), en subparcelas de 50×50 cm anidadas dentro de la parcela (e.g., para estimar la biomasa aérea en páramo) o en otros puntos de muestreo dentro de la parcela (e.g., para estimar la dinámica de raíces). En el caso de las variables que son medidas en las subparcelas, para cada período de muestreo se instalan cuatro

subparcelas ubicadas en dos círculos concéntricos de 2,5 y 5 m, formando una cruz que rota al azar en cada período (Calderón et al., 2013)

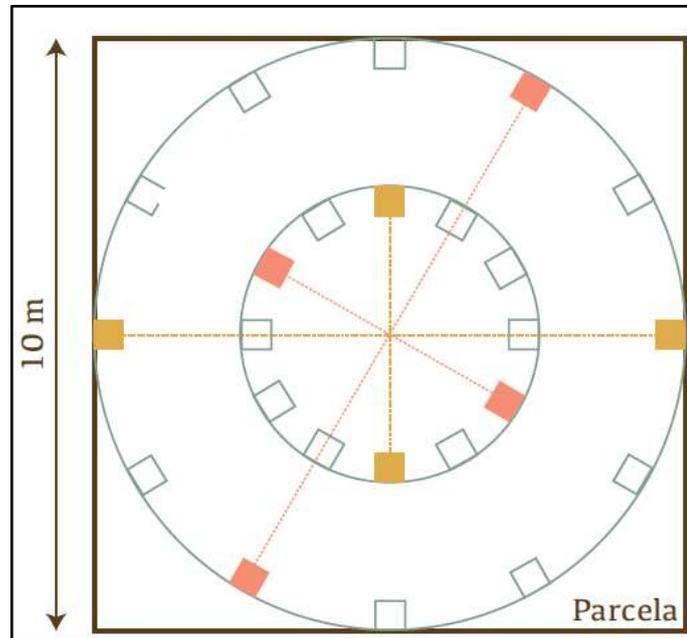


Ilustración 2-2: Diseño básico de las unidades y subunidades muestrales para la estimación y monitoreo de carbono en ecosistemas altoandinos.

Fuente: Calderón et al (2020).

2.1.15.2 *Numero de parcelas*

El número de parcelas es un factor importante ya que permite probar una muestra del universo, este valor se calcular utilizando diversos métodos.

2.1.15.3 *Tamaño y forma de las parcelas*

Las unidades de muestreo en campo o parcela pueden implementarse con diversas formas geométricas como rectángulo, cuadrado y círculo, aunque el factor limitante en la elección de la forma está relacionado con el efecto de borde (FAO, 2017).

Para la forma y el tamaño de las parcelas se puede utilizar diferentes formas geométricas, las más comunes son cuadradas, rectangulares y circulares, se puede determinar dependiendo del tipo de estudio.

2.1.15.4 Unidad muestral

La muestra se compone de unidades muestrales, cada una de las cuales puede contener uno o más elementos del universo o población, dependiendo de la forma en que se haya diseñado el muestreo. Para la formación de la muestra se debe disponer de alguna manera, de todas las posibles unidades de muestreo, a partir de las cuales se selecciona la muestra por diversos procedimientos.

En la práctica generalidad de los casos se tratará de un muestreo sin reemplazamiento, es decir que un elemento no podrá ser muestreado más de una vez (De la Hoz Rodríguez y otros., 2004).

2.1.15.5 Subunidades muestrales

Una subunidad muestral es una pequeña cantidad de muestra que se obtiene de un punto del terreno a muestrear, el conjunto de estas submuestras componen una muestra de suelo la cual se denomina parcela en el diseño experimental.

2.1.15.6 Recolección de muestras

El proceso de recolección de muestras requiere la manipulación de las herramientas necesarias para la obtención, la preservación y el traslado de las mismas desde el área de estudio hasta el laboratorio de manera adecuada para que no sufran ningún tipo de infección, contaminación, modificación o daño alguno que pueda perjudicar el análisis de las mismas.

2.1.16 Proyecto GLORIA: Monitoreo de Contenidos y Flujos de Carbono en Gradientes Altitudinales Altoandinos.

CONDESAN, a través del Proyecto "Generación de conocimiento y fortalecimiento de capacidades en respuesta a los cambios ambientales en los Andes" (Proyecto CIMA), financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), ha impulsado, en colaboración con la Secretaría General de la Comunidad Andina, la creación y administración de conocimientos relacionados con los ecosistemas andinos en situaciones de cambios ambientales. También ha promovido la integración de este conocimiento mediante el fortalecimiento de redes temáticas de investigación. Sus principales contribuciones se han centrado en el desarrollo de procedimientos metodológicos para investigar los ecosistemas y las comunidades rurales en los Andes. Estos métodos han sido validados en diversos entornos ambientales y sociales, se han establecido líneas de referencia en varios lugares a lo largo de la Cordillera de los Andes y se han

fomentado colaboraciones con diversos interesados para establecer sistemas de monitoreo integrales y sostenibles (Calderón et al., 2013).

Este documento, como parte del componente de generación de conocimientos, es el primero de una serie de protocolos metodológicos creados por el Proyecto CIMA. Estos protocolos representan un esfuerzo para comprender las dinámicas de los ecosistemas andinos mediante la adopción de estándares en la recopilación, procesamiento y manejo de datos. En particular, este protocolo se enfoca en la estimación y seguimiento de los niveles y movimientos de carbono en los ecosistemas de alta montaña en diferentes condiciones ambientales (Calderón et al., 2013).

Cabe destacar que este protocolo es un documento en evolución y, como tal, se presenta como una primera versión. Se espera que pueda servir como base para discusiones con la comunidad científica, los programas de monitoreo de los Ministerios de Ambiente de los países andinos y la cooperación internacional. El objetivo es recopilar sugerencias que enriquezcan y conduzcan a una versión mejorada, basada en las experiencias prácticas de su aplicación en diversos contextos ambientales y sociales a lo largo de la Cordillera de los Andes (Calderón et al., 2013).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque del presente trabajo de investigación es cuantitativo ya que se manejaron datos estadísticos de carbono secuestrado en el páramo para la asociación de variables y la determinación de la hipótesis nula y alternativa, y cualitativo ya que se fundamenta en la importancia de la preservación del páramo como reservorio de carbono orgánico, ecosistema sustancial para la mitigación del calentamiento global porque conserva cantidades significativas de dióxido de carbono y evita la emisión de éste gas de efecto invernadero a la atmósfera.

3.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación del trabajo reúne las características de un estudio descriptivo ya que con la recopilación de datos y los resultados del contenido de carbono orgánico en la biomasa, necromasa y, a diferentes profundidades del suelo, se busca responder lo planteado acerca de si existe o no mayor cantidad de carbono orgánico almacenado en diferentes estratos altitudinales y aportar así al avance en proyectos de investigación en materia de carbono orgánico en el Ecuador.

3.3 Diseño de investigación

En el proceso del presente trabajo, primero se estableció una planificación de las actividades, luego de una salida de campo para la exploración en el área protegida Cooperativa Ichubamba Yasepan. Se determinó las zonas con las altitudes necesarias para la investigación de las cuales se tomaron las muestras correspondientes.

El diseño experimental del presente trabajo utilizó un diseño experimental estratificado al azar.

Durante el proceso de análisis se trabajó con 24 muestras de biomasa, 24 muestras de hojarasca (necromasa) y 72 muestras de suelo, las muestras fueron procesadas con 6 repeticiones, con lo cual se evaluó las 5 variables del contenido de carbono orgánico secuestrado, luego de finalizado el proceso de análisis de muestras, se tabularon en Excel.

Luego, con el programa estadístico InfoStat enlazado al paquete estadístico R, se sometieron a análisis los datos de Excel, la prueba de hipótesis se hizo con modelo lineal mixto generalizado con paquete R, para detectar diferencias significativas se empleó la prueba de comparación de medias con la diferencia mínima significativa LSD Fisher al 5%.

3.3.1 Según la manipulación o no de la variable independiente

El diseño de la investigación es experimental ya que se observa el efecto de ciertas condiciones de la gradiente altitudinal sobre la cantidad de carbono orgánico secuestrado en el ecosistema.

3.3.2 Según las intervenciones en el trabajo de campo

Transversal ya que el muestreo y el estudio se realizaron una sola vez y el análisis no se basó en periodos de tiempo.

3.4 Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó mediante estudios de campo y laboratorio. Se presentó una planificación la cual consta de fechas establecidas para cada proceso. Se realizó un muestreo experimental para la obtención y análisis de datos de las variables en el laboratorio, previos a la realización de pruebas estadísticas con el objetivo de responder las hipótesis planteadas.

3.5 Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

Para el trabajo de investigación se tomó muestras en dos gradientes altitudinales del ecosistema herbazal del área protegida, de 3440 m.s.n.m y 3840 m.s.n.m., en los cuales se estableció 3 parcelas en cada uno de los gradientes, siendo un total de 6. Mediante la aplicación del software Arc Gis 10.8, se identificó y se trazó 7 cuadrillas en las superficies a 3440 y 3840 m.s.n.m., para determinar el número de parcelas de estudio, aplicando la siguiente formula (Ilustración 3-1).

3.5.1 Calculo de la muestra

Para determinar el número de unidades muestrales se utilizó el criterio propuesto por De la Hoz Rodríguez et al. (2004), en cuanto al error se trabajó con un 5 % (error) y 95 % (certeza). Para ello se empleó la siguiente fórmula:

Tamaño de muestra aproximado para estimar p con un límite B para el error de estimación:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 p_i q_i / a_i}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i p_i q_i} \quad (5.15)$$

donde a_i es la fracción de observaciones afijadas al estrato i , p_i es la proporción poblacional para el estrato i y $D = B^2/4$.

Ilustración 3-1: Fórmula para el tamaño de la muestra propuesta por De la Hoz.

Fuente: De la Hoz Rodríguez et al (2020).

Calculo estrato 1 (3440 m.s.n.m.)		
N (Universo)	7	
p	0,5	
q	0,5	
ai		0,01
suma num	1 349,25	
suma den	1 750	
ni	2,33	
REDONDEADO (parcelas)	3	

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Se tiene un universo de 7 celdillas y una muestra de 3 celdillas.

