



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

“ESTIMACIÓN DE CARBONO EN TRES DEPÓSITOS NATURALES DEL  
ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO EN LA MICROCUENCA CACHIPATA,  
COMUNIDAD LLUCUD, CANTÓN CHAMBO”

Autor:

CRISTIAN ANDRES RUIZ CARRERA

Tutor: Patricio Santillán

Riobamba – Ecuador

Año 2018

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

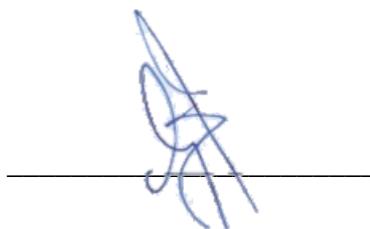
Los miembros del tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: ESTIMACIÓN DE CARBONO EN TRES DEPÓSITOS NATURALES DEL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO EN LA MICROCUENCA CACHIPATA, COMUNIDAD LLUCUD, CANTÓN CHAMBO, presentado por: Cristian Andrés Ruiz Carrera

Dirigido por: MsC. Patricio Santillán

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH. Para constancia de lo expuesto firman:

Msc. Patricio Santillán

Director del Proyecto



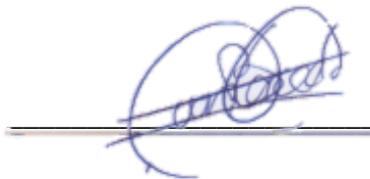
PhD. Omaira Márquez

Miembro del Tribunal



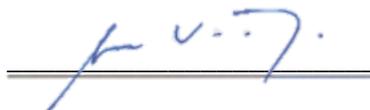
Ing. Juan Carlos Caicedo

Miembro del Tribunal



PhD Víctor García

Presidente del Tribunal



## **DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA**

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de INGENIERO AMBIENTAL, con el tema: “ESTIMACIÓN DE CARBONO EN TRES DEPÓSITOS NATURALES DEL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO EN LA MICROCUENCA CACHIPATA, COMUNIDAD LLUCUD, CANTÓN CHAMBO”, ha sido elaborado por CRISTIAN ANDRES RUIZ CARRERA, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de tutor, por lo que se encuentra apta para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

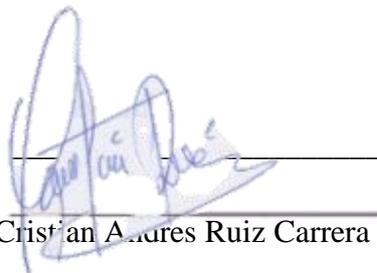


Msc. Patricio Santillán

0602780777

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, CRISTIAN ANDRES RUIZ CARRERA, con cédula de identidad No. 060434225-3, soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación y el patrimonio de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Cristian Andres Ruiz Carrera

C.I. 0604342253

## AGRADECIMIENTOS

Como prioridad en mi vida y decisiones tomadas con sabiduría agradezco a Dios por su infinita bondad, salud y fortaleza brindada.

Agradezco de manera muy especial por su esfuerzo, dedicación, colaboración y conocimientos que aportaron a formarme como un profesional de éxito, a los Doctores Víctor García, Omaira Márquez directores del proyecto, a los ingenieros Franklin Cargua y Marco Rodríguez por su apoyo incondicional y amistad sincera.

Al Msc. Patricio Santillán por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo de investigación y por el aporte de sus invaluable consejos en calidad de tutor.

Agradezco inmensamente a mis abuelos, tíos (as), Lupe y Marjorie Ruiz, Denis y Juan Carrera quienes me guiaron por el camino de la sabiduría y disciplina siendo mi contención familiar y quienes aportaron con un granito de arena para ayudarme alcanzar mi superación personal.

Gratifico la ayuda, magníficos recuerdos y experiencias prestadas por ustedes amigos Danilo, Marcela, Andrea, Roosevelt, Kleber, Ángel, Andrés, Nicolás, Carlos, Marco y todos los que conformaron mi círculo universitario por hacer de esta etapa una historia magnífica e inolvidable.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, a sus docentes, por abrir sus puertas y darme la confianza necesaria para triunfar en la vida y transmitir sabiduría para mi formación profesional.

Recuerdo, cada gesto amable, cada favor y cada sonrisa que alegró mi vida. Gracias a todos los que conforman parte de ella, estaré eternamente agradecido.

## **DEDICATORIA**

Dedico mi Tesis a quienes más amo y admiro en este mundo a mis extraordinarios padres Gustavo Ruiz y María Carrera que son mi orgullo, razón de ser e inspiración en mi vida diaria, por su noble dedicación y amor, porque han sido mis consejeros, mis amigos, porque siempre me mostraron el mejor camino a seguir. Gracias por ser mi guía. Por detenerme cuando era necesario y por empujarme cuando tenía miedo de alcanzar mis sueños y metas planteadas, gracias por estar ahí incluso sin pedírselos. ¡Son increíbles!

A mis hermanos Brian, David, mi hermana Nahomy Ruiz por ser mi inspiración y mi apoyo fundamental e incondicional en los momentos difíciles de mi vida profesional y emocional, por haber dedicado tiempo y esfuerzo para culminar una meta más e iniciar con la siguiente.

Los llevo siempre en mi mente y corazón.

Cristian Andres Ruiz C.

## **LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS**

(CO): Carbono Orgánico.

(BA): Biomasa aérea.

(BS): Biomasa subterránea.

(N): Necromasa.

(EHP): Ecosistema herbazal de páramo.

(THMC): Territorio hídrico de la Microcuenca Cachipata

(CO<sub>2</sub>): Dióxido de carbono.

(C): Carbono.

(N): Nitrógeno.

(P): Fósforo.

(S): Azufre.

(O): Oxígeno.

(H): Hidrógeno.

(MT): Millones de toneladas.

(GEI): Gases de efecto invernadero.

(MO): Materia orgánica.

(PPB): Producción primaria bruta

(PPN): Producción primaria neta

(PNE): Producción neta del ecosistema.

(PNB): Producción neta del bioma

(Rh): Respiración heterótrofa

(Ra): Respiración autotrófica

(BT): Biomasa total

(VI): Valor de importancia.

(ID): Índice de diversidad.

(IDS): Índice de diversidad de Simpson

(H'): Índice de Shannon-Weaver

(t Ms ha<sup>-1</sup>): Toneladas de materia seca por hectárea.

(kg C kg<sup>-1</sup> MS<sup>-1</sup>): Kilogramos de carbono por kilogramos de materia seca.

(kg C m<sup>-2</sup>) Kilogramos de carbono sobre por metro cuadrado.

(C1): Clase altitudinal uno (3601 – 3700) m.s.n.m.

(C2): Clase altitudinal dos (3701 – 3800) m.s.n.m.

(C3): Clase altitudinal tres (3801 – 3900) m.s.n.m.

(C4): Clase altitudinal cuatro (3901 – 4000) m.s.n.m.

(C5): Clase altitudinal cinco ( > 4000 ) m.s.n.m.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
JUSTIFICACIÓN .....	5
OBJETIVOS .....	6
1. Objetivo General.....	6
2. Objetivos Específicos .....	6
ESTADO DEL ARTE.....	7
1. Ecosistema páramo .....	7
2. Páramo a nivel nacional y provincial.....	7
3. Ciclo del carbono.....	8
3.1. Definición y formación.....	8
3.2. Captación del dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en las plantas .....	9
3.3. Línea de acción control de las concentraciones de (CO <sub>2</sub> ) .....	10
4. Taxonomía del suelo del territorio hídrico Microcuenca Cachipata .....	11
4.1. Inceptisol .....	11
5. Biomasa en Páramo .....	11
5.1. Biomasa Aérea.....	11
5.2. Biomasa Subterránea .....	11
5.3. Necromasa .....	12

6.	Ciclo de carbono almacenamiento y transferencia entre atmosfera, biosfera y litosfera	12
7.	Sumidero.....	13
8.	Reservorios o depósitos de carbono .....	13
9.	Estimación indirecta del contenido de carbono en la biomasa .....	13
10.	Diversidad Florística.....	13
10.1.	Páramo de pajonal .....	14
11.	Diversidad de especies y su medición .....	14
11.1.	Índice de riqueza de especies.....	15
11.2.	Modelos de abundancia de especies .....	15
11.3.	Abundancia proporcional de especies .....	15
	METODOLOGÍA .....	15
1.	Delimitación del área de estudio.....	15
1.1.	Condiciones climáticas .....	15
2.	Cálculo para número de parcelas requeridas .....	16
2.1.	Puntos de monitoreo .....	16
2.2.	Tamaño de la muestra.....	17
3.	Metodología para la recolección de muestras in situ de biomasa aérea y necromasa en herbazal de páramo .....	18
3.1.	Cálculo de la materia seca (MS) de la muestra, para contenido de carbono en biomasa aérea y necromasa .....	18

4.	Metodología para la recolección de muestras in situ de biomasa subterránea en herbazal de páramo .....	20
4.1.	Cálculo de stocks de carbono en la biomasa subterránea .....	20
5.	Metodología inventario florístico .....	21
5.1.	Unidad de Análisis.....	21
5.2.	Población de estudio .....	21
5.3.	Técnica de recolección de datos .....	21
5.4.	Implementación de los cuadrantes y recopilación de la información.....	22
6.	Índice de diversidad (ID) .....	22
6.1.	Índice de diversidad de Simpson (IDS):.....	23
7.	Índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) .....	23
8.	Análisis estadístico .....	24
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
1.	Rango Altitudinal Microcuenca Cachipata.....	24
2.	Cuantificación de carbono en la biomasa .....	25
2.1.	Estratificación de las zonas altitudinales y concentración de carbono en la Biomasa Aérea.....	25
2.2.	Relación concentración de carbono en la Biomasa Aérea.....	26
2.3.	Variación de la Concentración del contenido de Carbono orgánico en la Biomasa Aérea del herbazal de páramo de la Microcuenca Cachipata. ....	27
3.	Estratificación de las zonas altitudinales y concentración de carbono en la Necromasa.	28

3.1. Relación concentración de carbono en la Necromasa. ....	28
3.2. Variación de la Concentración del contenido de Carbono orgánico en la Necromasa del herbazal de páramo de la Microcuenca Cachipata. ....	29
4. Estratificación de las zonas altitudinales y concentración de carbono en la Biomasa Subterránea en las tres profundidades. ....	30
4.1. Relación concentración de carbono en la biomasa subterránea.....	31
5. Distribución espacial del contenido de carbono en la Biomasa Aérea. ....	33
6. Composición Florística.....	34
6.1. Índice de Shannon y Simpson .....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
1. Conclusiones.....	36
2. Recomendaciones .....	37
BIBLIOGRFÍA .....	38
ANEXOS.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipo de páramo pajonal y superficie total de páramo en el Ecuador.....	7
Tabla 2: Distribución por provincia de los tipos de páramo en el Ecuador. ....	8
Tabla 3: Distribución provincial del páramo en el Ecuador, extensiones y representatividad hacia el total nacional de páramos. ....	8
Tabla 4: Interpretación de la diversidad.....	23
Tabla 5: Distribución de zonas por rangos altitudinales Microcuenca Cachipata. ....	24
Tabla 6: Descripción estadística del contenido de carbono .....	25
Tabla 7: Descripción estadística del contenido de carbono en la Necromasa.....	28
Tabla 8: Descripción estadística del contenido de carbono biomasa subterránea a diferentes profundidades.....	31
Tabla 9: Dominancia de especies Microcuenca Cachipata. ....	34
Tabla 10: Diversidad florística de las diferentes clases altitudinales.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de los stocks y flujos de carbono en un bosque tropical que podría estar estacionalmente inundado.....	12
Figura 2: Herbazal de Páramo Fuente: Catálogo virtual de flora de Alta Montaña por UEIA (2017).....	14
Figura 3: Área de estudio Herbazal de Páramo.....	16
Figura 4: Puntos de monitoreo Herbazal de Páramo.....	18
Figura 5: Metodología Gloria.....	22
Figura 6: Relación concentración de carbono en la biomasa aérea según la estratificación de las zonas.....	26
Figura 7: Carbono Orgánico en la Biomasa Aérea Microcuenca Cachipata.....	27
Figura 8: Relación concentración de carbono en la necromasa según la estratificación de las zonas .....	29
Figura 9: Carbono Orgánico en la Necromasa Microcuenca Cachipata .....	30
Figura 10: Relación concentración de carbono en raíces según la estratificación de las zonas. ....	32
Figura 11: Distribución espacial del contenido de carbono en Biomasa Aérea.....	33
Figura 12: Familias con mayor número de especies .....	35

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección y codificación de las muestras en herbazal de páramo Biomasa Aérea por el método de parcelas temporales (corte ras de suelo); Recolección y codificación de las muestras en necromasa (in situ). .....	40
Anexo 2. Determinación y registro del peso de Biomasa Aérea y Necromasa en el laboratorio para el análisis del contenido de carbono. ....	41
Anexo 3. Recolección y codificación de las muestras en herbazal de páramo Biomasa Subterránea (raíces y raicillas) a tres profundidades de (0 a 10; 10 a 20; 20 a 30) cm por el método de barrenación. ....	42
Anexo 4. Determinación y registro del peso de Biomasa Subterránea (raíces y raicillas) a tres profundidades de (0 a 10; 10 a 20; 20 a 30) cm. ....	42
Anexo 5. Secado de las muestras de Biomasa Aérea, Necromasa y Biomasa Subterránea respectivamente, en la estufa a 60 °C por 24 horas en el laboratorio de servicios ambientales (LSA-UNACH). ....	43
Anexo 6. Inventario Florístico Herbazal de Páramo Microcuenca Cachipata. ....	44
Anexo 7. Registro especies en los pisos altitudinales para el Inventario Florístico Herbazal de Páramo Microcuenca Cachipata cantón. ....	47

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar el contenido del carbono orgánico (CO) en biomasa aérea (BA), subterránea (BS), necromasa (N) y un inventario florístico en el ecosistema herbazal de páramo (EHP) del territorio hídrico de la Microcuenca Cachipata (THMC). Se realizó un muestreo aleatorio; mediante software ArcGIS; considerando 69 puntos de muestreo en cinco clases altitudinales (C1~C5), con un nivel de confianza del 95%. Para la recolección de muestras de BA y N se utilizó parcelas aleatorias a nivel del suelo y para BS el método de barrenación, colectando 207 muestras a tres profundidades (0-10; 10-20; 20-30) cm. Considerando altitud y CO, la BA y N en C5 reporta la mayor (CO) con valor medio de (1,64 - 0,88) kg m<sup>-2</sup> respectivamente; en cuanto a BS el CO a tres profundidades, determinó una variación inversamente proporcional a la profundidad, mientras que en relación a la altitud no presento diferencias significativas entre ellas. La diversidad florística registro 164 individuos agrupados en 11 especies y 8 familias, determinando un mayor número de familias y especies en C1 ubicado entre (3601 – 3700) m.s.n.m. Las especies con mayor valor de importancia son: *Calamagrostis intermedia* (55%), *Festuca procera* y *Pernettya prostrata*. El índice de Shannon presento un valor 0,72 y el índice de Simpson mostró un valor 0,86. Esta investigación permite conocer la importancia de la biomasa en el secuestro de carbono a fin de diagnosticar los bienes y servicios ambientales que nos ofrece el THMC.

