



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DEL MEDIO AMBIENTE**

ESTIMACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE CARBONO DEL ECOSISTEMA PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS-ECUADOR

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO
EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL
MEDIO AMBIENTE

AUTORES:

Gabriela Ivanova Moreno Romero

Juan Darío Quinde Montaña

DIRECTOR:

Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

Loja-Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la tesis titulada **“ESTIMACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE CARBONO DEL ECOSISTEMA PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS – ECUADOR”**, de autoría de los señores egresados de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Gabriela Ivanova Moreno Romero** con CI. 1104630957 y **Juan Darío Quinde Montaña** con CI: 1105027567, certifico que la investigación se ha realizado dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo se continúe con el trámite de graduación.

Loja, 28 de Abril de 2017

Atentamente,



Ing. Pablo Alvarez F. Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN

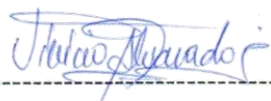
En calidad de tribunal Calificador de la tesis titulada “**ESTIMACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE CARBONO DEL ECOSISTEMA PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS-ECUADOR**”, de autoría de los señores egresados de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Gabriela Ivanova Moreno Romero** y **Juan Darío Quinde Montaña**, certificamos que se han incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos a los señores egresados su publicación y difusión de la tesis.

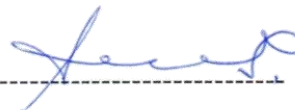
Loja, 19 de Junio de 2017

Atentamente,

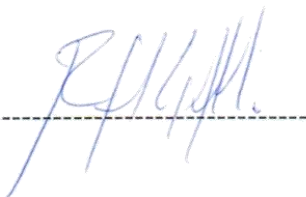
Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Aurita Gonzaga, Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



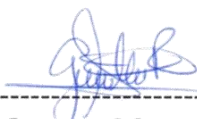
Ing. Santiago Garcia, Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



AUTORÍA

Nosotros, Gabriela Ivanova Moreno Romero y Juan Darío Quinde Montaña, declaramos ser autores de la presente tesis titulada **“ESTIMACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE CARBONO DEL ECOSISTEMA PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS-ECUADOR”**, y eximimos expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente aceptamos y autorizamos a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de la tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Gabriela Ivanova Moreno Romero
C.I. 1104630957



Juan Darío Quinde Montaña
C.I. 1105027567

Loja, 19 de junio de 2017

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA
LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Nosotros, Gabriela Ivanova Moreno Romero y Juan Darío Quinde Montaña, declaramos ser autores de la tesis titulada “ESTIMACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE CARBONO DEL ECOSISTEMA PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS-ECUADOR”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizamos al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en la redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecinueve días del mes de junio de dos mil diecisiete, firma los autores.

Firma:

Autores:

Número de Cédula

Dirección:

Correo Electrónico:

Teléfono:



Gabriela Ivanova Moreno Romero

1104630957

Loja, San Sebastián

morenogaby.ma@gmail.com

0995638145



Juan Darío Quinde Montaña

1105027567

Loja, La Banda

judar_594@hotmail.com

0994559079

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.

Ing. Aurita Gonzaga, Mg. Sc.

Ing. Santiago García, Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a todos quienes de alguna manera contribuyeron en la realización de la presente investigación:

Al Ing. Pablo Alvarez Figueroa Mg. Sc., por su gran apoyo y sugerencias en cada parte del proceso del desarrollo de la presente tesis.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a través de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, donde obtuvimos todos los conocimientos que han contribuido a nuestra formación profesional.

Al Ing. Omar Ojeda Director del Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja, por permitirnos usar las instalaciones y equipos necesarios.

Al Centro Integrado de Geomática Ambiental CINFA y al Centro de Estudios Zoológicos LOUNAZ, por el apoyo técnico brindado.

Al Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad CITIAB, por el apoyo técnico brindado, en especial al Ing. Juan Maita.

A la familia Hofmann propietarios del Bosque Protector "El Bosque", por los consejos y ayuda brindada, y por permitirnos usar sus instalaciones para la realización de la fase de campo para este trabajo.

Finalmente, expresamos un infinito y profundo agradecimiento a nuestros amigos y pasantes, que en el desarrollo de la fase de campo y de laboratorio, fueron de gran apoyo: Fernando Martínez, Carlos Sarango, Carlos Jiménez, Álvaro Loaiza, Mariuxi Pineda, Daniela Romero, Vivian Santos, María Fernanda Yucta, Christian Cueva, Christian Abad, Jonathan Roa, Jorge Márquez, Damián Ontaneda, Natalia Angamarca, Alex Armijos, Jhon Armijos, Eduardo Gutierrez, Alex Ramos y Xavier Landin.

DEDICATORIA

A mis padres Cesar Moreno y Nancy Romero, por ser el pilar fundamental y apoyo constante en cada paso que doy, quienes con sus enseñanzas y consejos me han ayudado forjarme como persona. A mis hermanos Pablo y Luis por su apoyo, paciencia para poder culminar este trabajo.

Gabriela Moreno Romero.

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban en el transcurso de mi investigación , enseñándome a encarar las desdichas sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento de lograr mis metas.