Calculo estrato 2 (3840 m.s.n.m)		
N (universo)	7	
p	0,5	
q	0,5	
ai		0,01
suma num	1 349,25	
suma den	1 750	

ni	2,33
REDONDEADO	3
(parcelas)	

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Se tiene un universo de 7 celdillas y una muestra de 3 celdillas.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

El proceso del proyecto de investigación se realizó en tres fases para la metodología: En la primera fase se investigó información actualizada y destacada referente a carbono orgánico en los páramos, estudios, artículos científicos, revistas de divulgación, etc. que se utilizaron como apoyo y sustento científico para la realización de éste trabajo. Se analizó los métodos y técnicas de estudios similares para el desarrollo de la base de la investigación.

En la segunda fase se efectuó las actividades de campo que competen a la exploración para encontrar las altitudes requeridas y determinar la zona de estudio mediante el uso de aplicaciones de medición. Para el diseño de las parcelas en campo se usó la metodología propuesta por Calderón et al., (2013) del diseño básico de unidades y subunidades muestrales. Se efectuó la toma de muestras, el almacenamiento y transporte de las muestras y su respectivo examen en laboratorio de suelos mediante el método de pérdida por ignición propuesto por Schulte y Hopkins (1996) para obtener porcentaje de carbono orgánico y luego utilizar las fórmulas planteadas para obtener datos en valores de toneladas de carbono por hectárea (Ton C/ha).

En la tercera fase se realizó el ingreso de los datos obtenidos y el análisis estadístico de carbono orgánico mediante Infostat con modelo lineal mixto generalizado con paquete R para la construcción de los resultados y las conclusiones.

3.6.1 Materiales y equipos

3.6.1.1 Materiales y equipos de campo

- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Lápices
- Cinta métrica
- Fundas plásticas ziploc

- Tijera de podar
- Hoz
- Hoyadora
- Estacas
- Cuerdas
- Barrenador
- GPS
- Balanza digital de campo

3.6.1.2 *Materiales y equipos de laboratorio*

- Balanza
- Estufa
- Tubos de ensayo
- Crisoles
- Bandeja
- Vasos de precipitación
- Mufla
- Pipetas
- Embudo
- Computador
- Impresora
- Software ArGis 10.3
- Software office y Hojas de registro

3.7 **Caracterización del área de estudio**

3.7.1 *Ubicación geográfica*

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el páramo del área protegida de la Cooperativa Ichubamba Yasepan, que pertenece a la parroquia Cebadas, cantón Guamote, provincia de Chimborazo, ubicado en los límites con el páramo de tres cruces Guargualla al norte, al sur y este con el Parque Nacional Sangay, y al oeste con el Reten Milmahuanchi. El estudio se realizó en gradientes altitudinales de 3440 y 3840 m.s.n.m.

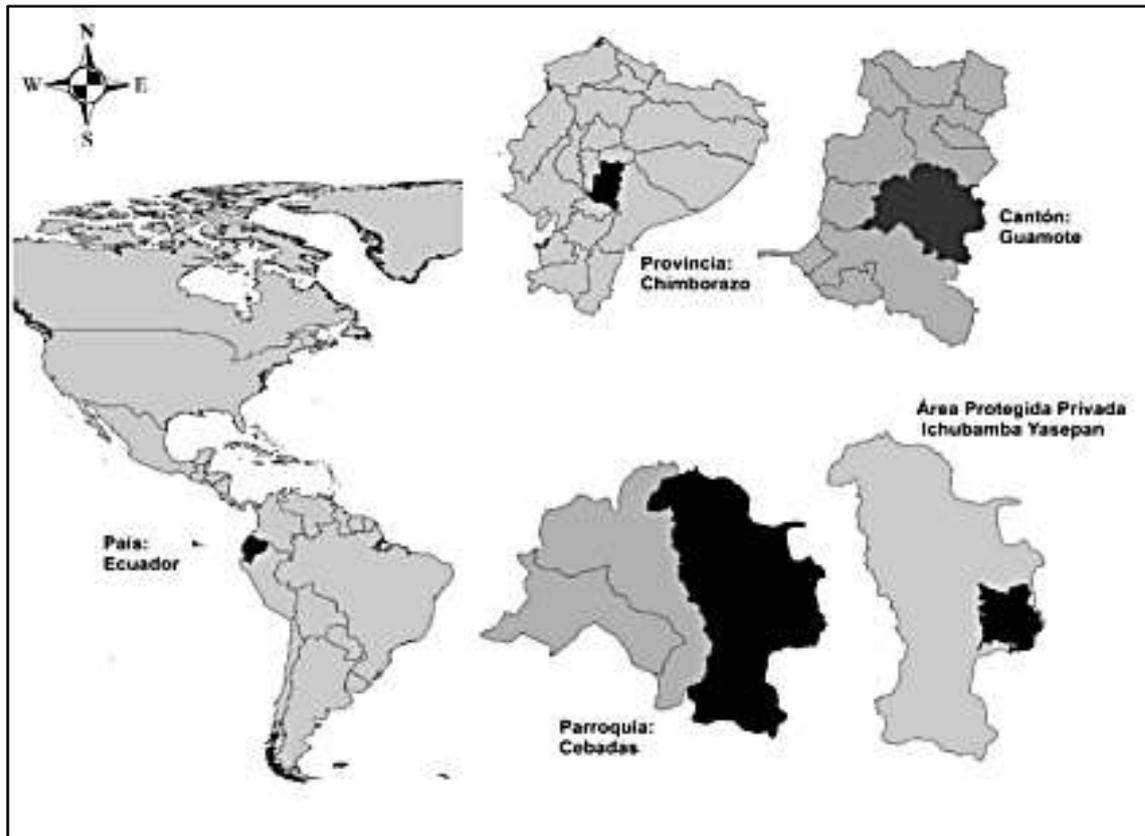


Ilustración 3-2: Mapa de ubicación geográfica de la zona del área protegida “Cooperativa Ichubamba Yasepan”.

Fuente: Toalombo (2022).

Latitud 9780678 UTM

Longitud 0764938 UTM

3.7.2 *Delimitación del área de estudio*

Para la delimitación del área de estudio se tomó como referencia los parámetros para la selección de la zona piloto del Monitoreo de contenidos y flujos de carbono en gradientes altitudinales altoandinos, Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Donde explica que todas las cimas de una zona piloto deben estar expuestas a un mismo clima regional, de modo que las únicas diferencias climáticas se deban a la diferencia de altitud y no a las creadas por la topografía (Calderón et al., 2013).

Se tomaron en cuenta los siguientes criterios para elegir el área de estudio.

El control de alteraciones antrópicas: El ecosistema debe estar ubicado relativamente lejos de cualquier tipo de población urbana o comunidades, debe ser imperante que las muestras pertenezcan a ecosistemas que no han sufrido ningún tipo de alteración por parte de intervención antrópica (Calderón et al., 2013).

Representatividad de ecosistemas: Para obtener estimaciones de biomasa equilibradas la extensión del gradiente dentro de cada ecosistema debe ser casi similar (Calderón et al., 2013).

Accesibilidad: Por el tipo de muestreos en este protocolo, debe haber buena accesibilidad al área de estudio (Calderón et al., 2013).

Control de variables ambientales a nivel de ecosistema: Se sugiere que las características ambientales deben ser casi homogéneas. Para que así no existan variaciones micro climáticas que puedan afectar los resultados (Calderón et al., 2013).

El área protegida del Cooperativa Ichubamba Yasepan se encuentra ubicada geográficamente al este de la provincia de Chimborazo, cerca de la frontera con Macas a 19 km de la parroquia de Cebadas, cantón Guamote, posee una extensión de 4790,13 hectáreas. Para la elección de los tratamientos se establecieron dos estratos altitudinales en sectores dentro del área protegida denominadas Tullirupana (3840 m.s.n.m), Llullubug y Jatumpungo (3440 m.s.n.m).

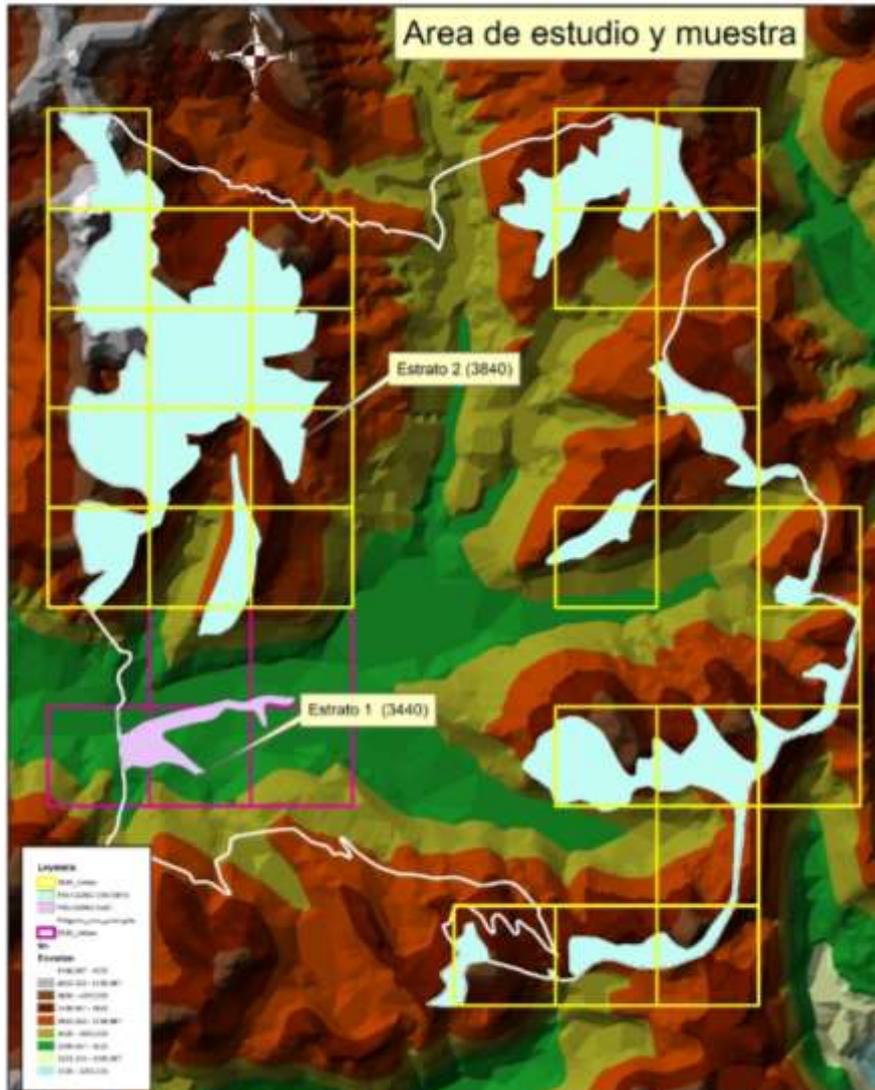


Ilustración 3-3: Recorrido para la toma de coordenadas y mapa de área de estudio.