**Palabras Claves:** Secuestro de carbono en la biomasa, biomasa aérea, necromasa y biomasa subterránea.

## ABSTRACT

The goal of the present research was to estimate the organic coal (CO) content carbon in aerial biomass (BA), subterranean (BS), necromass (N) and a floristic inventory in the moor grassland ecosystem (EHP) of the hydrological territory of the la Micro Cuenca Cachipata (THMC). It was made a random sampling; thought ArcGIS software; considering 69 sampling points in five altitudinal types (C1 ~ C5), with a confidence level of 95%. For the sample collection BA y N random plots were used at ground level and for BS the drilling method collecting 207 samples at three depths (0-10, 10-20, 20-30) cm. Considering altitude and CO, the BA y N in C5 reports the highest (CO) with average value of (1.64 - 0.88) kg m<sup>-2</sup> respectively as for BS the CO at three depths, It determined a variation inversely proportional to the depth while in relation to the altitude it doesn't notice significant differences between them. The floristic diversity registered 164 individuals grouped in 11 species and 8 families, determining a greater number of families and species in C1 species in C1 located between (3601 - 3700) m.s.n.m. The species with greater importance value are: Calamagrostis intermediate (55%), Festuca procera y Pernettya prostrata The Shannon index showed a value of 0.72 and the Simpson index showed a value of 0.86. This research allows us to know the importance of biomass in kidnapping of coal in order to diagnostic the environmental goods and services offered by the THMC.

Key Words: Carbon sequestration in biomass, aerial biomass, necromass and subterranean



Reviewed by: Chávez, Maritza

Language Center Teacher



## INTRODUCCIÓN

Los páramos en nuestro país son ecosistemas naturales endémicos dominados principalmente por pajonales, humedales, arbustales y rosetales, caracterizado por un clima frío y sistemas susceptibles a cambios de uso de la tierra, estos sistemas naturales cuentan con grandes atributos especiales, sobre los cuales los recursos forman parte constitutiva de un componente muy importante de la biodiversidad y del recurso hídrico, por tanto, es decisivo considerarle como un sistema frágil (Haro, 2012).

Además de ello es de suma importancia conocer que los páramos son considerados como biomas exclusivos de las montañas neo tropicales que se distribuyen sobre las cadenas montañosas de los andes, por ello es pertinente y necesario conservar a los páramos como importantes centros de flora y fauna endémica, que contribuyen en la fijación de carbono gracias a la lenta descomposición de la materia orgánica y a los procesos de humificación propios de los suelos (Haro, 2012).

Según Haro (2012) menciona que el contenido de carbono tiene un valor promedio en la Paja de 26.99% y en la Paja Raíz 28.73%, en cuanto al contenido de carbono existente en la biomasa.

Nuestro estudio pretende analizar la importancia que tiene el Herbazal de páramo, de la Microcuenca Cachipata, en la comunidad de Llucud, que es considerada una zona muy importante tomando en cuenta la gran cantidad de humedales y la vasta extensión de páramo andino presente en el sector. De ahí que en este tipo de recurso natural residen un gran número de micro y macro fauna endémica; sin dejar de lado el contenido de carbono que desempeña un papel muy importante en la naturaleza (Haro, 2012).

Por ello el presente estudio pretende concientizar a la población sobre el cuidado y protección de este tipo de ecosistemas a fin de diagnosticar los bienes y servicios ambientales que nos ofrecen. En base a lo anterior en la actualidad se habla de una presumible venta de carbono y para lo cual se debe considerar un manejo adecuado, consciente y equilibrado del ambiente, para de esta manera llegar a un desarrollo económicamente sostenible y sustentable a futuro (Haro, 2012).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tomándose como punto de partida varios estudios científicos ambientales sobre el crecimiento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y los efectos que causa directa o indirectamente en la atmósfera terrestre, alertándonos de esta manera los peligros asociados a esta problemática. Este incremento no solo se debe a factores naturales que afecten el comportamiento de este sistema, sino principalmente a el elevado uso de combustibles fósiles, acrecentándose dicho crecimiento desde le época de la revolución industrial desde hace aproximadamente 200 años atrás y sus avances tecnológicos nada o poco considerados con el ambiente (Yepes et all., 2011).

Debido a los procesos naturales que se dan lugar sobre la tierra, al respecto se dice que se liberaban anualmente cerca de 210 mil millones de toneladas (MT) de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Considerándose como una cantidad estratosférica, pero al mismo tiempo cada año las praderas, selvas y bosques además de las grandes extensiones de algas marinas tienen la capacidad de absorber hasta un 6% por encima de la producción natural de CO<sub>2</sub>, lo que aseguraba un buen equilibrio dinámico con respecto al ciclo vital de éste gas (Valtierra, 2010).

En Ecuador según datos proporcionados por la Comisión Técnica de Determinación de Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (CTFE), los datos de emisión de CO<sub>2</sub> para el Sistema Nacional Interconectado (SIN), al año 2012 en base a datos de operación de años atrás, el factor de emisión para proyectos termoeléctricos e hidroeléctricos es de 0,4597 tCO<sub>2</sub>/MWh y el factor de emisión de CO<sub>2</sub> para proyectos de energías renovables no convencionales es de 0,5689 tCO<sub>2</sub>/MWh (MAE, CENACE, & CONELEC, 2012) son generados en nuestro país.

Bajo esta perspectiva, sería pertinente considerar algunas alternativas para controlar este efecto y evitar o al menos disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, otros problemas presuntamente asociados son el ineficiente uso de energía, incendios de la biomasa actual, y el asociado cambio de uso de la tierra, que emite carbono considerablemente a la atmósfera, por ello es de suma importancia pensar en la conservación y preservación de servicios eco sistémicos que nos ofrecen los páramos. Debido a que estos sistemas por sus bajas tasas de descomposición de la materia orgánica pueden llegar a almacenar ente el 12 y el 30 % del carbono total depositado en los suelos (García & Brown, 2016). Claro está que esta

retención dependerá de las interrelaciones que se asocian entre una serie de sumideros y fuentes de carbono que se lleven a cabo de en un determinado tiempo.

En la actualidad una de las recomendaciones realizadas por el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, en inglés), y que se encuentra inmerso en el convenio del Protocolo de Kyoto, el cual hace mención el proceso de secuestro de carbono en suelos, que implica la eliminación del CO<sub>2</sub> atmosférico por parte de las plantas y su almacenamiento como materia orgánica del suelo, debido a que existe un intercambio natural entre estos sistemas y la atmosfera, mediante procesos como la descomposición, respiración y fotosíntesis.

## **JUSTIFICACIÓN**

Una de las necesidades más apremiantes en los páramos ecuatorianos es sin lugar a duda su manejo y conservación, debido a que en su estructura existe una gran variedad y diversidad (genes, organismos y ecosistemas), además de poseer una enorme diversidad climática. Por ello es necesario conocer que el páramo es un ecosistema alto andino que se extiende a lo largo de la cordillera de Los Andes y que se caracteriza por tener una vegetación dominante de pajonal. Su límite inferior oscila entre los 3.300 y 3.500 m.s.n.m., mientras que el límite superior se extiende hasta antes de las nieves perpetuas.

Es de suma importancia en estos últimos años considerar esta temática ambiental, como un problema a nivel regional debido al constante avance de la frontera agrícola, deforestación y sobrepastoreo en estas áreas de conservación consideradas como zonas de recarga, según la fundación Heifer international, 2016 menciona, que la principal característica de los páramos es almacenar y distribuir el agua que reciben de las precipitaciones y del descongelamiento de la nieve y el hielo de las partes altas. Esta propiedad se debe fundamentalmente a la acumulación de materia orgánica y a la morfología de ciertas plantas del páramo.

La mayoría de los recursos hídricos del Ecuador se derivan de este ecosistema. El problema principal y más preocupante está asociado con el aumento en la temperatura que a su vez se convierte en uno de los problemas más severos que se enfrentan en el presente siglo. Este problema se acentúa por el rápido incremento actual en las emisiones de gases de efecto invernadero "GEI" y por las dificultades de reducir en forma sustantiva el

incremento de los mismos. El verdadero problema del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> se da en el hecho de que los gases se dispersan sobre toda la atmósfera y no se concentran alrededor de sus fuentes, razón por la cual, todo el mundo siente el efecto del calentamiento global (Coronel, 2016).

El propósito primordial por el cual se desarrolló esta investigación fue la de estimar el contenido de carbono orgánico en el ecosistema herbazal de páramo, en tres depósitos naturales: biomasa aérea, necromasa y biomasa subterránea, para lo cual fue necesario realizar salidas de campo y su posterior análisis del contenido de biomasa aérea en laboratorio de servicios ambientales de la UNACH (LSA-UNACH). Además se realizó un inventario florístico con la finalidad de generar información sobre la diversidad biológica y para conocer el estado de conservación de especies, las mismas que son relevantes para su preservación.

En base a lo anterior el presente trabajo se enmarcó dentro de las líneas de investigación del grupo Energías Limpias y Ambiente (ELA) de la Universidad Nacional de Chimborazo, específicamente dentro del proyecto, “Soil Organic Carbon Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Páramo Ecosystems”. Este proyecto tiene dentro de sus objetivos monitorear el carbono almacenado en la biomasa aérea, subterránea y necromasa del ecosistema páramo, en el corredor Andino el cual cubre un área de aproximadamente de 409,78 ha.

## **OBJETIVOS**

### **1. Objetivo General**

Estimar el contenido de carbono en tres depósitos naturales del ecosistema herbazal de páramo en la Microcuenca Cachipata, comunidad Lluçud, cantón Chambo.

### **2. Objetivos Específicos**

1. Determinar el carbono de la biomasa aérea, subterránea y *detritus no vivo* en el ecosistema herbazal de páramo.
2. Realizar un inventario florístico en el estrato herbazal de páramo.

## ESTADO DEL ARTE

Una de muchas alternativas para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera una alternativa biológica, es absorber parte de este gas por la vegetación mediante el proceso de la fotosíntesis, y que además las plantas funcionen como almacén de carbono (C), en forma de biomasa vegetal y que después se convierte parcialmente en materia orgánica (Hernández D, 2009).

De acuerdo con lo que consta en las propuestas de Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Ecuador, así como también, en la Ley de Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad, la definición del ecosistema páramo es la siguiente:

### 1. Ecosistema páramo

El Páramo es un ecosistema tropical alto andino que se extiende desde los Andes septentrionales, entre el actual o potencial límite superior de bosque andino cerrado y la línea de nieve perpetua, caracterizado principalmente por una vegetación dominante no arbórea, con alta irradiación ultravioleta, alta humedad y bajas temperaturas características de estos tipos de hábitats (Haro, 2012).

De ahí que el páramo se extiende desde el límite superior de los bosques andinos (3.000 y 3.500 m.s.n.m.), hasta el límite inferior de las nieves (4.800 y 5.000 m.s.n.m.), toma lugar, en los Andes septentrionales y ecuatoriales.

### 2. Páramo a nivel nacional y provincial

Tabla 1: Tipo de páramo pajonal y superficie total de páramo en el Ecuador.

Definición	ha	%
Tipologías de páramos a nivel nacional.	1.260.217,81	100,00
Páramo de pajonal a nivel nacional.	911.367,03	72,32

*Fuente:* (Hofstede,2014). Los páramos Andinos.

En estos páramos el promedio de la temperatura diaria fluctúa entre los -3°C y +20°C con una precipitación anual que varía desde 500 hasta sobre 3.000 milímetros, presentándose así una débil evaporación. En tal entorno climático y altitudinal, se desarrolla un tipo de vegetación muy particular que presenta un alto grado de endemismo. En primer lugar, resulta que este medio está definido por la presencia de algunas

asociaciones vegetales típicas. Pero dentro del nombre genérico de páramo existe una fuerte diversidad, tanto a nivel botánico como en lo concerniente a las condiciones climáticas y edafológicas.