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Mediante el software Arc Gis 10.5 se calculó la superficie del área protegida que se ubica a los 3440 m.s.n.m teniendo un total de 41,23 hectáreas, luego se crearon 5 celdas de 1000m x 1000m, con la herramienta “Create fishnet”; el segundo estrato, a 3840 m.s.n.m tiene un total de 1019,67 hectáreas, en el cual se formaron 29 celdas.

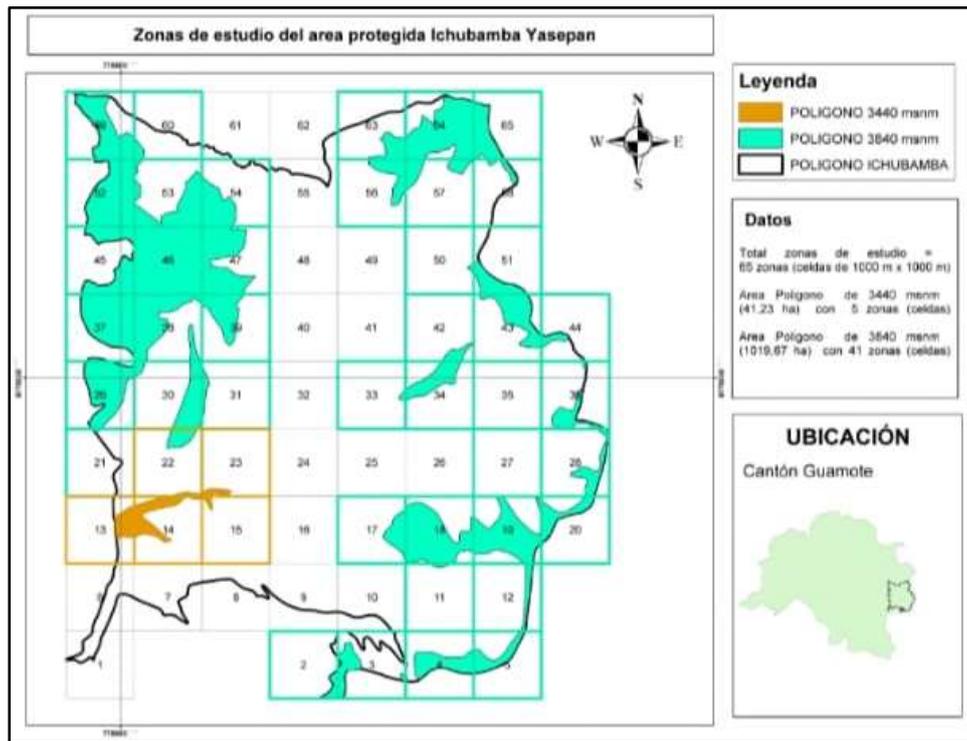


Ilustración 3-4: Zonas de estudio del área protegida Ichubamba Yasepan.

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

3.8 Establecimiento de las parcelas

El diseño experimental del presente trabajo utilizó un diseño experimental estratificado al azar (Calderón et al., 2013).

Para determinar el número de parcelas se utilizó el criterio propuesto por De la Hoz Rodríguez et al. (2004), en cuanto al error se trabajó con un 5 % (error) y 95 % (certeza).

3.8.1 Tamaño y forma

Las parcelas pueden adoptar diferentes tamaños con varias formas geométricas, como rectangulares, cuadradas y circulares (Molina, 2013).

El tamaño y forma de las parcelas en el presente estudio fueron realizadas en base al protocolo 1 del Monitoreo de Contenidos y Flujos de Carbono en Gradientes Altitudinales Altoandinos del proyecto GLORIA en el cual se establece un diseño experimental estratificado al azar, con el uso de parcelas con un diseño básico de subunidades muestrales para el monitoreo de carbono en

ecosistemas alto andinos. Las parcelas son cuadradas de 10 x 10 m como unidad de muestreo, dentro de la unidad con subparcelas circulares de 5 m de diámetro la primera y de 2,5 m de diámetro la segunda, con 4 subunidades muestrales en cada subparcela circular distribuidas, de 15 x 15 cm, y en las esquinas de la parcela, se establecen las subunidades muestrales para el suelo de 1m x 1m, con el uso de sensores remotos y la obtención de imágenes satelitales se definen a priori estratos ecológicos, definidos mediante el criterio de altitud. El número mínimo de unidades de muestreo puede calcularse con diversas herramientas estadísticas que requieren un pre muestreo para conocer la variación del sistema (Sokal y Rohlf, 2012) (Zar, 1999).

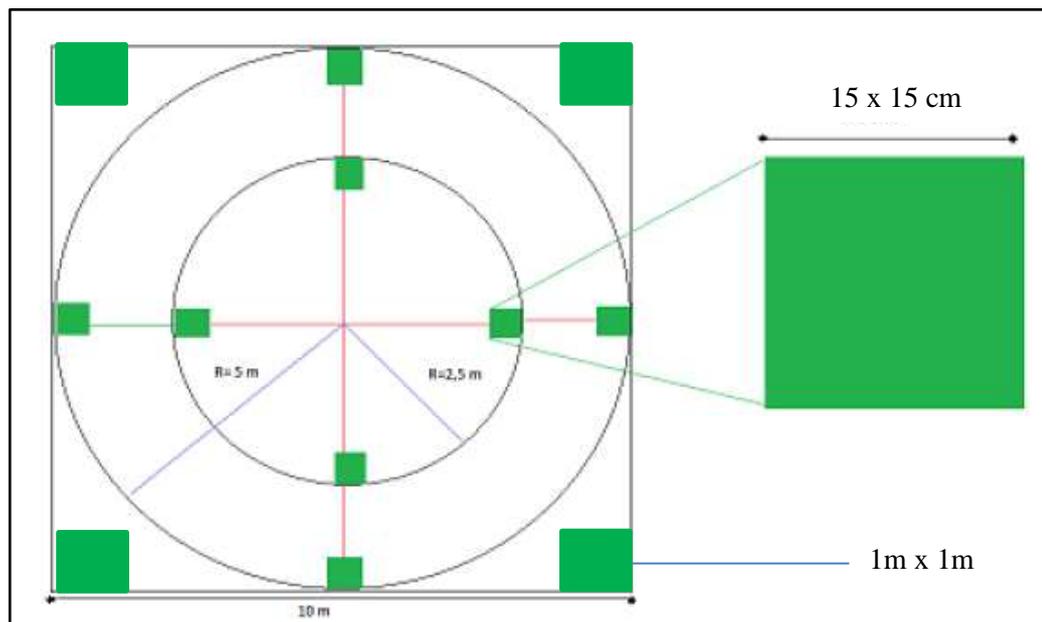


Ilustración 3-5: Diseño de parcelas.

Fuente: Calderón et al (2023).

3.8.2 *Número*

El número de parcelas es un factor muy importante debido a que nos permite obtener una muestra representativa de la zona de estudio, ya que es difícil muestrear todo el área de estudio por motivos de tiempo y financiación, por esto el trabajo realizo 3 parcelas en cada estrato altitudinal, un total de 6.

3.8.3 *Ubicación*

La ubicación de las parcelas fue seleccionada mediante el uso de aplicación altímetro preciso que permite medir la altitud, en áreas de cimas que tuvieran la altitud de 3440 y 3840 necesarias para la investigación.

3.9 Recolección de muestras

Para la recolección de muestras se estableció el área medida de 10 m x 10 m de la parcela y dentro de ésta se anidaron dos parcelas circulares de 5 m y 2,5 m de radio y en cada parcela circular se establecieron las subparcelas para recoger 200 gr de muestra en 4 cuadrantes, de biomasa y necromasa, para las muestras de suelo se estableció las 4 subparcelas en las esquinas de la parcela principal de 1m x 1m.

3.9.1 *Recolección de muestras de necromasa*

Para la necromasa primero se estableció las subparcelas de 15 cm x 15 cm con una cinta métrica, de las cuales se recogió la cantidad de hojarasca que se encontraban en el área de la subparcela, las muestras de diferentes tipos de especies, hojas y pequeños tallos. Cada una de las muestras fue empacada en fundas herméticas ziploc para evitar la pérdida de humedad y la contaminación. Las muestras fueron diferenciadas con códigos y los datos correspondientes al momento de sellarse.

3.9.2 *Recolección de muestras de biomasa*

Se procedió a definir las subparcelas de 15 cm x 15 cm con una cinta métrica, se tomó las muestras de la biomasa con el uso de una tijera podadora y una hoz, se cortó a raz del suelo para de ésta manera obtener toda la vegetación encontrada en el área. Cada una de las muestras fue empacada en fundas herméticas ziploc para evitar la pérdida de humedad y la contaminación, cada una de las muestras fue diferenciada con códigos correspondientes al momento de sellarse.

3.9.3 *Recolección de muestras de suelo*

Para el último paso se procedió a definir las subparcelas de 1 m x 1 m con una cinta métrica en las 4 parcelas de 10 x 10 m, con hoyadora y el barreno se procedió a la toma de 4 submuestras a tres profundidades: 0-30 cm, de 30-60 cm y de 60-90 cm, las muestras se tomaron las esquinas de la parcela. Con las hoyadoras se realizaron agujeros en la tierra para la remoción de la tierra

que permitían que el suelo se ablandara para que con el barreno se pudieran tomar las muestras a las profundidades necesarias. Cada una de las muestras fue empacada en fundas herméticas ziploc para evitar la pérdida de humedad y la contaminación, cada una de las muestras fue diferenciada con los datos correspondientes al momento de sellarse, como último paso fueron llevadas a laboratorio de la Facultad de Recursos Naturales para el análisis correspondiente (Martínez et al., 2008).

3.10 Metodología para los objetivos 1 y 2 Necromasa y Biomasa

3.10.1 Estimación del contenido de carbono orgánico de la necromasa y la biomasa

Para determinar la biomasa de una muestra cuando solamente se ha colectado una submuestra de ésta, debe calcularse primero el contenido de humedad de la submuestra (Ecuación 1) (Chambi, 2001).

El contenido de humedad es la cantidad de agua que contiene la muestra, y se calcula mediante la ecuación establecida por Serrato Cuevas et. Al., (2014).

El método para estimar carbono en la necromasa y biomasa se basa en calcular primero el contenido de humedad, luego de pesar las muestras en húmedo se proceden a secar en un horno mufla hasta alcanzar un peso seco estable a una temperatura de 60 °C entre 48 y 72 horas, para calcular el peso se hizo uso de una báscula.

El término "peso seco" se refiere a la cantidad de biomasa en una muestra. Se puede considerar que la concentración de carbono en una muestra (expresada en gramos de carbono por gramo de muestra) es aproximadamente el 50% del peso seco de la misma. Sin embargo, para mejorar la precisión en las estimaciones de carbono, se aconseja llevar a cabo análisis químicos de la concentración de carbono en las muestras mediante el uso de un ANALIZADOR CHN.

Ecuación 1

$$CH = \frac{Pfs - Pss}{Pfs} * 100$$

CH= contenido de humedad

Pfs= peso fresco de submuestra (g)

Pss= peso seco de la submuestra (g)

Para el cálculo de la biomasa y necromasa según lo que establece Serrato Cuevas et. al. (2014). La biomasa se define como la cantidad de materia orgánica que no contiene humedad, por lo tanto, para calcular la biomasa se emplea la ecuación que se muestra a continuación.

Ecuación 2

$$B(\text{ton}) = (\text{Pft}) - (\text{Pft} * \text{CH}) / 1000000$$

Donde:

B = biomasa (ton)

Pft = Peso fresco total (g)

CH = Contenido de Humedad

1ton = 1000000 g

Según lo señalado por Serrato et al., en 2014, el contenido de carbono en la biomasa y necromasa se calcula de la siguiente manera: se considera que la mitad de la biomasa seca corresponde a la cantidad de carbono presente. Por lo tanto, una vez que se haya determinado la biomasa seca, se multiplica por 0,5 para obtener la cantidad de carbono, como se ilustra a continuación:

Ecuación 3

$$\text{CC (Ton C/ ha)} = B * 0,5 \text{ Tmm}$$

Donde:

CC = Contenido de carbono (ton/ ha)

B = Biomasa (ton)

Tmm = Total de metros muestreados (ha)

0.5 = Factor que corresponde al Carbono IPCC

3.11 Metodología para el objetivo 3 Suelo

3.11.1 Estimación del contenido de carbono orgánico secuestrado del suelo

Las muestras que fueron obtenidas de suelo, se enviaron al laboratorio de suelos donde fueron secadas a 60° C entre 48 a 72 horas, en la estufa, luego se procedió a pesar cada una de las muestras, para después colocar en la mufla donde permanecieron a 450° C por media hora según el método de calcinación o pérdida por ignición (Schulte y Hopkins, 1996). Éste proceso se realizó en cada una de las muestras sin mezclarlas.

La determinación del contenido de carbono orgánico en un suelo es un indicador del porcentaje de materia orgánica presente en él. Para lograr esto, se utiliza el método de combustión en seco, que es altamente preciso ya que proporciona valores absolutos (Lizcano Toledo, y otros., 2017). A partir del valor obtenido para la materia orgánica, se aplica el factor Van Bemmelen de 1,724 (Ecuación 4) para calcular el porcentaje de carbono orgánico del suelo, basándose en la suposición de que el 58% de la materia orgánica está compuesta de carbono (Eyherabide, y otros., 2014).

Ecuación 4

$$\%CO = \%MO / 1,724$$

Para determinar el contenido de carbono orgánico (CO₂) en el área de estudio, se llevó a cabo una estimación mediante el cálculo del carbono orgánico del suelo (COS) en toneladas por hectárea en las áreas de muestreo (Ecuación 5) (Arcos, 2019).

Ecuación 5

$$COS ((Ton C/ha)) = \%CO * Da * Prof * 100$$

Donde

COS (Ton C/ha) = contenido de carbón en el suelo

Da = Densidad aparente (ton /m₃)

Prof = Profundidad (m)

100 = Relación entre (1ha=100000000cm² - 1ton=1000000g)

Para calcular el contenido total de carbono, se aplicó la fórmula propuesta por Ayala et al. (2014) (Ecuación 6) con algunas modificaciones. El contenido total de carbono almacenado representa la suma del carbono total presente en el suelo, la biomasa y la necromasa, expresado en unidades de Toneladas de Carbono por hectárea (Ton C/ha).

Ecuación 6

$$CT = COS + CCN + CCB$$

Donde

COS (Ton C/ha) = contenido de carbón en el suelo

CCN (Ton C/ha) = Contenido de carbón en la necromasa

CCB (Ton C/ha) = contenido de carbón en la biomasa

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados

4.1.1 Resultados contenido de carbono en necromasa (hojarasca)

El contenido de carbono orgánico en la necromasa de cada una de las muestras de las parcelas expresado en unidades de Ton C / ha.

Tabla 4-1: Resultados del análisis de carbono orgánico en la necromasa.

# Muestra	Identificación muestra	Cantidad de carbono orgánico (Ton C / ha)
1	MNP1	15,27
2	MNP1	22,80
3	MNP1	26,73
4	MNP1	22,67
5	MNP2	23,00
6	MNP2	23,33
7	MNP2	23,87
8	MNP2	20,47
9	MNP3	26,13
10	MNP3	23,60
11	MNP3	25,53
12	MNP3	23,33
13	MNP4	28,80
14	MNP4	23,40
15	MNP4	27,93
16	MNP4	31,53
17	MNP5	26,73
18	MNP5	27,20
19	MNP5	27,73
20	MNP5	22,07

21	MNP6	22,13
22	MNP6	22,73
23	MNP6	28,93
24	MNP6	27,53

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-2: Necromasa Ton/C ha⁻¹ Medias ajustadas y errores estándares para Estratos Inversa de la función de enlace con efecto LSD Fisher (Alfa=0,05).

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Estratos	1	22	7,22	0,0135

Estratos	PredLin	E.E.	Media	
3440 msnm	3,27	0,04	26,39	a
3840 msnm	3,14	0,04	23,06	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

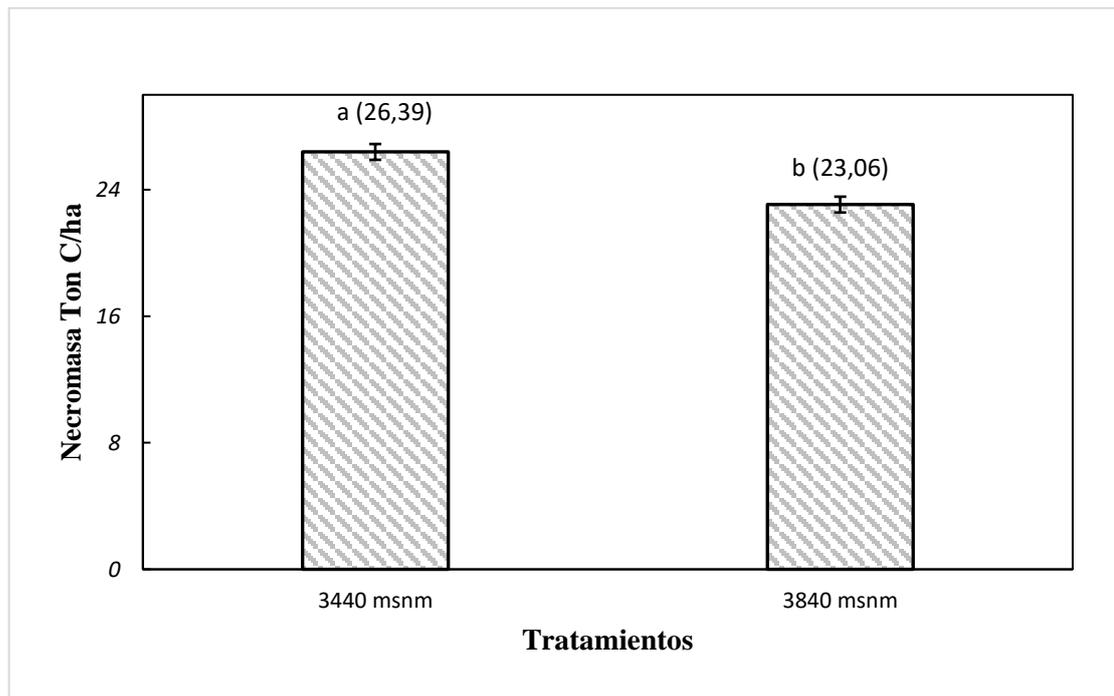


Ilustración 4-1: Contenido de necromasa Ton C / ha a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Se observa que si existen diferencias significativas entre los diferentes estratos reportando un $p = 0,0135$, siendo el estrato de 3440 msnm el que reporto la media más alta (26,39 Ton C/ha $\pm 0,04$) y el estrato de 3840 msnm reporto la media más baja (23,06 Ton C/ha $\pm 0,04$).

4.1.2 *Resultados contenido de carbono en biomasa aérea*

El contenido medio de carbono orgánico en la biomasa encontrado en cada una de las muestras de las parcelas.

Tabla 4-3: Resultados del análisis de carbono orgánico de la biomasa.

# Muestra	Identificación muestra	Cantidad de carbono orgánico (Ton C / ha)
1	VP1	32,20
2	VP1	32,60
3	VP1	30,53
4	VP1	31,80
5	VP2	30,03
6	VP2	31,51
7	VP2	30,17
8	VP2	31,73
9	VP1	30,78
10	VP1	32,95
11	VP1	32,25
12	VP1	31,63
13	VP1	32,33
14	VP1	32,48
15	VP1	32,63
16	VP1	31,40
17	VP1	31,63
18	VP1	32,40
19	VP1	32,09
20	VP1	31,94
21	VP1	33,33
22	VP1	32,87
23	VP1	33,64

24	VP1	20,73
----	-----	-------

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-4: Biomasa Ton/C ha⁻¹ Medias ajustadas y errores estándares para Estratos Inversa de la función de enlace con efecto LSD Fisher (Alfa=0,05).