Tabla 2: Distribución por provincia de los tipos de páramo en el Ecuador.

Provincias	Tipos de páramo	ha
Chimborazo	Páramo de Pajonal	184757
	Páramo Herbáceo de Almohadillas.	3660
	Páramo Seco	1464
	Páramo sobre Arenales	2666
	Superáramo	2148
	Áreas diferentes a páramo.	458012

*Fuente:* (Hofstede,2014). Los páramos Andinos.

Varios estudios mencionan que hace algunos años atrás, los páramos en Ecuador cubrían una superficie de 12.560 km<sup>2</sup>, y representaban un 5% del territorio nacional, asegurando de esa manera el aprovechamiento de agua para la mayor parte de la población de la Sierra ecuatoriana. Esta fuente de agua se debe principalmente a los suelos de los páramos que tienen una capacidad de regulación de los flujos de agua y permiten su aprovechamiento permanente, además de ello los múltiples servicios eco sistémicos como el flujo de carbono en estos hábitats (Haro, 2012).

Tabla 3: Distribución provincial del páramo en el Ecuador, extensiones y representatividad hacia el total nacional de páramos.

PROVINCIA	Extensión total provincia(ha)	Extensión total de páramos (ha)	Distribución (%)
Chimborazo	652,706	194,695	29.83

*Fuente:* (Hofstede,2014). Los páramos Andinos.

### 3. Ciclo del carbono

#### 3.1. Definición y formación

Según Mojica (2013) “el C es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), oxígeno (O) e hidrógeno (H) para constituir las moléculas más importantes para la vida”. Uno de los procesos fundamentales en la función de los ecosistemas es el flujo de C, el cual es integrado por las plantas a través de la fotosíntesis, una parte de este es capitalizada como carbohidrato en la biomasa vegetal o en su estructura ecológica oxidándose a CO<sub>2</sub> a través de la

respiración o persistiendo durante mucho tiempo (esqueletos, madera, humos, hojarasca, petróleo, etc.); este ciclo se puede sintetizar como lo especifica (Catañeda, 2016).

El C que se encuentra en forma de gas en la atmósfera es absorbido por las plantas verdes a través de la fotosíntesis. Mediante este proceso, producen alimento y liberan el oxígeno necesario para la vida. El C pasa a otros seres vivos como alimento en las redes tróficas y retorna a la atmósfera naturalmente, en forma de gas, por medio de la respiración. Cuando la materia orgánica que lo contiene queda sepultada y sin contacto con el oxígeno se forman los depósitos fósiles, donde el (C) se puede convertir en carbón, petróleo o gas natural. Su aprovechamiento para la industria y transporte, principalmente, genera una sobrecarga de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera, lo que acelera los efectos del cambio climático en el planeta (Catañeda, 2016).

Según el Instituto Nacional de Ecología – INE (2004) “el movimiento de C ocurre a diferentes escalas y espacio-temporales, que van desde el nivel molecular, pasando por el organismo hasta el global” (p.13). Según este mismo autor el C al unirse con la molécula de oxígeno constituyen el bióxido de C ( $\text{CO}_2$ ) y este es fundamental para la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas invernadero el cual ha compuesto la atmósfera desde hace millones de años (Catañeda, 2016).

### **3.2. Captación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en las plantas**

A través de los estomas de las plantas superiores se capta el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) el cual es procesado a través de la fotosíntesis y es fijado a través de los carbohidratos que a su vez se incorpora a los tejidos vegetales (hojas, raíces, tejidos leñosos); es conocido como Producción Primaria Bruta (PPB) la cual se ha estimado de forma global en 120 PgC/año (1Pg [Petagramo] =  $10^{15}$  g). De este proceso se libera, a través de la respiración autotrófica ( $R_a$ ) generada por los tejidos vegetales, cierta cantidad de  $\text{CO}_2$  que regresa a la atmósfera y se estima que es la mitad de la PPB (60 PgC/año) al cual se le conoce como Producción Primaria Neta (PPN) (Catañeda, 2016).

El crecimiento anual de las plantas es la diferencia entre el C fijado y el respirado. Se considera que en un periodo determinado de tiempo casi todo el C fijado por PPN es regresado a la atmósfera a través de procesos como respiración heterótrofa ( $R_h$ ), que incluye descomponedores de materia orgánica, y a los herbívoros; además se tiene la

combustión por fuegos naturales o antropogénicos. La biomasa muerta es incorporada al detritus y a la materia orgánica del suelo, convirtiendo este en un gran contenedor de C, que es liberado a la atmósfera a través de la respiración a diferentes velocidades, proceso que depende de sus características químicas. La diferencia entre C fijado por la PPN y las pérdidas por Rh es conocida como producción neta del ecosistema PNE. Todo el conjunto de C determinado por pérdidas a nivel global por acción del fuego, la cosecha o la remoción, el transporte por los ríos hasta el océano y la erosión es conocido como producción neta del bioma PNB (Catañeda, 2016).

### **3.3.Línea de acción control de las concentraciones de (CO<sub>2</sub>)**

La línea de acción para controlar las concentraciones de CO<sub>2</sub> en cierta forma presentes en la atmósfera puede dirigirse a actividades como el control de incendios de selva tropical, páramos, porque con la quema de biomasa actual, y el asociado cambio de uso de la tierra, se emiten mucho C a la atmósfera, enfocándose principalmente en la fijación de la cantidad de C por prácticas forestales y del sotobosque. Cuando una planta crece, asimila CO<sub>2</sub> y lo convierte en biomasa. Si esta biomasa está almacenada en una forma más o menos estable, se retira esta cantidad de C de la atmósfera durante mucho tiempo.

En la línea antes mencionada del efecto del aumento de concentración de CO<sub>2</sub> (reducción de emisión y fijación), el páramo puede jugar un papel importante. Primero, el ecosistema de páramo es un gran reservorio de C para C y al conservarlo se evita más emisiones de este elemento a la atmósfera. Segundo, el páramo incluye grandes áreas abiertas (sin bosques).

El pajonal de páramo tiene máximo 40 toneladas por hectárea de materia seca en su vegetación, o sea, al quemar la vegetación se pierden máximas 20 toneladas de C elemental (Haro, 2012).

En el páramo, los suelos típicamente son muy negros y húmedos. Por el clima frío, la alta humedad y el hecho de que los suelos son formados en cenizas volcánicas recientes, la descomposición de materia orgánica es muy lenta (Haro, 2012).

#### **4. Taxonomía del suelo del territorio hídrico Microcuenca Cachipata**

El suelo de páramo se inicia 10000 años atrás, con la meteorización de roca descubierta al cabo de las últimas glaciaciones (Pleistoceno), cuando la totalidad de la extensión de páramo estuvo cubierta de hielo. En zonas donde hay volcanismo activo, el suelo tiene que formarse con cenizas volcánicas de edad todavía más reciente (Hofstede *et al.*, 2014).

##### **4.1. Inceptisol**

Son suelos minerales e inmaduros de baja evolución, puesto que presentan condiciones similares al del material original y que a su vez es muy resistente. Además, poseen gran abundancia de cenizas volcánicas, que por lo general se encuentran en pendientes muy irregulares y se los cataloga como suelos con falta de madurez edafológica. El subsuelo se caracteriza por tener un horizonte alterado denominado horizonte cámbrico (Morales, 2011).

#### **5. Biomasa en Páramo**

Según García y Yamallel, (2014). La estimación de la biomasa, es muy importante ya que contribuye en el ciclo de nutrientes, flujos de energía, almacenamiento y captura de C; Una tonelada de C equivale a 3,67 toneladas (t) de CO<sub>2</sub> (obtenido en función de los pesos moleculares del C y del CO<sub>2</sub>, de 12 / 44). Para saber la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido o almacenado a partir de la cantidad de C de un determinado depósito, se debe multiplicar ésta por 3,67 t. A su vez, una tonelada de biomasa vegetal posee aproximadamente 0,5 toneladas de C. Resumiendo: (1 t biomasa +/- 0,5 t C 1 t C 3,67 t de CO<sub>2</sub>) (Rügnitz, et al. 2008).

##### **5.1. Biomasa Aérea**

Incluye a toda la biomasa viva que se encuentra visible a la mirada, es decir, por encima del suelo (Albiño & Vargas., 2014).

##### **5.2. Biomasa Subterránea**

Toda la biomasa viva de las raíces vivas. Las raíces pequeñas de menos de 2 mm de diámetro están excluidas porque éstas a menudo no pueden distinguirse, de manera empírica, de la materia orgánica del suelo u hojarasca (Albiño & Vargas., 2014).

### 5.3.Necromasa

Es considera parte de la biomasa de un ecosistema, se dice que es toda la materia muerta incluye restos que yace en la superficie: ya sea en pie, sobre el suelo y dentro del suelo órganos muertos (hojas, ramas e inflorescencias) (Albiño & Vargas, 2014).

## 6. Ciclo de carbono almacenamiento y transferencia entre atmosfera, biosfera y litosfera

El ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono. Lo más importante que debemos entender, es la diferencia entre un stock y un flujo de carbono, el stock de carbono es todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes (Figura 1: las cajas negras), y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock (Figura 1: las flechas).

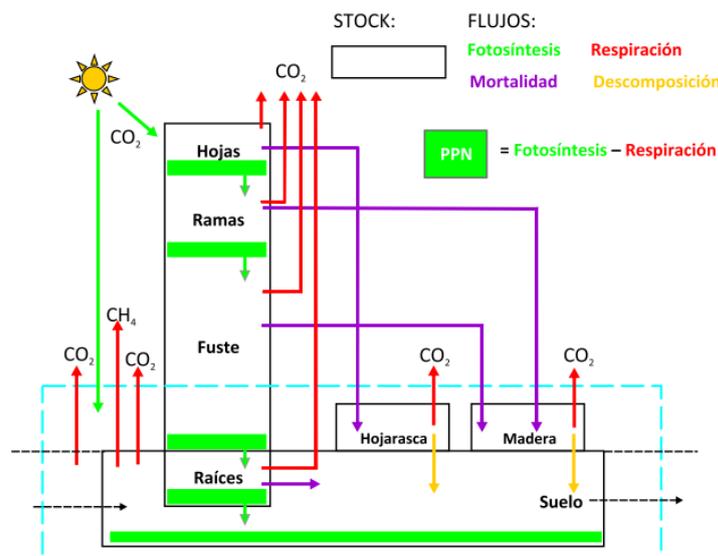


Figura 1: Diagrama de los stocks y flujos de carbono en un bosque tropical que podría estar estacionalmente inundado.

Fuente: Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos

Al tener claro esta diferencia entre un stock y un flujo de carbono, se puede considerar el significado de los términos sumidero y fuente de carbono. Un área determinada de bosque es considerada como un sumidero de carbono, si la cantidad almacenada de carbono

aumenta con el tiempo. Es decir, si el cambio en el stock de carbono es positivo, esto ocurre si los flujos que agregan carbono al stock, como el crecimiento, son más altos que los flujos que disminuyen el stock, como la mortalidad, por un periodo dado (Honorio & Baker, 2010).

Por otro lado, un área es considerada como una fuente de carbono cuando el stock de carbono disminuye con el tiempo. En general, el punto clave, es que los cambios en el stock de carbono ocurren debido al balance entre todos los flujos que entran o salen del componente. Entonces, es importante estudiar los stocks y los flujos de carbono para tener una idea completa del ciclo de carbono de un bosque (Honorio & Baker, 2010)

## **7. Sumidero**

Un sumidero es todo proceso o mecanismo que hace desaparecer de la atmósfera un gas de efecto invernadero. Un reservorio dado puede ser un sumidero de carbono atmosférico si, durante un intervalo de tiempo determinado, es mayor la cantidad de carbono que entra en él que la que sale de él (Albiño & Vargas, 2014).

## **8. Reservorios o depósitos de carbono**

Sistema que tiene la capacidad de acumular o liberar carbono, se considera como ejemplos de depósitos de carbono la biomasa forestal, los productos de la madera, biomasa vegetal, los suelos y la atmósfera (Albiño & Vargas, 2014).

## **9. Estimación indirecta del contenido de carbono en la biomasa**

Para la estimación indirecta por hectárea del contenido de carbono en la biomasa, se tiene estimado que el aproximadamente el 50 % de la biomasa vegetal corresponde al carbono, por lo cual para estimar el carbono almacenado total se multiplica la biomasa total (BT) por el factor 0,5 en ausencia de información específica (Quiceno & Tangarife, 2013).

## **10. Diversidad Florística**

La vegetación en el páramo ha desarrollado características fisiológicas para adaptarse y sobrevivir a las extremas condiciones del clima, topografía y suelos. Algunas de estas características son la formación de rosetas que sirven de defensa contra viento y frío, la enanificación arbustiva, el desarrollo de hojas coriáceas que reducen la pérdida de agua

por transpiración, la formación de cubiertas de pelos en hojas para captar el agua de lluvia o de rocío, la permanencia de hojas muertas sobre los tallos (mantiene la temperatura, atrapa residuos orgánicos, almacena agua), la formación de macollas (trampa de material orgánico y de humedad), y la agrupación de varias plantas pequeñas en cojines entre otros (Bayas, 2015).

### 10.1. Páramo de pajonal

Es el más extenso y responde de manera común a la idea que tenemos del páramo. Son extensiones cubiertas por pajonal de varios géneros como: Calamagrostis, Festuca y Stipa (Figura 2), matizadas por manchas boscosas en sitios protegidos (Polylepis, Buddleja, Oreopanax y Miconia), arbustos de géneros como Valeriana, Chuquiragua, Arcytophyllum, Pernettya y Brachyotum, herbáceas, y pequeñas zonas húmedas (pantanos) en sitios con drenaje insuficiente (Bayas, 2015).