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Estratos	1	22	3,30E-03	0,9545

Estratos	PredLin	E.E.	Media
3840 msnm	3,45	0,02	31,52 a
3440 msnm	3,45	0,02	31,46 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

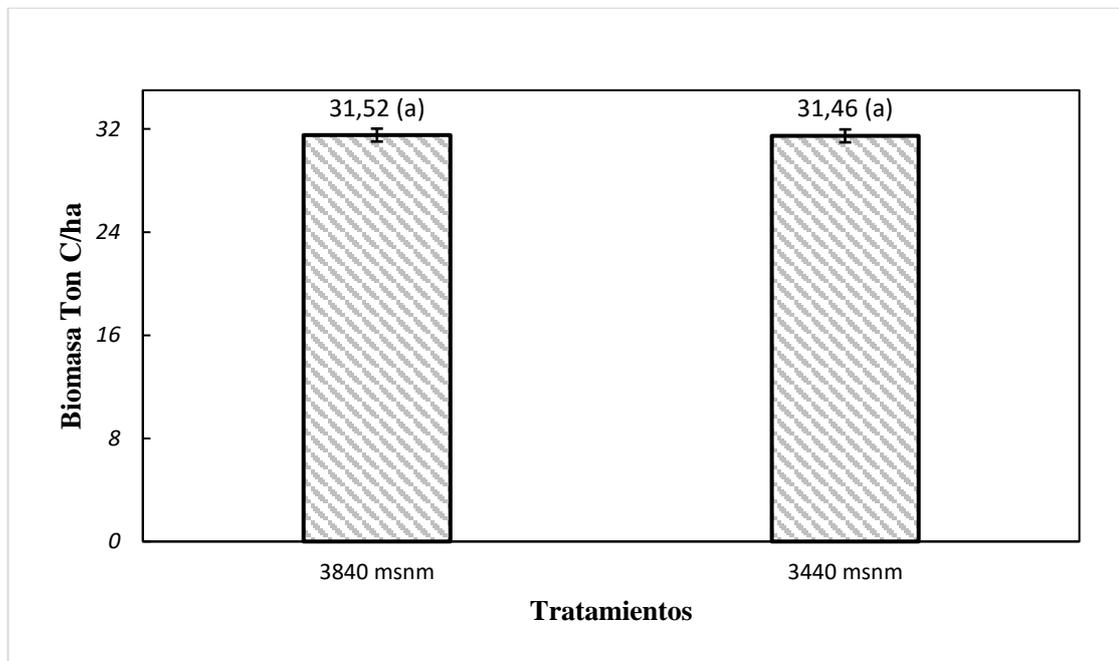


Ilustración 4-2: Contenido de biomasa Ton C / ha a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Se observa que no existen diferencias significativas entre los diferentes estratos reportando un $p = 0,9545$, siendo que ambos estratos reportaron una media similar (31,46 y 31,52 Ton C/ha \pm 0,02)

4.1.3 Resultados contenido de carbono del suelo

4.1.3.1 Contenido de carbono a 30 cm de profundidad del suelo

El contenido estimado de carbono en las muestras de suelo a una profundidad de 30 cm en ambos estratos altitudinales.

Tabla 4-5: Resultados del análisis de carbono orgánico del suelo a 30 cm de profundidad.

# Muestra	Identificación muestra	Cantidad de carbono orgánico (Ton C/ ha)
1	P1S30	89,45
2	P1S30	38,57
3	P1S30	39,18
4	P1S30	44,94
5	P2S30	42,38
6	P2S30	22,54
7	P2S30	42,58
8	P2S30	67,49
9	P3S30	58,80
10	P3S30	39,78
11	P3S30	57,00
12	P3S30	35,71
13	P4S30	78,74
14	P4S30	88,90
15	P4S30	92,93
16	P4S30	114,73
17	P5S30	70,82
18	P5S30	91,61
19	P5S30	96,76
20	P5S30	81,75
21	P6S30	120,99
22	P6S30	86,11
23	P6S30	80,25
24	P6S30	125,31

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-6: Medidas de ajuste del modelo.

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
24	199,38	202,65	-96,69	17,52	0,65

AIC y BIC menores implica mejor

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-7: Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III).

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	395,89	<0,0001
Estratos	1	41,16	<0,0001

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-8: Suelo a 30 cm profundidad Ton/C ha⁻¹ Medias ajustadas y errores estándares para Estratos. LSD Fisher (Alfa=0,05). Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni.

Estratos	Medias	E.E.	
3440 msnm	94,08	5,06	A
3840 msnm	48,2	5,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

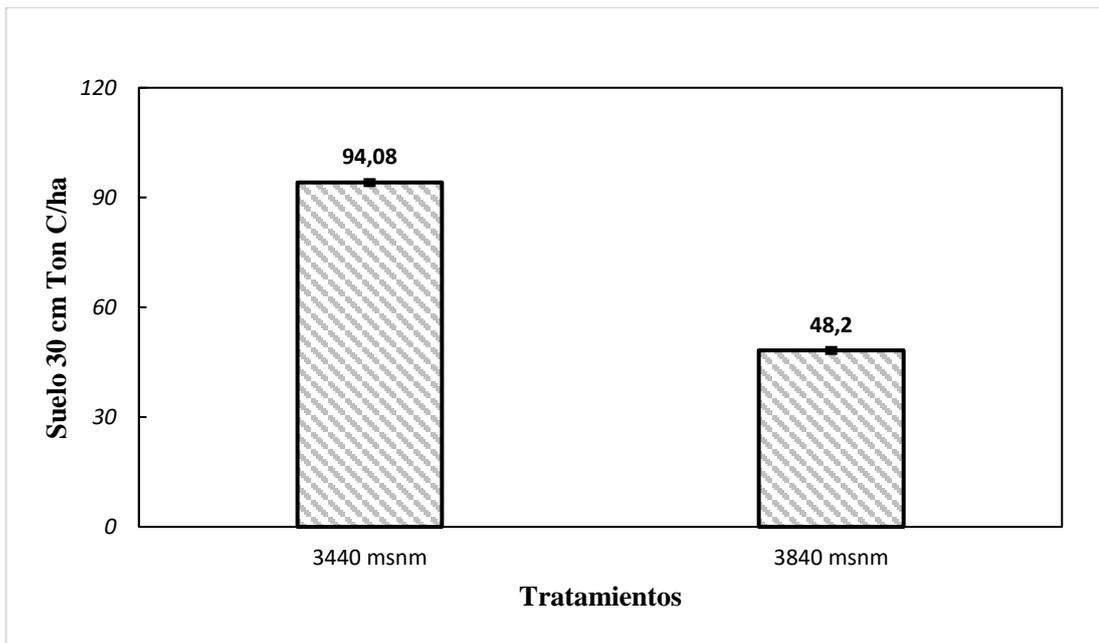


Ilustración 4-3: Contenido de carbono en suelo a 30 cm Ton C/ ha a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Se observa que si existen diferencias significativas entre los diferentes estratos reportando un $p = <0,0001$, siendo el estrato de 3440 msnm el que reporto la media más alta (94,08 Ton C/ha \pm 5,06) y el estrato de 3840 msnm reporto la media más baja (48,2 Ton C/ha \pm 5,06).

4.1.3.2 *Contenido de carbono a 60 cm de profundidad del suelo*

El contenido estimado de carbono en las muestras de suelo a una profundidad de 60 cm estratos altitudinales.

Tabla 4-9: Resultados del análisis de carbono orgánico del suelo a 60 cm de profundidad.

# Muestra	Identificación muestra	Cantidad de carbono orgánico (Ton C/ ha)
1	P1S60	66,46
2	P1S60	33,53
3	P1S60	71,83
4	P1S60	42,00
5	P2S60	111,09
6	P2S60	52,90
7	P2S60	51,61
8	P2S60	43,76
9	P3S60	63,11
10	P3S60	45,96
11	P3S60	37,12
12	P3S60	95,31
13	P4S60	131,60
14	P4S60	18,91
15	P4S60	110,35
16	P4S60	121,17
17	P5S60	131,60
18	P5S60	163,50
19	P5S60	144,89
20	P5S60	128,17
21	P6S60	134,99
22	P6S60	151,27
23	P6S60	134,99

24	P6S60	144,89
----	-------	--------

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-10: Medidas de ajuste del modelo.

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
24	224,24	227,52	-109,12	30,82	0,56

AIC y BIC menores implica mejor

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-11: Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III).

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	218,32	<0,0001
Estratos	1	28,19	<0,0001

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-12: Suelo a 60 cm profundidad Ton/C ha⁻¹ Medias ajustadas y errores estándares para Estratos. LSD Fisher (Alfa=0,05). Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni.