Figura 2: Herbazal de Páramo Fuente: Catálogo virtual de flora de Alta Montaña por UEIA (2017)

## 11. Diversidad de especies y su medición

La biodiversidad es un grado de variación entre los organismos vivos y los complejos ecológicos en los que ocurren. Se encuentra distribuida heterogéneamente entre paisajes, hábitats y regiones, por lo que su cuantificación a escalas distintas permite planear

estrategias para su manejo y conservación. En general sea conocido tres exponentes de la diversidad alfa, que es el número total de especies por sitios; la riqueza regional o diversidad gamma que se refiere al número de especies de una región y finalmente el reemplazamiento espacial o diferenciación de diversidad mejor conocido como diversidad beta, que se refiere a la variación en la composición de especies entre sitios.

Las mediciones de la diversidad frecuentemente aparecen como indicadores del buen funcionamiento del ecosistema. Las medidas de diversidad de especies pueden dividirse en tres categorías:

### **11.1. Índice de riqueza de especies**

Son esencialmente una medida del número de especies en una unidad de muestreo definida.

### **11.2. Modelos de abundancia de especies**

Describe la distribución de su abundancia.

### **11.3. Abundancia proporcional de especies**

Algunos índices como Shannon y Simpson que pretenden resolver la riqueza y la uniformidad en una expresión sencilla (Bayas, 2015).

Los inventarios botánicos se realiza mediante estudios taxonómicos y sistemáticos de cada especie, este inventario permite conocer la diversa existencia de flora para verificar que especies necesitan de mayor atención; resaltar cada una de sus funciones para su conservación y manejo y los diversos índices y valores de importancia (VI) de cada una de sus especies a estudiar.

## **METODOLOGÍA**

### **1. Delimitación del área de estudio**

#### **1.1. Condiciones climáticas**

El área de estudio se encuentra ubicada en la región noroccidental de la provincia de Chimborazo, las condiciones climáticas, tomadas de la estación meteorológica Chambo Finca Guadalupe y Guano UTM (773313,74; 773730,84) a una altitud de 3.000 m.s.n.m.; durante el año 2016 (INAMHI: M0406 y M0408) registraron una temperatura media anual

de 6.5 °C a 15.4 °C, una precipitación media anual entre 444.5 mm a 1088.4 mm y una humedad relativa media anual entre en un rango de 68.9 a 90.9 %. El área de herbazal de páramo en la Microcuenca Cachipata corresponde a 409,78 (ha) (Figura 3).

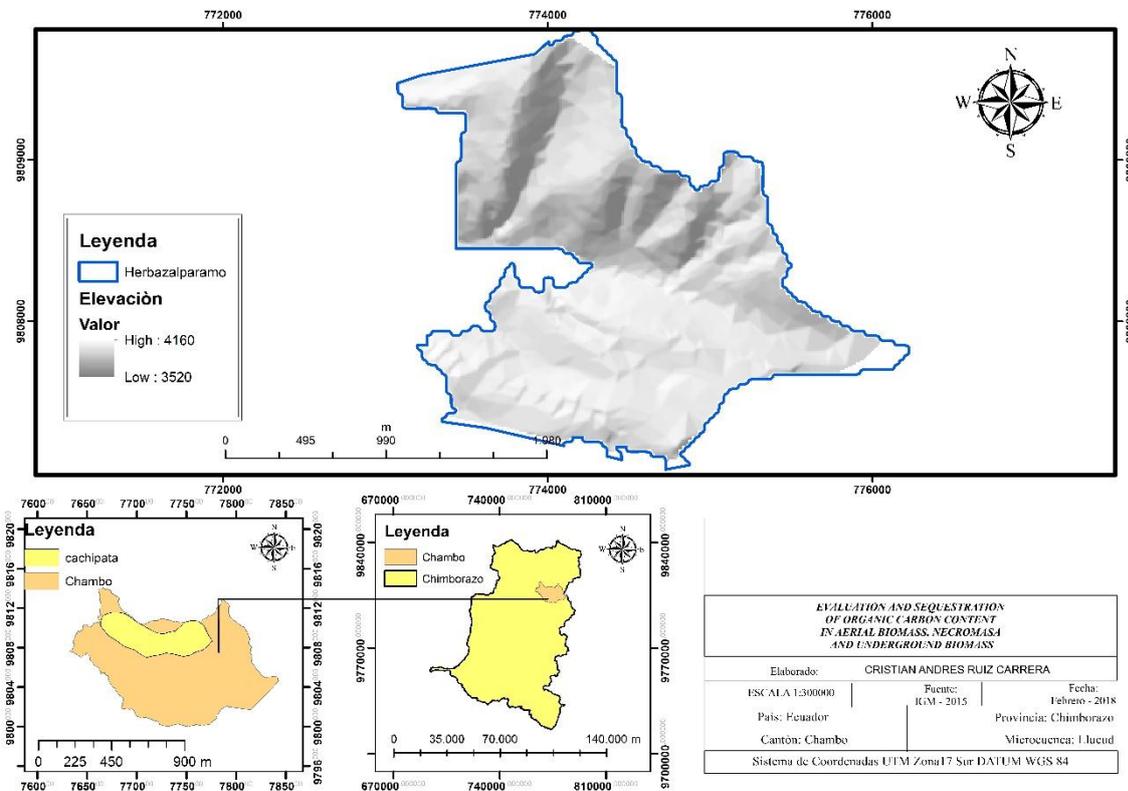


Figura 3: Área de estudio Herbazal de Páramo.  
Elaborado por: El autor.

## 2. Cálculo para número de parcelas requeridas

Debido a la difícil accesibilidad para la toma de muestras en el sitio, se consideró realizar parcelas de 3600 m<sup>2</sup> (60 m x 60 m), es necesario considerar las mismas unidades para el cálculo por tanto su valor es 0.36 (ha).

### 2.1.Puntos de monitoreo

Para la implementación de los puntos de monitoreo, fue indispensable realizar salidas de campo previas; con la finalidad de evaluar cada una de las unidades de muestreo. Los parámetros que se consideraron fueron: topografía, accesibilidad y aspectos biofísicos; los mismos que sirvieron de base para ubicar cada uno de los puntos de monitoreo.

## 2.2. Tamaño de la muestra

Una vez conocida el área total y el tamaño de las parcelas, se calculó el número de parcelas necesarias para el estudio empleando la ecuación para muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas. (Ecuación 1).

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

$$n = 68,65 \cong \mathbf{69}$$

Dónde:

N= Tamaño Población (Rügnitz, et al. 2008).

p = probabilidad de que un evento suceda. (0,95)

q = probabilidad de que el evento no suceda. (0,05)

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1.96 (como más usual).

d= precisión (este valor suele tomar valores de 5% es decir 0,05) (Galmés, 2011).

El muestreo fue de tipo probabilístico, es decir, cada muestra tiene la misma probabilidad de ser seleccionada (Rügnitz, et al. 2008). Como resultado se obtuvo un total de 69 muestras (Figura 4).

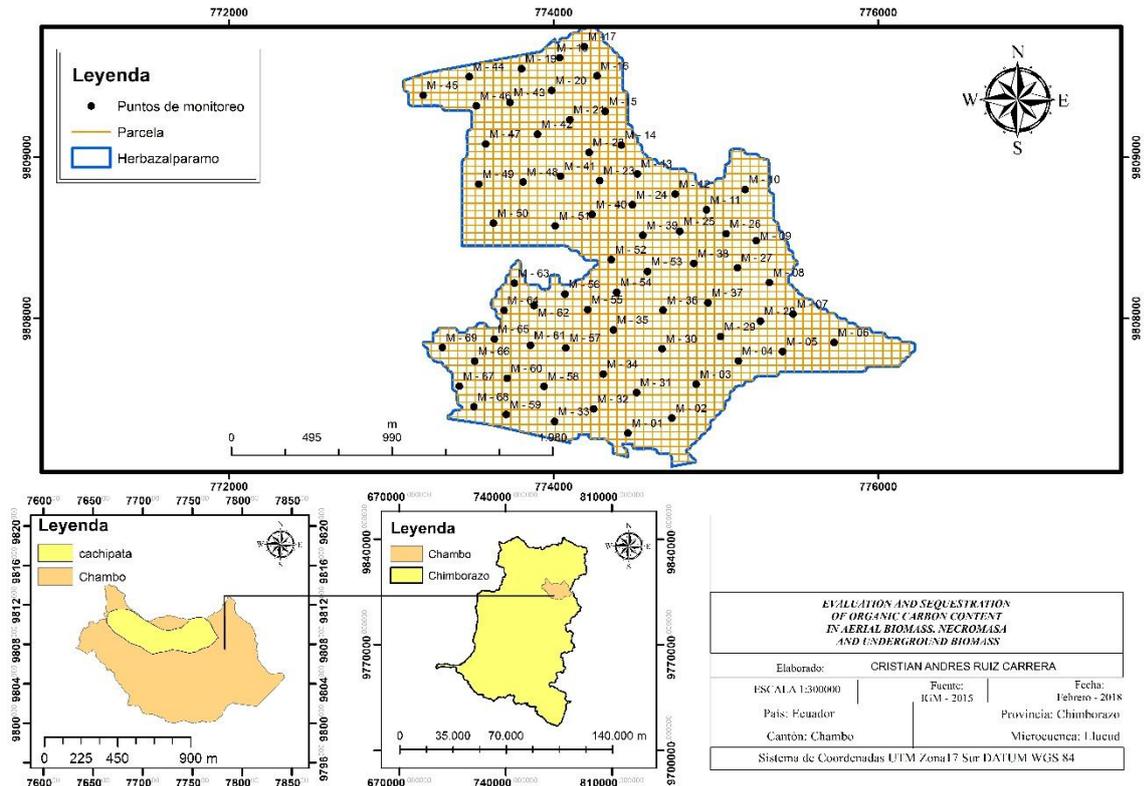


Figura 4: Puntos de monitoreo Herbazal de Páramo  
Elaborado por: El autor

### 3. Metodología para la recolección de muestras in situ de biomasa aérea y necromasa en herbazal de páramo

Para el muestreo de la vegetación herbácea, se utilizó parcelas temporales aleatorias establecidas por medio de un marco cuadrado de  $0,25 \text{ m}^2$  (50 cm x 50 cm). El proceso consistió en lanzar aleatoriamente el marco dentro de la parcela, y cortar al ras del suelo todo el material localizado dentro del marco y pesarlo. De cada muestra fresca se obtuvo una sub-muestra (200 g) que fueron enviadas al laboratorio, secadas en la estufa a  $60^\circ \text{ C}$  durante 24 horas. Con los valores obtenidos se calculó el total de  $\text{kg C m}^{-2}$  de materia seca y posteriormente la cantidad de carbono (Rügnitz, et al., 2008).

#### 3.1.Cálculo de la materia seca (MS) de la muestra, para contenido de carbono en biomasa aérea y necromasa

Paso1. Cálculo de la materia seca de la muestra (MS)

$$MS_{\text{muestra}} = \frac{MF_{\text{sub-muestra}}}{MS_{\text{sub-muestra}}} \times MF_{\text{muestra}} \quad (2)$$

Dónde:

$MS_{\text{muestra}}$  = materia seca de la muestra (kg/0,25 m<sup>2</sup>).

$MF_{\text{sub-muestra}}$  = materia fresca (kg) de la sub-muestra

$MS_{\text{sub-muestra}}$  = materia seca (kg) de la sub-muestra

$MF_{\text{muestra}}$  = materia fresca de la muestra (kg/0,25 m<sup>2</sup>).

Paso 2. Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra de vegetación herbácea.

$$\Delta C_{\text{BN muestra}} = MS_{\text{muestra}} \times CF \quad (3)$$

Dónde:

$\Delta C_{\text{BN muestra}}$ : Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra (kg C/0,25 m<sup>2</sup>).

CF: fracción de carbono (kg C /kg MS) utilizando el valor padrón del IPCC = 0,5 (Quiceno & Tangarife, 2013).

Paso 3. Cálculo de la cantidad de carbono en la biomasa de vegetación herbácea por hectárea.

La cantidad de carbono en la biomasa de la vegetación herbácea por hectárea fue calculada a partir del tamaño del marco (0,25 m<sup>2</sup>), convirtiendo las unidades de la muestra de kg C a t C (dividiendo por 1000).

$$\Delta C_{\text{BN}}(\text{t C/ ha}) = \left(\frac{10000 \text{ m}^2}{0,25 \text{ m}^2}\right) \times \left(\frac{\Delta C_{\text{BN muestras}}}{\text{número de muestras}}\right) \div 1000 \quad (4)$$

Dónde:

$\Delta C_{\text{BN}}$  = Cantidad de carbono en la biomasa de vegetación herbácea (t C/ha);

$\Delta C_{\text{BN muestras}}$  = Sumatoria de la cantidad de carbono de todas las muestras (kg/0,25m<sup>2</sup>).

Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS a t MS

Factor 10000 = Conversión del área a hectárea.

#### **4. Metodología para la recolección de muestras in situ de biomasa subterránea en herbazal de páramo**

No es posible estimar la biomasa de raíces de vegetación no arbórea a partir de los datos de la biomasa sobre el suelo. Por tanto, se realizó mediciones de campo, utilizando el método de muestreo de biomasa de vegetación no arbórea. El procedimiento consistió en utilizar un barreno (con 8 cm de diámetro y 30 cm de altura) para extraer muestras de suelo con raíces. Los rizomas y tubérculos también son considerados parte del depósito de biomasa subterránea.

Como la concentración de raíces de vegetación no arbórea es mayor en la capa superior del suelo, fue necesario medir el depósito de carbono del suelo a tres profundidades (0-10, 10- 20, 20-30 cm), en dónde, ocurrió variaciones perceptibles en el depósito de carbono, se registró la profundidad correspondiente por muestra colectada, las muestras fueron refrigeradas de (4-7 °C) hasta sus análisis. En el laboratorio se tamizaron y lavaron para eliminar suelo y piedras, restando únicamente raíces, posteriormente se secaron en horno a 70 °C durante 24 horas. Posteriormente las raíces fueron pesadas, determinando la biomasa por unidad de superficie.

Se aplicó un factor de corrección de 1,25 a 2,0 a los resultados finales, para contemplar las pérdidas de raíces debido al proceso de muestreo y procesamiento. Con los valores obtenidos se calculó el total de biomasa en kilogramos por metro cuadrado de materia seca en raíces (kg C m<sup>-2</sup> MS), relativa a cada intervalo de profundidad (Rügnitz, et al., 2008).

##### **4.1.Cálculo de stocks de carbono en la biomasa subterránea.**

Paso 1. Calculo de la biomasa

$$AC_{BS} = (B_{BRA} \times CF) + (B_{BRN} \times CF) \quad (5)$$

Dónde:

ΔCBS: Cantidad de carbono en la biomasa subterránea (kg C/m<sup>-2</sup>);

BBRA: Biomasa de raíces de especies arbóreas (kg MS/m<sup>2</sup>);

BBRN: Biomasa de raíces de especies no arbóreas (kg MS/m<sup>2</sup>);

CF: Fracción de carbono (kg C /kg MS). Valor patrón del IPCC = 0,5 (Quiceno & Tangarife, 2013).

## **5. Metodología inventario florístico**

### **5.1.Unidad de Análisis**

El sector se encuentra ubicado en la Microcuenca Cachipata, Comunidad Lluçud, cantón Chambo, posee un área de 409,78 (ha) de herbazal de páramo, en la cual se realizará un inventario florístico tomando en cuenta pisos altitudinales.

### **5.2.Población de estudio**

El área de estudio posee alturas desde los 3520 a 4089 m.s.n.m, determinado mediante el uso de herramientas SIG, para estimar el número de parcelas se estableció un error de muestreo del 10% (López, 2015), para lo cual utilizamos la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 x CV^2}{E \%^2} \quad (6)$$

Dónde:

t= Grados de libertad

CV = Coeficiente de variación

E= Error (13%)

### **5.3.Técnica de recolección de datos**

Para la identificación de las especies se utilizó manuales de identificación florísticas de especies de páramo, llevando un registro fotográfico con las especies que no se puedan identificar in situ, mediante el uso de fichas de identificación se registró el número total de individuos por cuadrantes.

#### 5.4. Implementación de los cuadrantes y recopilación de la información

Se aplicó la metodología de GLORIA (Iniciativa para la investigación y el seguimiento Global de los Ambientes Andinos), en la que recomienda el establecimiento de dos cuadrantes de 5 x 5 m, los mismos que son distribuidos al azar en rangos de altitud de 100 m, cada uno de estos se dividirá en sub cuadrantes de 1 x 1 m, el levantamiento de información se lo realizó en los cuatro cuadrados de las esquinas laterales, cada uno de los sub cuadrantes fue subdividido en cuadrículas de 10 x 10 cm, para lo cual se usó un cuadrado de madera a manera de rejilla con hilo fino distribuido cada 10 cm, para llegar a las coordenadas seleccionadas y poder implantar estas parcelas se utilizó un GPS introduciendo las coordenadas UTM preestablecidas. Una vez en el campo buscamos el sitio y tuvimos así el punto de inicio (P1), a partir de éste, se midió 5 m horizontales con un azimut de 0° (norte franco) ubicando el punto 2 (P2), luego con un azimut de 180° (Este franco) y a 5 m de distancia se colocó el punto 3 (P3), y finalmente a una distancia de 5 m y con un azimut de 180° (sur franco) se instaló el punto 4 (P4) (López, 2015). (Figura 5)

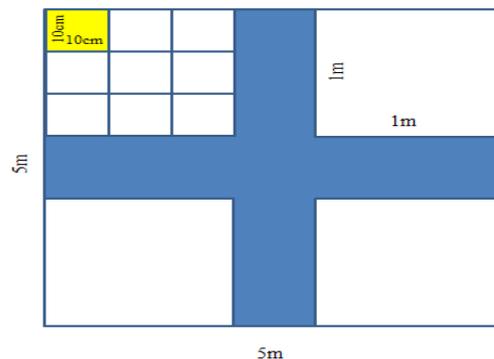


Figura 5: Metodología Gloria.  
Elaborado por: El autor

#### 6. Índice de diversidad (ID)

Los índices de diversidad, son instrumentos matemáticos, representan una expresión de la estructura que resulta de las formas de interacción entre elementos de un sistema, a continuación se describirá los métodos a utilizar en este estudio:

### 6.1. Índice de diversidad de Simpson (IDS):

El Índice de Simpson indica que dos individuos que fueron seleccionados al azar dentro de la muestra pertenecen a la misma especie, el valor de este índice se encuentra entre 0 y 1 (Tabla 4), si solo existe una especie el valor del índice será 1. Si la riqueza y la equitatividad de estas especies van en aumento el valor será 0, ya que mientras mayor sea el índice existirá menor cantidad de diversidad (López, 2015).

Tabla 4: Interpretación de la diversidad

Valores	Interpretación
0,00 – 0,35	Diversidad baja
0,36 – 0,75	Diversidad mediana
0,76 – 1,00	Diversidad alta

Fuente: Smith 2007

Formula:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S ni (ni-1)}{N (N-1)} \quad (7)$$

Dónde:

D = Índice de Simpson

S = número de especies

$ni$  = número de individuos totales presentes,  $i$  respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie  $i$ )

N = número de individuos por especie.

### 7. Índice de Shannon-Weaver (H')

El índice de diversidad de Shannon mide el grado promedio de incertidumbre para conocer a que especie pertenece el individuo escogido al azar, es decir expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, si la diversidad es baja, indica que la especie determinada es alta y si la diversidad es alta nos indica que la especie está tomada al azar (López, 2015).

Formula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (8)$$

Donde:

$H'$  = Índice de Shannon

$S$  = Número de especies (la riqueza de especies)

$p_i$  = Proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie  $i$ )  $\frac{n_i}{N}$

## 8. Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de normalidad para verificar los supuestos del análisis ANOVA agrupando los datos por altitud y profundidad. Se realizó un ANOVA de una sola vía, ( $p < 0,05$ ), para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos se realizó la prueba de medias de Tukey. Para el análisis estadístico se usó el software MINITAB V17 (Minitab, 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para dar cumplimiento a los objetivos se procedió: i) Caracterizar el contenido de carbono en el ecosistema herbazal de páramo en tres depósitos naturales: (Biomasa Aérea, Necromasa y Biomasa Subterránea) localizados en la Microcuenca Cachipata. ii) Caracterizar los rasgos físicos de la superficie utilizando para ello la altitud. iii) Caracterizar un inventario florístico en el estrato herbazal de páramo de la aérea de estudio.

### 1. Rango Altitudinal Microcuenca Cachipata

Para determinar el contenido de carbono orgánico del territorio hídrico Cachipata se establecieron 69 puntos de monitoreo distribuidos aleatoriamente, divididos en 5 clases altitudinales con un rango de variación de alturas de 100 m. (Tabla 5)

Tabla 5: Distribución de zonas por rangos altitudinales Microcuenca Cachipata.

Clases Altitudinales	Rango Altitudinal	Total	Área
----------------------	-------------------	-------	------

	m.s.n.m	ha	%
C1 = Clase Altitudinal 1	(3601 – 3700)	47,15	11,68
C2 = Clase Altitudinal 2	(3701 – 3800)	62, 24	15,41
C3 = Clase Altitudinal 3	(3801 – 3900)	71,99	17,83
C4 = Clase Altitudinal 4	(3901 – 4000)	88,49	21,91
C5 = Clase Altitudinal 5	( > 4000 )	133,93	33,17

C1 (3601 – 3700) m.s.n.m, C2 (3701 – 3800) m.s.n.m, C3 (3801 – 3900) m.s.n.m, C4 (3901 – 4000) m.s.n.m, C5 (> 4000) m.s.n.m.

Elaborado por: El autor

## 2. Cuantificación de carbono en la biomasa

### 2.1. Estratificación de las zonas altitudinales y concentración de carbono en la Biomasa Aérea.

Aproximadamente el 90 % del CO<sub>2</sub> fijado lo encontramos en la biomasa es decir en la materia seca. La vegetación aérea contiene aproximadamente de 5 a 25 kilogramos de carbono por metro cuadrado (Coronel, 2016).

En la (Tabla 6) muestran los resultados encontrados en la zona de estudio, en donde la clase altitudinal C5 reporta la mayor concentración de carbono con un valor medio de 1,64 kg m<sup>-2</sup> y una desviación estándar de 0,25%, en cuanto el valor mínimo de carbono se localiza en la clase altitudinal C1 con una media de 0,27 kg m<sup>-2</sup> y una desviación estándar de 0,12%, la concentración de (CO) en la biomasa aérea es de 26% valores similares reportados en relación a los datos obtenidos en el trabajo de investigación de (Coronel, 2016) que obtuvo un valor de 1.91 kg m<sup>-2</sup> en herbazal de páramo, esto puede deberse a que el área de estudio presenta intervenciones antrópicas en las partes bajas , evidenciando en el componente C5 la mayor concentración de carbono ya que se encuentra a mayor rango altitudinal lo cual queda comparado que las buenas condiciones de preservación de esta clase favorecen al comportamiento de absorción de carbono atmosférico.

Tabla 6: Descripción estadística del contenido de carbono

Clases	N	Media	SD	MaxC	MinC
Kg C m <sup>-2</sup> MS		Kg C m <sup>-2</sup> MS			
C1	9	0,48	0,12	0,68	0,26
C2	12	0,65	0,04	0,71	0,54
C3	15	0,80	0,12	1,12	0,63
C4	11	1,01	0,15	1,20	0,73
C5	18	1,64	0,25	2,02	1,04

C1 (3601 – 3700) m.s.n.m, C2 (3701 – 3800) m.s.n.m, C3 (3801 – 3900) m.s.n.m, C4 (3901 – 4000) m.s.n.m, C5 (> 4000) m.s.n.m, N Número de muestras, SD Desviación Estándar, MaxC Valor Máximo, MinC Valor Mínimo.

## 2.2.Relación concentración de carbono en la Biomasa Aérea

En la (Figura 6), se observa 4 grupos: grupo (a), constituidos por la clase altitudinal C5, que evidencia una diferencia significativa en la concentración de carbono, presentando el mayor valor medio en la C.O con ( $1,64 \text{ kg m}^{-2}$ ), mientras que el grupo (b) está contenido por la clase altitudinal C4 con una concentración media en la C.O de ( $1,01 \text{ kg m}^{-2}$ ), la cual también presenta diferencias significativas al relacionarles con los grupos (a),(c) y (d).

El grupo (c), conformado por las clases altitudinales C3 y C2 no presentan diferencias significativas entre ellas con una concentración media de C.O. de ( $0,81$  y  $0,65 \text{ kg m}^{-2}$ ) respectivamente.

El grupo (d), representado por la clase altitudinal C1, presenta una diferencia significativa entre las demás clases altitudinales mencionadas anteriormente, reportando las concentraciones más bajas de C.O con un valor medio de  $0.48 \text{ kg m}^{-2}$ , los resultados encontrados en la presente zona de estudio, son parecidos a los obtenidos en los páramos de la Reserva Ecológica Yanacocha (REY) con  $0.04 \text{ Kg m}^{-2}$  (Torres, Jumbo, & Cadena, 2016).

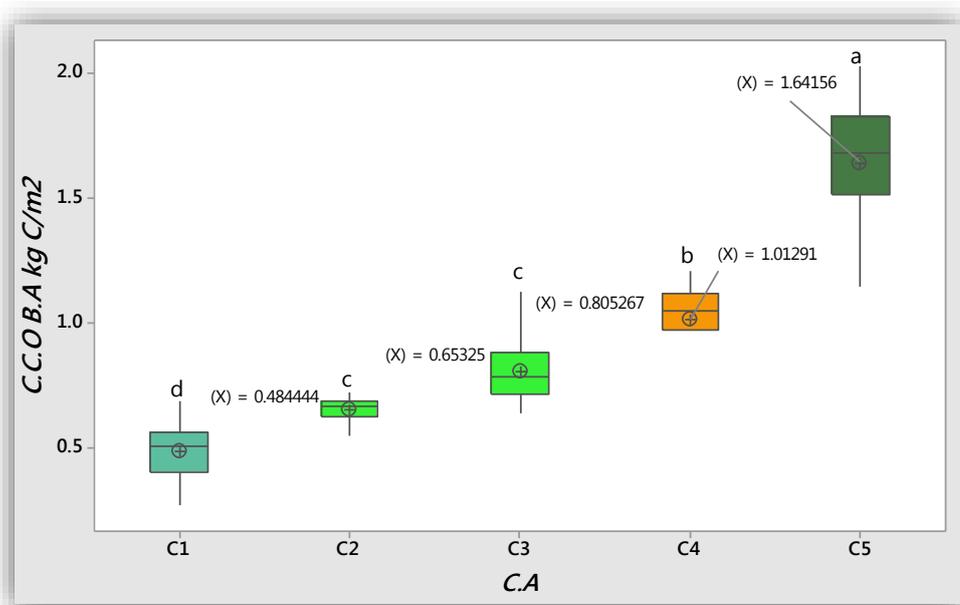


Figura 6: Relación concentración de carbono en la biomasa aérea según la estratificación de las zonas.