Estratos	Medias	E.E.	
3440 msnm	126,36	8,9	A
3840 msnm	59,56	8,9	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

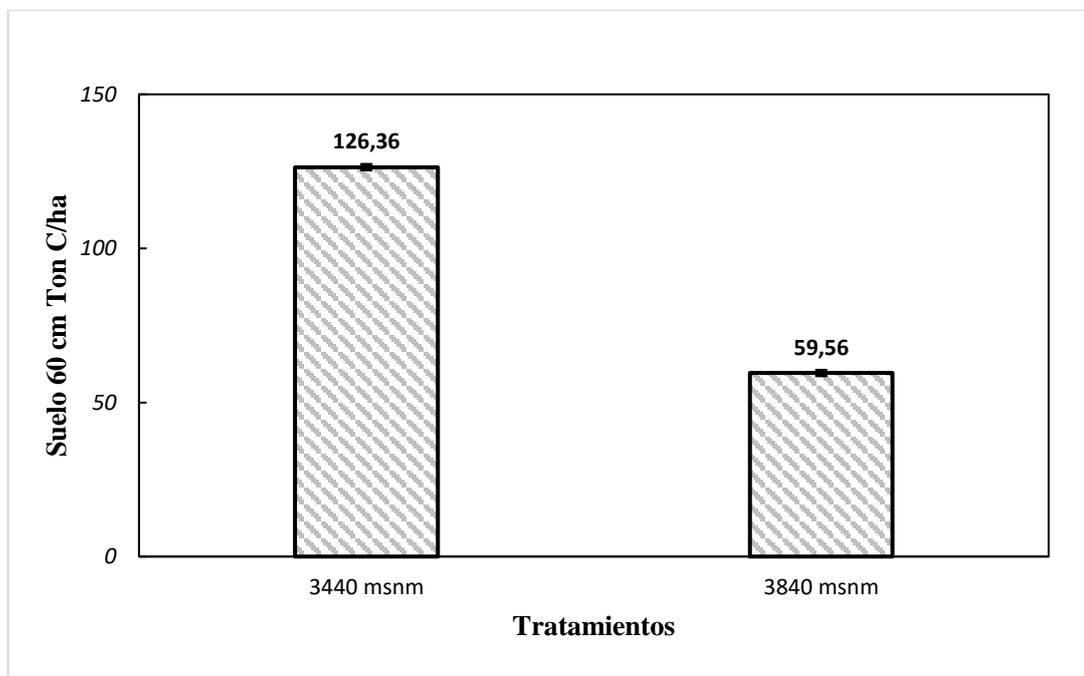


Ilustración 4-4: Contenido de carbono en suelo a 60 cm Ton C/ ha a diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Se observa que si existen diferencias significativas entre los diferentes estratos reportando un $p < 0,0001$, siendo el estrato de 3440 msnm el que reporto la media más alta (126.36 Ton C/ha \pm 8,9) y el estrato de 3840 msnm reporto la media más baja (59,56 Ton C/ha \pm 8,9).

4.1.3.3 *Contenido de carbono a 90 cm de profundidad del suelo*

El contenido estimado de carbono en las muestras de suelo a una profundidad de 90 cm estratos altitudinales.

Tabla 4-13: Resultados del análisis de carbono orgánico del suelo a 90 cm de profundidad.

# Muestra	Identificación muestra	Cantidad de carbono orgánico (Ton C/ ha)
1	P1S90	84,50
2	P1S90	77,41
3	P1S90	105,90
4	P1S90	61,01
5	P2S90	69,59
6	P2S90	68,94
7	P2S90	74,17
8	P2S90	56,34
9	P3S90	61,01
10	P3S90	66,30
11	P3S90	72,21
12	P3S90	80,00
13	P4S90	347,78
14	P4S90	301,18
15	P4S90	367,58
16	P4S90	349,52
17	P5S90	365,82
18	P5S90	373,60
19	P5S90	262,13
20	P5S90	358,22
21	P6S90	334,36

22	P6S90	343,66
23	P6S90	280,36
24	P6S90	291,40

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-14: Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
24	220,45	223,72	-107,23	28,28	0,96

AIC y BIC menores implica mejor

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-15: Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1227,4	<0,0001
Estratos	1	500,26	<0,0001

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Tabla 4-16: Suelo a 90 cm profundidad Ton/C ha⁻¹ Medias ajustadas y errores estándares para Estratos. LSD Fisher (Alfa=0,05). Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni.

Estratos	Medias	E.E.	
3440 msnm	331,3	8,16	A
3840 msnm	73,12	8,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

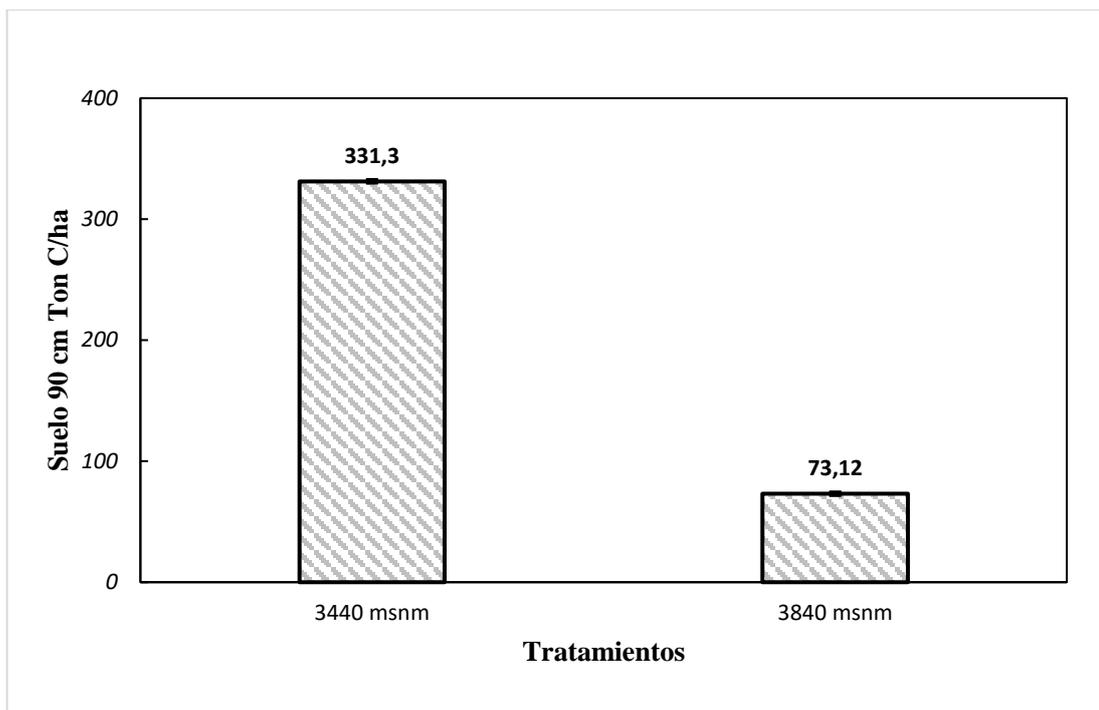


Ilustración 4-5: Contenido de biomasa Ton C/ ha en suelo a profundidad de 90 cm en diferentes estratos en el páramo Ichubamba Yasepan.

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Se observa que si existen diferencias significativas entre los diferentes estratos reportando un $p = <0,0001$, siendo el estrato de 3440 msnm el que reporto la media más alta (331,3 Ton C/ha \pm 8,16) y el estrato de 3840 msnm reporto la media más baja (73,12 Ton C/ha \pm 8,16).

4.1.4 Carbono orgánico total

4.1.4.1 Contenido de carbono a 3440 metros sobre el nivel del mar

El carbono total es el resultado de la suma de la biomasa, necromasa y el carbono almacenado a los 30, 60 y 90 cm.

Tabla 4-17: Contenido de carbono orgánico total a 3440 m.s.n.m.

Origen	Cantidad (media) (Ton C/ ha)
Necromasa	26,39
Biomasa	31,46
Suelo Prof 30 cm	94,08
Suelo Prof 60 cm	126,36

Suelo Prof 90 cm	331,3
Total	609,59

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

4.1.4.2 Contenido de carbono a 3840 metros sobre el nivel del mar

El carbono total es el resultado de la suma de la biomasa, necromasa y el carbono almacenado a los 30, 60 y 90 cm.

Tabla 4-18: Contenido de carbono orgánico total a 3840 m.s.n.m.

Origen	Cantidad (media) (Ton C/ ha)
Necromasa	23,06
Biomasa	31,52
Suelo Prof 30 cm	48,2
Suelo Prof 60 cm	59,56
Suelo Prof 90 cm	73,12
Total	235,46

Realizado por: Espinosa, Anthony, 2023.

Explorar el páramo es una experiencia fascinante que revela la sorprendente diversidad de especies vegetales que han adaptado sus vidas a condiciones climáticas extremas y de altitud. En estos ecosistemas de alta montaña, es posible encontrar una rica variedad de plantas únicas y resilientes que han desarrollado estrategias de supervivencia asombrosas. Cada especie de planta en el páramo desempeña un papel crucial en el equilibrio frágil de este entorno y ofrece una ventana a la adaptación evolutiva en su máxima expresión.

4.2 Lista de especies de flora encontradas en el ecosistema herbazal en diferentes gradientes altitudinales.

La realización de un inventario florístico en los páramos es una tarea esencial para comprender y conservar éstos frágiles ecosistemas. A continuación se muestra un registro de las especies vegetales presentes en las áreas de estudio.

Tabla 4-19: Especies de flora encontradas en las zonas de estudio a 3440 m.s.n.m

No.	Familia	Especie
1	Apiaceae	<i>Azorella pedunculata</i>

2		<i>Daucus montanus</i>
3		<i>Eryngium hamile</i>
4		<i>Gnaphalium spicatum</i>
5		<i>Hydrocotyle bonplandii</i>
6	Asteraceae	<i>Diplostephium ericoides</i>
7		<i>Diplostephium antisanense</i>
8		<i>Diplostephium glandulosum</i>
9		<i>Baccharis genistelloides</i>
10		<i>Gynoxys halli</i>
11		<i>Gynoxys buxifolia</i>
12	Bartramiaceae	<i>Breutelia tomentosa</i>
13	Cyperaceae	<i>Eleocharis sp.</i>
14		<i>Carex bonplandii</i>
15	Ericaceae	<i>Pernettya prostrata</i>
16	Fabaceae	<i>Vicia andicola</i>
17		<i>Trifolium repens</i>
18		<i>Gentiana sedifolia</i>
19	Geraniaceae	<i>Geranium laxicaule</i>
20	Gunneraceae	<i>Gunnera magellanica</i>
21	Iridaceae	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i>
22		<i>Tigridia pavonia</i>
23	Lamiaceae	<i>Clinopodium nubigenum</i>
24		<i>Stachys elliptica</i>
25	Poaceae	<i>Calamagrostis intermedia</i>
26		<i>Agrostis breviculmis</i>
27	Rosaceae	<i>Acaena ovalifolia</i>
28		<i>Acacena elongata</i>
29		<i>Lachemilla orbiculata</i>

Fuente: Paucar (2023).