C.O.B.A Carbono Orgánico en la Biomasa Aérea, C1 (3601 – 3700) m.s.n.m, C2 (3701 – 3800) m.s.n.m, C3 (3801 – 3900) m.s.n.m, C4 (3901 – 4000) m.s.n.m, C5 (> 4000) m.s.n.m, (X) Media Aritmética.  
Letras (a, b, c, d): indican diferencias significativas mediante el test de Tukey ( $p < 0.05$ )  
Elaborado por: El autor

### 2.3.Variación de la Concentración del contenido de Carbono orgánico en la Biomasa Aérea del herbazal de páramo de la Microcuenca Cachipata.

En la (Figura 7), se observa la variación de carbono orgánico en la biomasa aérea versus la altura existente en la Microcuenca Cachipata en el herbazal de páramo, con un patrón de incremento directamente proporcional a la altura en la distribución del contenido de carbono.

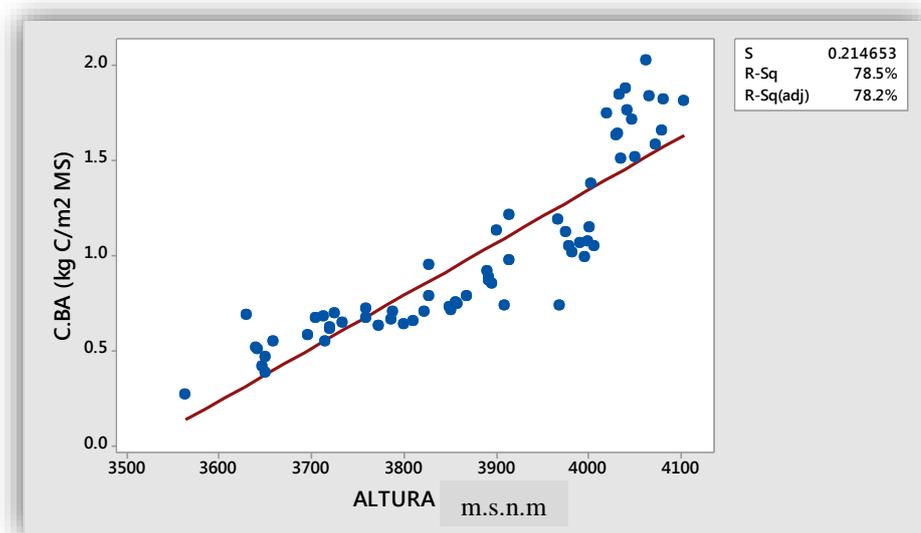


Figura 7: Carbono Orgánico en la Biomasa Aérea Microcuenca Cachipata  
C.BA Concentración de Carbono en Biomasa Aérea, expresadas en kilogramos de carbono sobre metro cuadrado de Materia Seca.

Elaborado por: El autor

En el caso de la biomasa aérea se observa que las concentraciones de carbono más bajas se presentan con valores iniciales de 0,27 hasta 0,95  $\text{kg/m}^2\text{MS}$ , comprendidos entre los pisos altitudinales (3564 y 3828) m.s.n.m, respectivamente, presentes en la Microcuenca Cachipata; siendo las concentraciones más altas desde 1,01 hasta 2,02  $\text{kg/m}^2\text{MS}$ , entre los pisos altitudinales (3996 y 4103) m.s.n.m.

Como se puede evidenciar en la gráfica los datos de cada una de las zonas altitudinales de la biomasa aérea de herbazal de páramo muestra una dinámica referente al C.O. Positiva, ya que favorece en una forma ascendente el comportamiento de absorción de carbono atmosférico, acumulado en forma de carbono orgánico en relación al incremento de los pisos altitudinales.

### 3. Estratificación de las zonas altitudinales y concentración de carbono en la Necromasa.

Según (Torres, 2016) la cantidad de necromasa tiende disminuir en cuanto a una representatividad del 10 % a 29 % debiéndose principalmente a niveles de degradación característicos de cada zona (zonas de degradación o de conservación).

En la (Tabla 7) se puede verificar los resultados encontrados en la zona de estudio, en donde la clase altitudinal C5 reporta el mayor contenido de C.O. con un valor medio de  $0,88 \text{ kg m}^{-2}$  y una desviación estándar de 0,4%, en cuanto el valor mínimo de carbono se localiza en la clase altitudinal C1 con una media de  $0,26 \text{ kg m}^{-2}$  y una desviación estándar de 0,09%, valores similares a los datos obtenidos en el trabajo de investigación de (Torres *et al.*, 2016).

Tabla 7: Descripción estadística del contenido de carbono en la Necromasa.

Clases	N	Media	SD	MaxC	MinC
	Kg/m <sup>2</sup> MS			Kg/m <sup>2</sup> MS	
C1	9	0.26	0.09	0.46	0.15
C2	12	0.29	0.13	0.52	0.12
C3	15	0.41	0.27	1.02	0.11
C4	11	0.87	0.53	1.57	0.17
C5	18	0.88	0.40	1.36	0.20

N Número de muestras C1 (3601 – 3700) m.s.n.m, C2 (3701 – 3800) m.s.n.m, C3 (3801 – 3900) m.s.n.m, C4 (3901 – 4000) m.s.n.m, C5 (> 4000) m.s.n.m, SD Desviación Estándar, MaxC Valor Máximo, MinC Valor Mínimo.

Elaborado por: El autor

#### 3.1.Relación concentración de carbono en la Necromasa.

Como se puede observar en la (Figura 8), existen dos grupos: grupo (a), constituidos por las clases altitudinales C5 y C4, se evidencia que entre ellas no existen diferencias significativas presentando valores medios similares de ( $0,88 \text{ kg m}^{-2}$ ), mientras que el grupo (b) constituido por las clases altitudinales C3, C2 y C1 no presentan diferencias

significativas entre ellas, en las concentraciones de C.O, con un valor medio que fluctúa desde (0,41 a 0,26 kg m<sup>-2</sup>) mostrando concentraciones similares en las partes bajas, valores similares son encontrados en la investigación realizada en la unidad Hidrográfica del río Jatunhuaycu Uhj (Torres *et al.*, 2016).

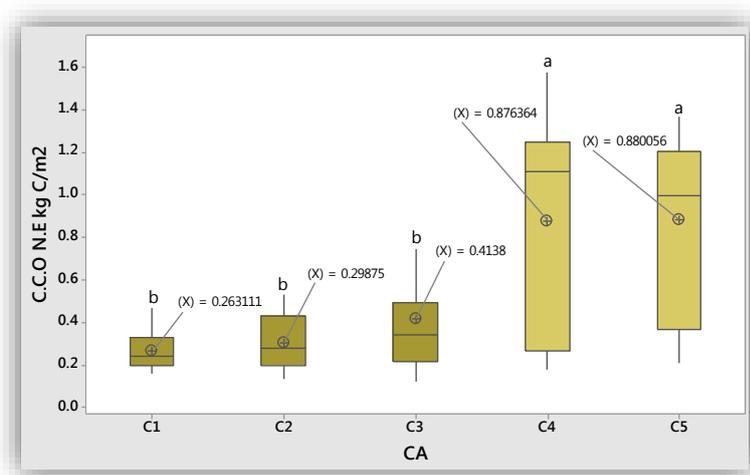


Figura 8: Relación concentración de carbono en la necromasa según la estratificación de las zonas C.C.O N.E Concentración de Carbono Orgánico en la Necromasa, C1 (3601 – 3700) m.s.n.m, C2 (3701 – 3800) m.s.n.m, C3 (3801 – 3900) m.s.n.m, C4 (3901 – 4000) m.s.n.m, C5 (> 4000) m.s.n.m, (X) Media Aritmética.

Letras (a, b): indican diferencias significativas mediante el test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Elaborado por: El autor

### 3.2.Variación de la Concentración del contenido de Carbono orgánico en la Necromasa del herbazal de páramo de la Microcuenca Cachipata.

En la (Figura 9), se observa la variación de carbono orgánico en la necromasa versus la altura existente en la Microcuenca Cachipata en el herbazal de páramo mostrando la distribución del contenido de carbono.

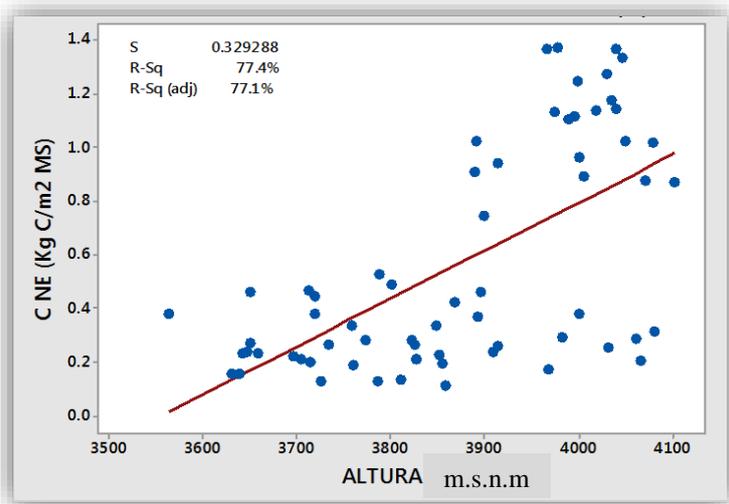


Figura 9: Carbono Orgánico en la Necromasa Microcuenca Cachipata  
 C.NE Concentración de Carbono en Necromasa, expresadas en kilogramos de carbono sobre metro cuadrado de Materia Seca.  
 Elaborado por: El autor

En la necromasa el 66.6 % de las muestras en los diferentes rangos altitudinales poseen un valor que no sobrepasa los  $0.6 \text{ Kg C m}^{-2}$  mostrando concentraciones de carbono bajas en relación a la biomasa aérea y siendo tan solo un pequeño grupo con el 34 % que presenta un valor de una concentración de carbono orgánico similar al de (BA) con un rango de  $0,8$  a  $1,4 \text{ Kg C m}^{-2} \text{ MS}$ , esto puede deberse a ciertas actividades no favorables para la conservación del ecosistema herbazal de páramo en esta Microcuenca, debido a causas antrópicas, deforestación y sobrepastoreo que se evidencian en esta área.

#### 4. Estratificación de las zonas altitudinales y concentración de carbono en la Biomasa Subterránea en las tres profundidades.

El proceso de zonificación por clases de los estratos se procedió a clasificar los puntos de muestreo en relación a los rangos altitudinales con una variación de 100 m en cada piso altitudinal quedándonos de esta manera: (Tabla 8).

Clase 1: comprendida entre los rangos altitudinales de 3601 – 3700 m.s.n.m la biomasa subterránea a la profundidad de 0 a 10 cm reporta una media en la concentración de carbono orgánico de 1, 588 y una SD 0,085; a la profundidad de 10 a 20 cm tiene una media de 1,501 y una SD 0,100; en la profundidad de 20 a 30 cm presenta una media de 1,259 y una SD 0,204  $\text{kg C m}^{-2}$ .

Clase 2: comprendida entre los rangos altitudinales de 3701 – 3800 m.s.n.m la biomasa subterránea a la profundidad de 0 a 10 cm reporta una media en la concentración de carbono orgánico de 1,565y una SD 0,124; a la profundidad de 10 a 20 cm tiene una media de 1,359y una SD 0,261; en la profundidad de 20 a 30 cm presenta una media de 1,158y una SD 0,356 kg C m<sup>-2</sup>.

Clase 3: comprendida entre los rangos altitudinales de 3801 – 3900 m.s.n.m la biomasa subterránea a la profundidad de 0 a 10 cm reporta una media en la concentración de carbono orgánico de 1, 543 y una SD 0,157; a la profundidad de 10 a 20 cm tiene una media de 1,340 y una SD 0,256; en la profundidad de 20 a 30 cm presenta una media de 1,042 y una SD 0,404 kg C m<sup>-2</sup>.

Clase 4: comprendida entre los rangos altitudinales de 3901 – 4000 m.s.n.m la biomasa subterránea a la profundidad de 0 a 10 cm reporta una media en la concentración de carbono orgánico de 1, 547 y una SD 0,178; a la profundidad de 10 a 20 cm tiene una media de 1,378 y una SD 0,310; en la profundidad de 20 a 30 cm presenta una media de 1,130 y una SD 0,406 kg C m<sup>-2</sup>.

Tabla 8: Descripción estadística del contenido de carbono biomasa subterránea a diferentes profundidades.

Clase	Altura m.s.n.m	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm	
		Media	SD	Media	SD	Media	SD
		Kg m <sup>-2</sup>		Kg m <sup>-2</sup>		Kg m <sup>-2</sup>	
C1	3601 - 3700	1,588	0,085	1,501	0,100	1,259	0,204
C2	3701 - 3800	1,565	0,124	1,359	0,261	1,158	0,356
C3	3801 - 3900	1,543	0,157	1,340	0,256	1,042	0,404
C4	3901 - 4000	1,547	0,178	1,378	0,310	1,130	0,406
C5	>4000	1,544	0,164	1,359	0,219	1,077	0,261

C1 (3601 – 3700) m.s.n.m, C2 (3701 – 3800) m.s.n.m, C3 (3801 – 3900) m.s.n.m, C4 (3901 – 4000) m.s.n.m, C5 (> 4000) m.s.n.m, SD Desviación Estándar.

Elaborado por: El autor

#### 4.1.Relación concentración de carbono en la biomasa subterránea.

Como se observa en la (Figura 10) la relación en la concentración del carbono orgánico en la biomasa subterránea en la profundidades de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm y de 20 – 30 cm, en los diferentes pisos altitudinales no presentan diferencias significativas, sin embargo se

puede observar que existe una disminución en la concentración de C.O. en relación a las profundidades muestreadas en biomasa subterránea en cada una de las clases altitudinales.

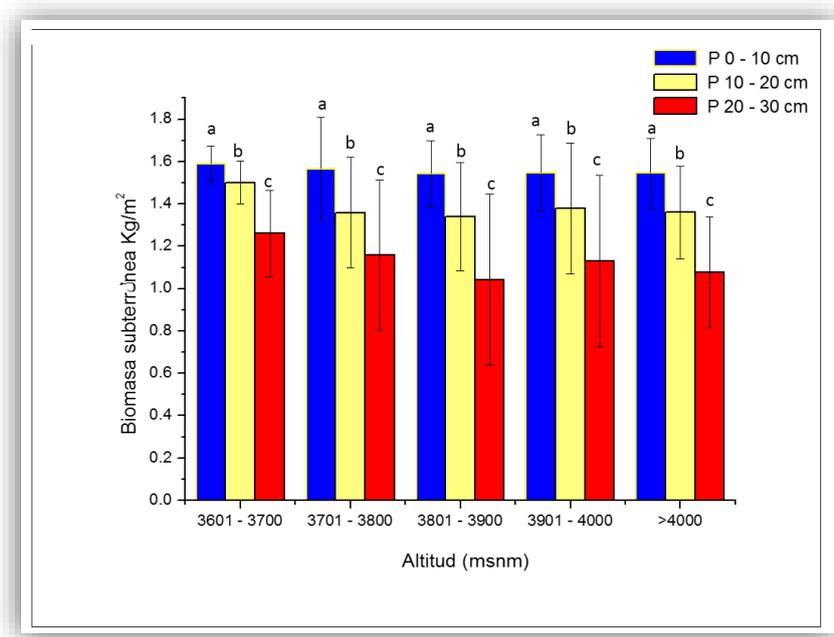


Figura 10: Relación concentración de carbono en raíces según la estratificación de las zonas. P Profundidad de muestreo, Letras (a,b,c): indican diferencias significativas mediante el test de Tukey ( $p < 0.05$ )

Elaborado por: El autor.

## 5. Distribución espacial del contenido de carbono en la Biomasa Aérea.

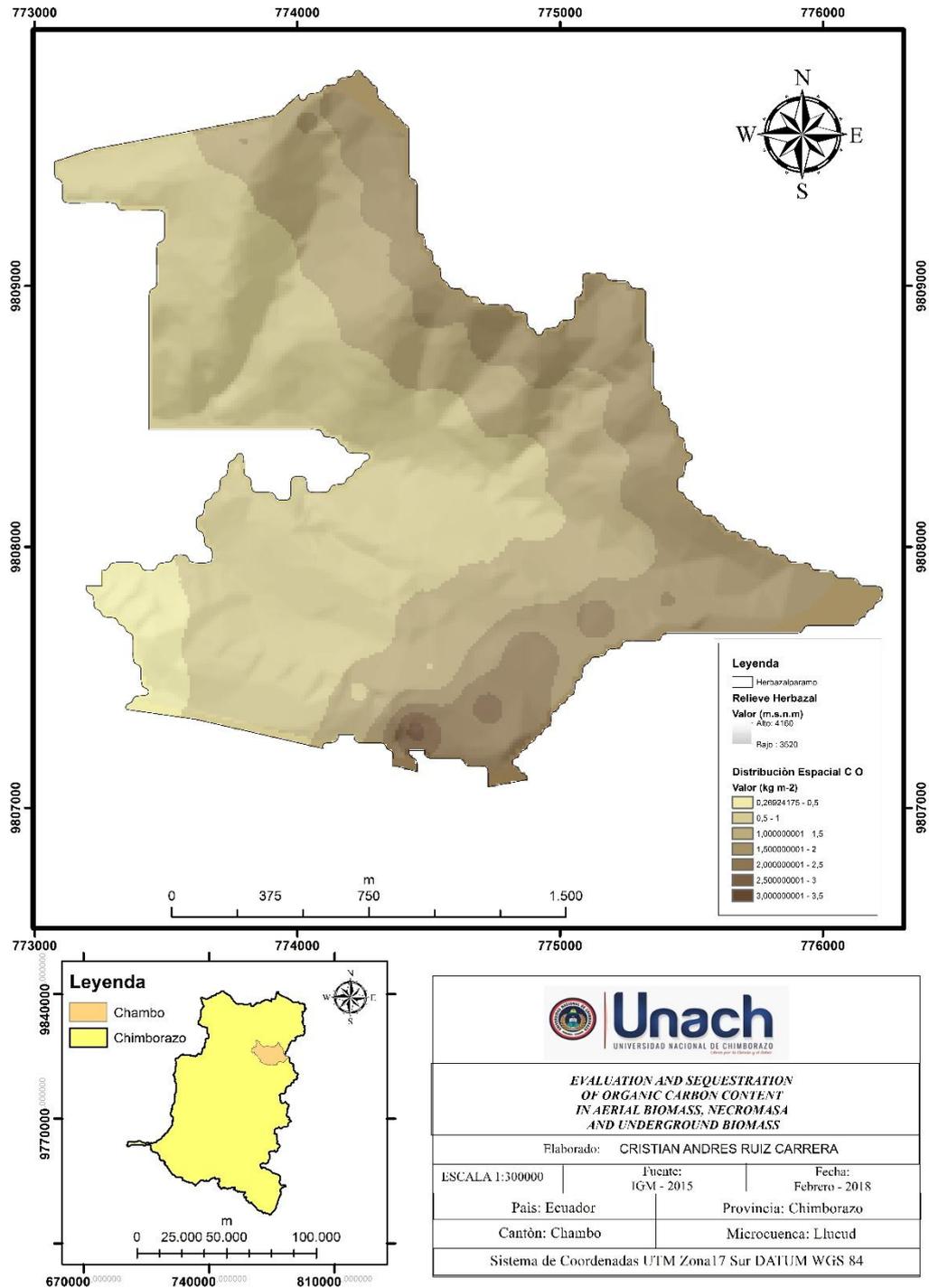


Figura 11: Distribución espacial del contenido de carbono en Biomasa Aérea  
Elaborado por: El autor.

Para inferir la distribución espacial de la concentración de carbono, se utilizó el método K-nn, mediante el uso de imágenes de satélite e información de campo (Cisneros, Moncayo, Veas, Lima, & Carrión, 2014).

La figura 8, muestra la distribución espacial de la C.O. en la Microcuenca Cachipata; donde la biomasa aérea presenta la mayor concentración de carbono orgánico en las partes altas, direccionándose el comportamiento en la absorción de carbono de oeste a este.

## 6. Composición Florística

Las especies más frecuentes en los cinco rangos altitudinales fueron *Werneria nubigena*, *Pernettya prostrata* y *Calamagrostis intermedia* con una frecuencia acumulada del 100 % y un (V.I) similar entre estas especies 11,45; siendo seguidas por *Lachemilla orbiculata* con un (V.I) de 8,71, *Niphogeton dissecta* con un (V.I) de 8,10, *Festuca procera* con un (V.I) de 10,54 y *Valeriana microphylla Kunth* con un (V.I) de 13,90 todas estas especies presentan una con una (F.A) del 80%, el valor total para la (F.A) que representan estas especies es del 81,82% de (THMC) (Tabla 9).

Tabla 9: Dominancia de especies Microcuenca Cachipata.

Familia	Nombre Científico	NI	D. R	F.A (%)	V.I
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i>	14	8,54	80	8,71
Apiaceae	<i>Niphogeton dissecta</i>	12	7,32	80	8,10
Ericaceae	<i>Pernettya prostrata</i>	19	11,59	100	11,35
Asteraceae	<i>Hypochoeris sessiliflora Kunth</i>	9	5,49	80	7,19
Poaceae	<i>Calamagrostis intermedia</i>	21	12,80	100	11,96
Poaceae	<i>Calamagrostis effusa</i>	6	3,66	60	5,16
Poaceae	<i>Festuca procera</i>	20	12,20	80	10,54

NI Número de Individuos; DR Densidad Relativa; FA Frecuencia Acumulada; VI Valor de Importancia.

Elaborado por: El autor

En las 5 clases altitudinales de la Microcuenca Hidrográfica Cachipata se encontraron, 11 especies y 8 familias distribuidas de la siguiente manera: 14 individuos especie *Lachemilla orbiculata*, 12 individuos especie *Niphogeton dissecta*, 19 individuos especie *Pernettya prostrata*, 9 individuos especie *Hypochoeris sessiliflora Kunth*, 21 individuos especie *Calamagrostis intermedia*, 6 individuos especie *Calamagrostis effusa*, 20 individuos especie *Festuca procera*, 9 individuos especie *Valeriana rigida*, 5 individuos

especie *Carex pichinchensis*, 31 individuos especie *Valeriana microphylla Kunth* y 18 individuos especie *Werneria nubigena*. Siendo las familias con mayor número de especies dentro del muestreo las Poaceae; por otro lado las especies con mayor abundancia relativa son: *Valeriana microphylla Kunth* con 18,90 %, *Calamagrostis intermedia* con 12,80 %, *Festuca procera* con 12,20 % y *Pernettya prostrata* con 11,59 %, de las parcelas muestreadas (Figura 12).

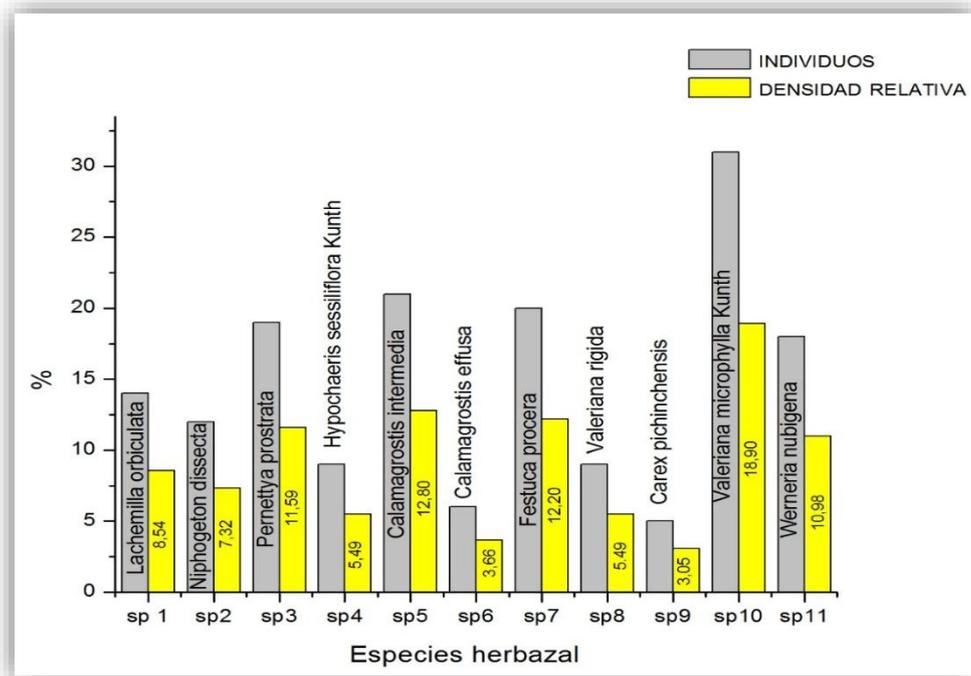


Figura 12: Familias con mayor número de especies

SP 1 Especie 1, SP 2 Especie 2, SP 3 Especie 3, SP 4 Especie 4, SP 5 Especie 5, SP 6 Especie 6, SP 7 Especie 7, SP 8 Especie 8, SP 9 Especie 9, SP 10 Especie 10, SP 11 Especie 11.

Elaborado por: El autor

### 6.1. Índice de Shannon y Simpson

En el análisis de la información también se determinó el índice de Shannon (diversidad Alfa) obteniendo un valor de 0.72 indicándonos que se tiene una biodiversidad media del ecosistema, del mismo modo se calculó el índice de Simpson indicando que el lugar tiene una diversidad 0.86 lo cual quiere decir que el lugar de estudio tiene una diversidad baja de una población. Valores similares ratifican (Bayas, 2015) (Cargua *et al.*, 2017).

Tabla 10: Diversidad florística de las diferentes clases altitudinales.