Tabla 4-20: Especies de flora encontradas en las zonas de estudio a 3840 m.s.n.m

No.	Familia	Especie
1	Apiaceae	<i>Diplostephium ericoides</i>
2		<i>Daucus montanus</i>
3	Asteraceae	<i>Diplostephium ericoides</i>
4		<i>Gynoxys buxifolia</i>
5		<i>Gynoxys halli</i>
6	Campanulaceae	<i>Centropogon solisii</i>
7	Caprifoliaceae	<i>Valeriana microphylla</i>
8	Caryophyllaceae	<i>Drymaria ovata</i>
9	Cyperaceae	
10		<i>Carex bonplandii</i>
11		<i>Carex pichinchensis</i>
12	Ericaceae	<i>Pernettya prostrata</i>
13		<i>Vaccinium floribundum</i>
14	Fabaceae	<i>Vicia andicola</i>
15		<i>Medicago polymorpha</i>

16		<i>Trifolium repens</i>
17		<i>Gentiana sedifolia</i>
18	Lamiaceae	<i>Clinopodium nubigenum</i>
19	Poaceae	<i>Calamagrostis intermedia</i>
20	Polygonaceae	<i>Rumex acetosella</i>
21		<i>Agrostis breviculmis</i>
22		<i>Agrostis perennas</i>
23	Ranunculaceae	<i>Ranunculus praemorsus</i>
24	Rosaceae	<i>Acaena ovalifolia</i>
25		<i>Acaena elongata</i>
26	Rubiaceae	<i>Galium hypocarpium</i>
27	Solanaceae	<i>Solanum nigrescens</i>

Fuente: Paucar (2023).

4.2.1 Comprobación de la hipótesis

Luego de realizado el trabajo de investigación , el análisis de laboratorio y la comparación de resultados se concluye que la cantidad de carbono secuestrado no es similar en los diferentes estratos altitudinales del ecosistema herbazal del área protegida Cooperativa “Ichubamba Yasepan”, ya que existe un valor $p = 0,05$ menor en 4 de las variables estudiadas, necromasa, suelo a 30, 60 y 90 cm de profundidad que resultan en que si existen diferencias significativas siendo el estrato 3440 m.s.n.m. el que tiene mayor cantidad de carbono orgánico secuestrado, solo se registró una variable en la cual no existe diferencias significativas la cuál es la biomasa aérea. Por ello se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

Para la variable necromasa, Caguana en el 2022 obtuvo una cantidad de carbono orgánico secuestrado de 11,55 Ton C/ha a 3700 m.s.n.m y de 1,74 Ton C/ha a 3400 m.s.n.m, dichos valores son inferiores a los encontrados en la presente investigación, se asume que el origen de las muestras son la principal causa de las diferencias en los resultados de contenido de carbono secuestrado, la recolección de muestras de necromasa en éste estudio corresponden mayoritariamente a fuentes de hojarasca de la especie Calamagrostis y Agrostis. Así mismo Según Ruiz en el 2018, en el ecosistema herbazal del páramo ubicado en la comunidad Llucud de la provincia de Chimborazo para la necromasa se estimó valores que no sobrepasan a 6 Ton C/ ha, datos inferiores a los resultados de éste estudio.

En la variable biomasa según Bertzky et al. (2010), Hofstede (1999), Mosser et al. (2011), Winrock (2008) y Llambi et al (2012), el carbono orgánico secuestrado de la vegetación (biomasa) proveniente mayoritariamente del pajonal alcanza cantidades de hasta 20 Ton C/ ha, valor relativamente inferior a los resultados del presente trabajo de investigación.

En cuanto al variable suelo a 30 cm de profundidad a 3840 m.s.n.m Según Tonnjeick et al (2010) en el trópico suramericano se tiene una media de 220 Ton C/ ha, valor superior al obtenido en el presente estudio. Para suelo a 30 cm prof a 3440 m.s.n.m según Caguana se tiene una media de 75,76 Ton C/ ha valor superior al encontrado en nuestro estudio.

Para el suelo a 60 cm prof. a 3440 y 3640 m.s.n.m según Caguana el carbono orgánico secuestrado tiene una media de 93,98 en ambas altitudes, datos los cuales son superiores al obtenido.

Y por último para el contenido de C orgánico en suelo a 90 cm prof. A 3440 m.s.n.m según Henry et al 2013 para el contenido de carbono en un páramo ubicado en Cuenca rio Chimbo a altitudes similares se tiene cantidades medias de 806 Ton C/ ha. Según Ayala et al a una profundidad de 60 cm bajo la cobertura herbácea se registró un total de 537,06 Ton C/ ha en el páramo del Parque Nacional Yacurí, dato que es muy alto en comparación con los resultados de nuestro estudio, y describe que el carbono orgánico secuestrado a medida que se profundiza en el suelo disminuye en cantidad, ésta tendencia no es similar en el área protegida Ichubamba Yasepán, ya que se puede observar un aumento de contenido de C a mayor profundidad del suelo.

Según O'Connor et al. (1999) las concentraciones de carbono orgánico y nitrógeno del suelo son mayores en cuencas bajas. Su crecimiento homogéneo mejora la actividad microbiana del suelo y la conservación de nutrientes, en contraste con los suelos de cuencas altas que tienen menos vegetación y, por lo tanto, tienen mayores pérdidas de nutrientes, ésta declaración es similar a la expuesta según los resultados de éste estudio en donde se infiere que es el manto vegetal que cubre a la superficie un factor importante en la capacidad de secuestro de carbono en el ecosistema páramo. Éste impide propiamente la pérdida de nutrientes manteniéndolo secuestrado evitando su liberación a la atmósfera.

Existen datos de carbono en páramo de otros países como en el páramo de Sumapaz, Cundinamarca en Colombia en donde según Montes-Pulido et al (2017) el COS total secuestrado bajo la influencia de vegetación natural fue de 550 Ton C/ ha, éstos datos muestran un elevado contenido de carbono en superficies bajo vegetación de éstos ecosistemas, tendencia que se repite en los resultados de éste estudio, encontrando una gran cantidad de carbono almacenado bajo cobertura vegetal a 3440 m.s.n.m.

Ayala et al (2013) concluye que no existe relación entre la presencia de cobertura vegetal y el secuestro de carbono en el suelo, esto contraría lo expuesto por Reyes (2003), que menciona que la necromasa proveniente de la vegetación es uno de los principales factores que modifican la cantidad de carbono orgánico en suelo, y su velocidad de descomposición depende principalmente de factores ambientales como la temperatura y la humedad.

CAPITULO VI

6.1 CONCLUSIONES

Luego del cumplimiento de todas las actividades correspondientes se llega a concluir que los resultados de la investigación indican que el contenido de carbono orgánico secuestrado en el ecosistema herbazal del páramo Ichubamba Yasepan no es igual en las variables estudiadas.

Carbono en Biomasa

El análisis de las muestras tomadas en subunidades muestrales de la parcela indican que no existen diferencias estadísticas en la variable biomasa ya que ambos estratos reportaron una media similar (31,46 a 3440 m.s.n.m y 31,52 a 3840 m.s.n.m), esto debido a la presencia dominante de *Agrostis perennas* y *Calamagrostis intermedia* los cuales fueron la principal fuente de biomasa para las muestras, lo que nos indica que a diferentes estratos altitudinales, estas especies contienen cantidades similares de carbono orgánico.

Carbono en Necromasa

Para las variables necromasa y suelo se concluye que al existir diferencias significativas en las cantidades, el contenido de carbono orgánico secuestrado no es similar en diferentes estratos.

Para la variable necromasa se obtuvo una media de 26,39 Ton C/ha a 3440 m.s.n.m, y a 3840 m.s.n.m se obtuvo una media de 23,06 Ton C/ha.

Carbono en suelo a diferentes profundidades

De lo evaluado a 30, 60 y 90 cm de profundidad de las muestras tomadas en subunidades muestrales de la parcela, el suelo del páramo presenta una cantidad media de 94,08 Ton C/ha a 3440 m.s.n.m y a 3840 m.s.n.m reporto una media de 48,2 Ton C/ha a 30 cm de profundidad. Una media de 126,36 Ton C/ha a 3440 m.s.n.m y a 3840 m.s.n.m reporto una media de 59,56 Ton C/ha a 60 cm de profundidad. Una media de 331,3 Ton C/ha a 3440 m.s.n.m y a 3840 m.s.n.m reporto una media de 73,12 Ton C/ha a 90 cm de profundidad.

Finalmente el carbono total almacenado en cada uno de los estratos altitudinales

La cantidad total de carbono orgánico secuestrado en el estrato 3440 m.s.n.m es de 609,59 Ton C/ ha y en el estrato 3840 es de 235,46 Ton C/ ha. Existe más carbono secuestrado en el estrato altitudinal de 3440, una de las razones que se pueden identificar de éste alto contenido de carbono posiblemente sea la presencia de la vegetación denominada “almohadilla” que hace referencia a una forma particular de crecimiento de las plantas las cuales se han adaptado a crecer de manera agrupada en densos “cojines” o “almohadillas” de vegetación, que les permite conservar el calor y protegerse mutuamente de las condiciones climáticas adversas.

Esta protección de la superficie propiciada por la cobertura vegetal aísla el suelo de factores como radiación, erosión de diferentes tipos y permite el reservorio de humedad con la presencia de turberas el cuál desempeña un papel importante y permiten mayor secuestro de carbono orgánico porque hay una tasa lenta de descomposición de materia orgánica.

Entre las plantas con éste hábito de crecimiento en ésta zona se identificó a especies como *Gunnera magellanica*, *Hydrocotyle bonplandii*, *Daucus montanus*, *Breutelia tomentosa*, *Carex bonplandii*, *Geranium laxicaule*

La cobertura vegetal desempeña un rol fundamental en el secuestro de carbono orgánico en los páramos, procesos como la fotosíntesis que convierten el CO₂ en materia orgánica, la acumulación de la densa biomasa, los procesos de descomposición, la retención del suelo que evita la erosión (el carbono orgánico es vulnerable a la erosión) y la interacción entre microorganismos aportan en los procesos de secuestro y retención de C.

Cabe recalcar que la presencia de turberas en el área de estudio también es un factor respuesta importante en el secuestro de carbono, ya que existen zonas con cobertura vegetal en ecosistemas de páramo en los que no existe presencia de éstas formaciones de agua.