Índice	C01	C02	C03	C04	C05	Promedio
Shannon	0.89	0.71	0.62	0.67	0.58	0.72
	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Simpson	0.88	0.89	0.84	0.84	0.79	0.86
	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

C1 (3601 – 3700) m.s.n.m, C2 (3701 – 3800) m.s.n.m, C3 (3801 – 3900) m.s.n.m, C4 (3901 – 4000) m.s.n.m, C5 (> 4000) m.s.n.m

Elaborado por: El autor

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1. Conclusiones

1. Existe una relación positiva entre la altitud y la concentración de carbono en la biomasa aérea, direccionándose la distribución de carbono orgánico de oeste a este, esta distribución en el comportamiento de absorción de carbono atmosférico en la biomasa aérea se presenta de forma ascendente.
2. En la distribución espacial de la Necromasa se observa que el comportamiento del gradiente de absorción del carbono orgánico aumenta en dirección de oeste a este.
3. Se registraron tres familias más importantes en los cinco rangos altitudinales, Ericaceae, Poaceae, Asteraceae; mientras que las especies representativas fueron: *Pernettya prostrata*, *Calamagrostis intermedia*, *Festuca procera* y *Werneria nubigena* respectivamente.
4. En promedio el índice de Shannon (diversidad Alfa) mostro un valor medio en función a la abundancia de especies; mientras que el índice de Simpson mostro una alta dominancia de especies en el herbazal de páramo.
5. Con todos los resultados obtenidos, se concluye que el páramo a más de ser un excelente captador de agua, es también un buen receptor de Dióxido de Carbono así como también un buen acumulador de carbono gracias a diversidad de especies que albergan estos ecosistemas naturales.
6. La concentración del contenido de carbono, está ligada directamente a la intervención antrópica, por lo que es necesario establecer políticas de manejo y conservación de estos ecosistemas frágiles.

## **2. Recomendaciones**

1. Difundir los resultados del trabajo de investigación en la academia y los pobladores de estas áreas, para que conozcan los servicios ecosistémicos que genera el herbazal de páramo, con la finalidad de crear conciencia ambiental y una cultura de conservación de ecosistemas frágiles.
2. Mantener una base de datos en la municipalidad con la finalidad de aportar con información para estudios posteriores y así poder entender el comportamiento de estos sistemas naturales y desarrollar buenas prácticas ambientales y conservación de estos ecosistemas enmarcados en los tres factores importantes para un desarrollo político, económico y ambiental.

## BIBLIOGRFÍA

- Albiño, J., & Vargas, B. (2014). Medición de la huella de carbono y obtención de una metodología de cálculo para absorción de carbono en los 11 sumideros del D.M. de Quito. Universidad Politécnica Salesiana.
- Aquino-Ramírez, M., Velázquez-Martínez, A., Castellanos-Bolaños, J. F., De Los Santos-Posadas, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2015). Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia*, 49(3), 299-314.
- Bayas, D. G. (2015). Diversidad Florística a Diferentes Altitud En El Ecosistema Páramo Del Cantón Tisaleo Provincia De Tunguragua. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from [http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3953/1/33T0142 .pdf](http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3953/1/33T0142.pdf).
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Damián, D. A., Santillán, P. G., & Recalde, C. G. (2017). Forest biodiversity in Andean brow and its relation to the carbon content in the above-ground biomass. *Acta Agronomica*, 66(1), 35-41. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/acag.v66n1.52744> Forest.
- Catañeda, A. E. (2016). Carbono almacenado en biomasa aérea y suelo en el ecosistema de páramo. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Retrieved from <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/12563/1/79004954.pdf>.
- Cisneros César, Moncayo, P., Veas, N., Lima, P., & Carrión, J. (2014). Protocolo para el procesamiento del mapa de densidades de carbono para estratos boscosos del Ecuador continental con imágenes modis y landsat.
- Coronel, A. (2016). Determinación de carbono en el suelo y biomasa del páramo de la comunidad Chocaví de la parroquia San Isidro. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from file:///C:/Users/WORKSIG/Downloads/236T0177 documento para realizar las comparaciones d carbono a mayor altura menos cantidad de carbono.pdf.
- Galmés, M. (2011). Taller Regional sobre el uso de Muestreo en las Encuestas Agrícolas. Métodos de Muestreo. Montevideo.
- García, M. C., & Brown, S. (2016). Caracterización de la Acumulación de Carbono en pequeños humedales Andinos en la Cuenca Alta Del Río Barbas (Quindío, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 117135. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57833>
- Haro, F. (2012). Determinación de carbono orgánico en la biomasa y suelo del páramo de la comunidad de Pichán Central-San Isidro, 190.
- Hernández D, et all. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de Abies religiosa. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 233-238.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., & Ulloa, J., & Cerra, M. (2014). Los páramos Andinos ¿Qué Sabemos? Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- Honorio, E., & Baker, T. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo de carbono en bosques amazónicos. Lima: Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. <https://doi.org/4267147>
- López, I. J. H. (2015). Inventario Florístico de los Extractos Pajonal, Bofedal y Almohadillas en los Suelos del Páramo de la Comunidad de Guangopud, Parroquia Juan de Velasco Cantón Colta. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado a partir de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/4064/1/236T0126 UDCTFC.pdf>

- MAE. (2012). Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental Quito.
- MAE, CENACE, & CONELEC. (2012). Factor de emisión del sistema nacional interconectado al año 2012. Ecuador.
- Maycotte Morales, C. C. (2011). Edafología 1 (Primera Ed).
- Minitab. (2016). Getting Started with Minitab 17. Minitab Inc.
- Quiceno, N. J., & Tangarife, G. (2013). Estimación del Contenido de Biomasa, Fijación de carbono y Servicios Ambientales, en un Area de Bosque Primario en el Resguardo Indígena de Piapoco Chigurochatare de Barrancominas, Departamento del Guainia. Universidad de Manizales. Recuperado a partir de [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1639/1/402\\_Quiceno\\_Urbina\\_Nubia\\_Janeth\\_2013.pdf](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1639/1/402_Quiceno_Urbina_Nubia_Janeth_2013.pdf).
- Ramirez, M. E. (2013). Diversidad Florística a Diferente Altitud en el ecosistema paramo en siete comunidades de OSG UNOCANT. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/2790/1/33T0112.pdf>.
- Rodríguez, M. (2011). Estudio de la diversidad florística a diferentes altitudes en el paramo de almohadillas de la comunidad yatzaputzán, cantón ambato. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://doi.org/236>
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2008). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Consorcio Iniciativa Amazónica (IA) y Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). <https://doi.org/ISBN:978-92-9059-254-9>
- Torres, S., Jumbo, Y., & Cadena, D. (2016). Línea Base de la Cuantificación de Carbono en los Componentes Aéreo y Subterráneo del nivel de estudio en la Unidad Hidrográfica del Río Jatunhuaycu UHJ. *Fonag, 1*, 45. Retrieved from [file:///C:/Users/worksig/downloads/línea base de la cuantificación de carbono jatunhuaycu.pdf](file:///C:/Users/worksig/downloads/línea%20base%20de%20la%20cuantificación%20de%20carbono%20jatunhuaycu.pdf)
- Valtierra, J. M. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). *Conciencia Tecnológica*, (39), 50-53.
- Yepes et al. (2011). Estimación De Las Reservas Y Pérdidas De Carbono Por Deforestación En Los Bosques Del Departamento De Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 33(95), 16.

## ANEXOS

Anexo 1. Recolección y codificación de las muestras en herbazal de páramo Biomasa Aérea por el método de parcelas temporales (corte ras de suelo); Recolección y codificación de las muestras en necromasa (in situ).

### B. Aérea.



### Necromasa



Elaborado por: El autor

Anexo 2. Determinación y registro del peso de Biomasa Aérea y Necromasa en el laboratorio para el análisis del contenido de carbono.

B. Aérea.



Necromasa.



Elaborado por: El autor

Anexo 3. Recolección y codificación de las muestras en herbazal de páramo Biomasa Subterránea (raíces y raicillas) a tres profundidades de (0 a 10; 10 a 20; 20 a 30) cm por el método de barrenación.



Elaborado por: El auto

Anexo 4. Determinación y registro del peso de Biomasa Subterránea (raíces y raicillas) a tres profundidades de (0 a 10; 10 a 20; 20 a 30) cm.



Elaborado por: El autor

Anexo 5. Secado de las muestras de Biomasa Aérea, Necromasa y Biomasa Subterránea respectivamente, en la estufa a 60 °C por 24 horas en el laboratorio de servicios ambientales (LSA-UNACH).



Elaborado por: El autor

Anexo 6. Inventario Florístico Herbazal de Páramo Microcuenca Cachipata.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	IMAGEN
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Hierba del infante	
Apiaceae	<i>Niphogeton dissecta</i>	Culantrillo de páramo	
Ericaceae	<i>Pernettya prostrata</i>	Borrachera, nigua	
Asteraceae	<i>Hypochaeris sessiliflora Kunth</i>	Achicoria flor amarilla	

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	IMAGEN
Poaceae	<i>Calamagrostis intermedia</i>	pajonal	
Poaceae	<i>Festuca procera</i>	Paja de páramo	
Poaceae	Calamagrostis effusa	Espartillo	
Caprifoliaceae	Valeriana rigida	Jarilla, chipaca grande o chinviajo	

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	IMAGEN
Cyperaceae	<i>Carex pichinchensis</i>	Cortadera	
Valerianaceae	<i>Valeriana microphylla</i> <i>Kunth</i>	Valeriana	
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	s/n	

Anexo 7. Registro especies en los pisos altitudinales para el Inventario Florístico Herbazal de Páramo Microcuenca Cachipata cantón.

Parcela 01

Coordenadas	
Norte (m)	773523, 87
Este (m)	9807739, 984
Altitud (msnm)	3651
Area (m2)	471500

Nombre Científico	Nombre Común	Cantidad	Observación
<i>Lachemilla orbiculata</i>	Hierba del infante	3	
<i>Niphogeton dissecta</i>	Culantrillo de páramo	2	
<i>Pernettya prostrata</i>	Borrachera	5	
<i>Hypochaeris sessiliflora</i> Kunth	Achicoria flor amarilla	2	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	pajonal	4	
<i>Calamagrostis effusa</i>	s/n	1	
<i>Festuca procera</i>	Paja de páramo	4	
<i>Valeriana rígida</i>	Jarilla	2	
<i>Carex pichinchensis</i>	Cortadera	0	
<i>Valeriana microphylla</i> Kunth	Valeriana	5	
<i>Werneria nubigena</i>	s/n	4	

Parcela 02

Coordenadas	
Norte (m)	774578, 475
Este (m)	9808292, 003
Altitud (msnm)	3760
Area (m2)	622400

Nombre Científico	Nombre Común	Cantidad	Observación
<i>Lachemilla orbiculata</i>	Hierba del infante	4	
<i>Niphogeton dissecta</i>	Culantrillo de páramo	4	
<i>Pernettya prostrata</i>	Borrachera	6	
<i>Hypochaeris sessiliflora</i> Kunth	Achicoria flor amarilla	1	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	pajonal	5	

<i>Calamagrostis effusa</i>	s/n	3	
<i>Festuca procera</i>	Paja de páramo	3	
<i>Valeriana rígida</i>	Jarilla	2	
<i>Carex pichinchensis</i>	Cortadera	2	
<i>Valeriana microphylla Kunth</i>	Valeriana	7	
<i>Werneria nubigena</i>	s/n	1	

Parcela 03

Coordenadas	
Norte (m)	774046, 053
Este (m)	980885, 858
Altitud (msnm)	3860
Area (m2)	719900

Nombre Científico	Nombre Común	Cantidad	Observación
<i>Lachemilla orbiculata</i>	Hierba del infante	0	
<i>Niphogeton dissecta</i>	Culantrillo de páramo	4	
<i>Pernettya prostrata</i>	Borrachera	1	
<i>Hypochaeris sessiliflora Kunth</i>	Achicoria flor amarilla	4	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	pajonal	4	
<i>Calamagrostis effusa</i>	s/n	2	
<i>Festuca procera</i>	Paja de páramo	4	
<i>Valeriana rígida</i>	Jarilla	0	
<i>Carex pichinchensis</i>	Cortadera	0	
<i>Valeriana microphylla Kunth</i>	Valeriana	0	
<i>Werneria nubigena</i>	s/n	3	

Parcela 04

Coordenadas	
Norte (m)	775269, 600
Este (m)	9807984, 836
Altitud (msnm)	3980
Area (m2)	884900

Nombre Científico	Nombre Común	Cantidad	Observación
<i>Lachemilla orbiculata</i>	Hierba del infante	5	

<i>Niphogeton dissecta</i>	Culantrillo de páramo	2	
<i>Pernettya prostrata</i>	Borrachera	5	
<i>Hypochaeris sessiliflora</i> <i>Kunth</i>	Achicoria flor amarilla	2	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	pajonal	2	
<i>Calamagrostis effusa</i>	s/n	0	
<i>Festuca procera</i>	Paja de páramo	0	
<i>Valeriana rígida</i>	Jarilla	3	
<i>Carex pichinchensis</i>	Cortadera	2	
<i>Valeriana microphylla</i> <i>Kunth</i>	Valeriana	10	
<i>Werneria nubigena</i>	s/n	9	

Parcela 05

Coordenadas	
Norte (m)	774414, 653
Este (m)	9809075, 278
Altitud (msnm)	4080
Area (m2)	1339300

Nombre Científico	Nombre Común	Cantidad	Observación
<i>Lachemilla orbiculata</i>	Hierba del infante	2	
<i>Niphogeton dissecta</i>	Culantrillo de páramo	0	
<i>Pernettya prostrata</i>	Borrachera	2	
<i>Hypochaeris sessiliflora</i> <i>Kunth</i>	Achicoria flor amarilla	0	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	pajonal	6	
<i>Calamagrostis effusa</i>	s/n	0	
<i>Festuca procera</i>	Paja de páramo	9	
<i>Valeriana rígida</i>	Jarilla	2	
<i>Carex pichinchensis</i>	Cortadera	1	
<i>Valeriana microphylla</i> <i>Kunth</i>	Valeriana	9	
<i>Werneria nubigena</i>	s/n	1	