La turbera es un tipo de humedal caracterizado por la gran acumulación de materia en descomposición y favorece la formación de suelos ricos en carbono, son considerados sumideros de carbono. Se deduce que la existencia de éstas áreas húmedas se dan gracias a la almohadilla de vegetación y a la pendiente del suelo. A 3440 m.s.n.m en el área de estudio del páramo Ichubamba Yasepan tenemos bofedales, amplias áreas planas de páramo saturadas de agua, mientras que a 3840 msnm el área de estudio corresponde a una cima en la cual no existe cobertura densa de vegetación y por ende no hay presencia de turberas.

Mediante los resultados logrados se puede llegar a la conclusión de que el contenido de carbono orgánico secuestrado no está influenciado por el gradiente altitudinal como concluye Huamán-Carrión, Mary L, et al (2021) en el cual explica que a mayor altitud el suelo tiene mayor capacidad de almacenamiento; la cobertura vegetal es un factor importante que en conjunto con la humedad, la topografía y factores ambientales proveen el entorno ideal para la captación del C.

6.2 RECOMENDACIONES

Se debe plantear en estudios ulteriores, una investigación más profunda acerca de la vegetación presente, la profundidad de suelo, la extensión del territorio, entre otros factores ambientales y de cómo aportan a la dinámica de los flujos de carbono del páramo Ichubamba Yasepan puesto que no se tiene un registro amplio de información del funcionamiento de éste sistema, como se pudo determinar, este ecosistema posee características diferentes a otros páramos. Se recomienda ejecutar trabajos de monitoreo de carbono en el tiempo a largo plazo para obtener datos sobre la tasa de secuestro de carbono, que es información relevante para la mitigación del cambio climático, la resiliencia de ecosistemas y la gestión de recursos naturales.

Buscar apoyo técnico y asesoramiento de expertos en la estimación de carbono orgánico secuestrado debe ser previsto para el desarrollo del trabajo de investigación, la aplicación de métodos más precisos para garantizar la calidad y fiabilidad del estudio.

Se recomienda invitar a las comunidades y demás personas que habitan dentro y en los alrededores y formar parte de los trabajos de investigación, dar a conocer los resultados para que en base a ellos puedan generar una manera consciente de pensar sobre el tesoro natural que tienen cerca o resguardan, y así desarrollar un sentimiento de conservación, más allá de ser un área protegida, que pueda garantizar la preservación y la condición natural intacta de éste páramo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ÁLVAREZ-CONDO, GUSTAVO.** *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia.* 2008. Turrialba : s.n., 2008, CATIE.
2. **ARMENTERAS, D, Y OTROS.** *Revisión del concepto de ecosistema como "unidad de la naturaleza" 80 años después de su formulación.* 2016. 45-03, Bogotá : s.n., 16 de enero de 2016, Ecosistemas Revista científica de ecología y medio ambiente, pág. 88.
3. **BELTRÁN KARLA, Y OTROS.** *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador.* Quito : Ecociencia, 2009.
4. **BUYTAERT, W, Y OTROS.** *The effect of land-use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador..* 2005. 1 de agosto de 2005, Wiley, Vol. 19, pág. 13.
5. **BERTZKY, M, Y OTROS.** *Carbon, biodiversity & ecosystem services: exploring co-benefits.* 2010. Cambridge, UK : UNEP-WCMC, 2010, UNEP World Conservation Monitoring Centre.
6. **CALDERÓN, MARCO, Y OTROS.** *Monitoreo de contenidos y flujos de carbono en gradientes altitudinales altoandinos.* Quito : s.n., 2013. Vol. Protocolo 1.
7. **CUNALATA RUGEL, CRISTIAN GEOVANNY Y INGA CÓNDOR, CARLOS PATRICIO.** <http://dspace.esPOCH.edu.ec/>. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/>. [En línea] 2 de febrero de 2012. [Citado el: 26 de septiembre de 2023.] <https://core.ac.uk/download/pdf/234582542.pdf><https://core.ac.uk/download/pdf/234582542.pdf>
8. **DE LA HOZ RODRÍGUEZ, FRANCISCA MARÍA, Y OTROS.** *Manual de Ordenación de Montes de Andalucía.* Andalucía : Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 2004.
9. **FAO. 2001.** fao.org. fao.org. [En línea] 5 de marzo de 2001. [Citado el: 26 de septiembre de 2023.] <https://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf>.
10. **FJELDSÅ, JON.** *The avifauna of the Polytepis woodlands of the Andean highlands: the efficiency of basing conservation priorities on patterns of endemism.* 1, International : Birdlife International, 13 de febrero de 1993, Cambridge University Press, Vol. 3.
11. **FUENTES, JUAN PABLO; ACEVEDO, EDMUNDO; MARTÍNEZ, EDUARDO.** *Carbono orgánico y propiedades del suelo.* 2008. 1, s.l. : Revista de la Ciencia del suelo y nutrición, 2008, Vol. 8, págs. 68-96.

12. **HERRERA SANTOYO, HÉCTOR.** AIDA. *AIDA*. [En línea] 4 de marzo de 2013. [Citado el: 26 de septiembre de 2023.] <https://aida-americanas.org/es/blog/p%C3%A1ramos-agua-vida>.
13. **JANSSENS-MAENHOUT, GREET, Y OTROS.** *High resolution temporal profiles in the Emissions Database for Global Atmospheric Research*. 2020. 7, s.l. : Scientific Data, 17 de abril de 2020, Scientific Data, págs. 12-14-17.
14. **JORGENSEN, PETER Y LEÓN-YÁNEZ, SUSANA.** Catálogo de las Plantas Vasculares del Ecuador. *Catálogo de las Plantas Vasculares del Ecuador*. [En línea] 1999. [Citado el: 17 de septiembre de 2023.] <https://www.mobot.org/mobot/research/ecuador/introductions.sp.shtml>.
15. **JORGENSEN, PETER M, Y OTROS.** *Regional Patterns of Vascular Plant Diversity and*. 2011. s.l. : InterAmerican Institute for Global Change Research, 2011, Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes and Scientific Committee on Problems of the Environment, págs. 192-203.
16. **LEÓN-YÁNEZ, SUSANA.** La flora de los páramos ecuatorianos. *La flora de los páramos ecuatorianos*. [En línea] 2000. [Citado el: 17 de septiembre de 2023.] https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=zQSH-PwAAAAJ&citation_for_view=zQSH-PwAAAAJ:Zph67rFs4hoC.
17. **LEÓN-YÁNEZ, SUSANA, Y OTROS.** Libro Rojo. *Libro Rojo*. [En línea] 2011. [Citado el: 17 de septiembre de 2023.] <http://www.missouribotanicalgarden.org/Portals/0/staff/PDFs/ulloa/LibroRojoPort.pdf>.
18. **LLAMBI, LUIS DANIEL, Y OTROS.** *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Quito : Monsalve Moreno, 4 de agosto de 2012, Proyecto Páramo Andino, pág. 31.
19. **MALHI, Y, Y OTROS.** *Introduction: Elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research*. Oxford : Wiley, 2010. Vol. 16.
20. **MERCEDES, EYHERABIDE, Y OTROS.** *Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo*. 2014. 1, Ciudad Autónoma de Buenos Aires : s.n., junio de 2014, Ciencia del suelo, Vol. 14.
21. **MENA-VÁSCONEZ, P, MEDINA, G Y HOFSTEDE, R.G.M.** *Los páramos del Ecuador: particularidades, problemas y perspectivas*. Quito : Abya Yala, 2001.
22. **ODUM, EUGENE PLEASANTS Y BARRET, GARY W.** *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia : Saunders, 1971. Vol. 3.
23. **ONU.** *un.org*. [En línea] 20 de julio de 2022. [Citado el: 8 de agosto de 2023.] <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>. ISBN.

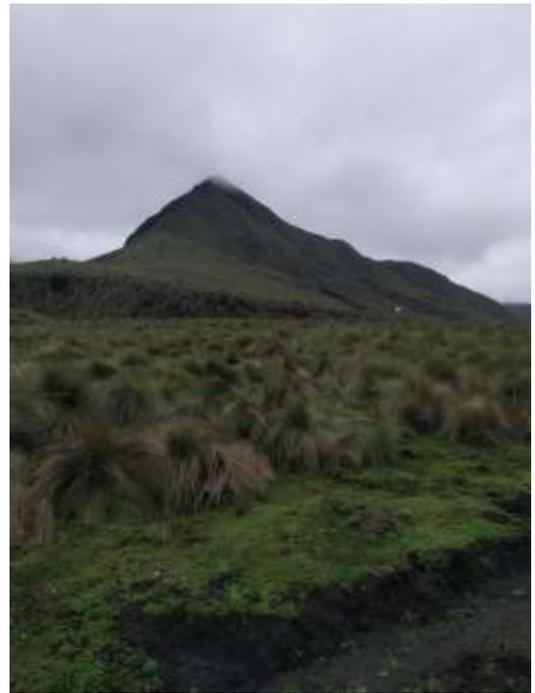
24. **REICOSKY, D.C.** *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. s.l. : CRC Press, 2002. Vols. Long-Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage-Induced CO₂ Loss.
25. **RUIZ, CARLOS S.** *Rastrojo de Cultivos y Residuos Forestales, Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego en la Región del Biobío*. [ed.] Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillan : INIAN Quilamapu, 2015. 308
26. **TONNEIJCK, F, Y OTROS.** Towards Understanding of Carbon Stocks and Stabilization in Volcanic Ash Soils in Natural Andean Ecosystems of Northern Ecuador. *Towards Understanding of Carbon Stocks and Stabilization in Volcanic Ash Soils in Natural Andean Ecosystems of Northern Ecuador*. [En línea] 2010. [Citado el: 17 de septiembre de 2023.]
file:///C:/Users/hp/Desktop/Towards_understanding_of_carbon_stocks_a.pdf.

ANEXOS

ANEXO A: RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO



ANEXO B: EXPLORACIÓN Y DETERMINACIÓN DE ESTRATOS



ANEXO C: INSTALACIÓN DE LAS PARCELAS



ANEXO D: RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS





ANEXO E: RECONOCIMIENTO DE ESPECIES VEGETATIVAS DE LA ZONA





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 29 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: ANTHONY JOSÉ ESPINOSA ZAMBRANO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: RECURSOS NATURALES
Carrera: INGENIERÍA FORESTAL
Título a optar: INGENIERO FORESTAL
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

0101-DBRA-UPT-2024