Para mis padres por su apoyo, lecciones, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado y para ellos es nada, todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Juan Darío Quinde.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Características de los ecosistemas de Páramo.....	4
2.2. Suelos de los Páramos.....	6
2.3. Dinámica del carbono en el Ecosistema.....	8
2.4. Flora característica de los páramos.....	8
2.5. El ecosistema de páramo como mitigador del Cambio Climático.....	10
3. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Área de estudio.....	12
3.2. Validación y digitalización del mapa de comunidades vegetales del PNP.....	15
3.3. Cuantificación de los contenidos de carbono sobre suelo en biomasa y necromasa en el páramo del PNP.....	15
3.4. Determinación del contenido de carbono en el suelo de los páramos del PNP... 16	
3.5. Interpolación de datos de contenido de carbono en biomasa necromasa y suelo 18	
3.6. Análisis estadísticos de los datos obtenidos.....	19
4. RESULTADOS.....	22
4.1. Cuantificar los contenidos de carbono total (sobre suelo, necromasa y suelo) del páramo del PNP.....	22
4.1.1. Análisis general del contenido de carbono total.....	22

4.1.2. Análisis del contenido de carbono por comunidades vegetales	24
4.1.3. Análisis del contenido de carbono por tipo de páramo.	33
4.2. Conocer la distribución espacial de los contenidos de carbono total del páramo del PNP.	36
5. DISCUSIÓN.....	43
5.1. Cuantificar los contenidos de carbono total (sobre suelo, necromasa y suelo) del páramo del PNP.	43
5.2. Conocer la distribución espacial de los contenidos de carbono total del páramo del PNP.	46
6. CONCLUSIONES.....	49
7. RECOMENDACIONES	50
8. BIBLIOGRAFÍA.....	51
9. ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pag.
Tabla 1. Contenido de carbono medio y total ($t\ ha^{-1}$) por compartimentos	22
Tabla 2. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$).....	22
Tabla 3. Contenido de carbono total por tipo de páramo.....	24
Tabla 4. Contenido de carbono en el compartimento de Biomasa ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal.....	24
Tabla 5. Contenido de carbono en el compartimento de Necromasa ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal	25
Tabla 6. Contenido de carbono en el compartimento Suelo ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal.....	25
Tabla 7. Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal	26
Tabla 8. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el compartimento de Biomasa ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal	29
Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el compartimento de Necromasa ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal	29
Tabla 10. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el compartimento de Suelo ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal.....	30
Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal	30
Tabla 12. Contenido de carbono ($t\ ha^{-1}$) por compartimentos y tipo de páramo	33
Tabla 13. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono ($t\ ha^{-1}$) por páramo herbáceo.....	34
Tabla 14. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono ($t\ ha^{-1}$) por páramo arbustivo	35

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Pag.
Cuadro 1. Comunidades vegetales del ecosistema páramo del PNP	12
Cuadro 2. Fórmulas para determinar contenido de carbono en biomasa y necromasa.	16
Cuadro 3. Grado de correlación del test de Mantel	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pag.
Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio dentro del PNP	14
Figura 2. Niveles de significancia obtenidos en la prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono total.....	23
Figura 3: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo.	23
Figura 4. Box Plot del contenido de Carbono en todos los compartimentos por comunidades vegetales. a) Biomasa, b) Necromasa, c) Suelo y d) Carbono Total.	28
Figura 5a: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo en la C1, C2, C2.3 y C3.	31
Figura 5b: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo en la C3.4, C4, C5 y C6.	32
Figura 6. Box Plot del contenido de Carbono en todos los compartimentos por tipo de páramo. a) Biomasa, b) Necromasa, c) Suelo y d) Carbono Total	34
Figura 7: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo por tipo de páramo	35
Figura 8: Distribución espacial del contenido de carbono en el compartimento de Biomasa del ecosistema páramo del PNP.....	37
Figura 9: Distribución espacial del contenido de carbono en el compartimento de Necromasa del ecosistema páramo del PNP.....	38
Figura 10: Distribución espacial del contenido de carbono en el compartimento de Suelo del ecosistema páramo del PNP.....	39
Figura 11: Distribución espacial del contenido de carbono total del ecosistema páramo del PNP.	40
Figura 12: Grado de correlación entre el %C y variables ambientales y físicas del suelo del ecosistema páramo. a) Correlación de Spearman simple vs. Correlación de Spearman con modelos nulos.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Pag.
Anexo 1. Comunidades vegetales presentes en el ecosistema páramo del PNP.....	64
Anexo 2. Intervención humana en la Comunidad 5.....	67
Anexo 3. Digitalización del mapa de comunidades vegetales del PNP.....	68
Anexo 4. Determinación de los contenidos de carbono en biomasa y necromasa del páramo PNP.	69
Anexo 5. Determinación de los contenidos de carbono en el suelo páramo PNP.	70
Anexo 6. Coordenadas de las parcelas muestreadas.....	72
Anexo 7. Contenido de carbono en el compartimento de Biomasa (t ha ⁻¹).....	75
Anexo 8. Contenido de carbono en el compartimento de Necromasa (t ha ⁻¹).....	79
Anexo 9. Contenido de carbono en el compartimento de Suelo (t ha ⁻¹).....	83
Anexo 10. Contenido de carbono total (t ha ⁻¹).....	87
Anexo 11. Contenido de humedad en el suelo (%).....	90
Anexo 12. Equipo de trabajo de campo.....	93

LISTA DE ACRÓNIMOS

%C:	Porcentaje de carbono
C:	Carbono
C1:	Comunidad I. Páramo herbáceo de bambúes
C2:	Comunidad II. Páramo arbustivo del norte del PNP
C2.3:	Comunidad II/III. Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP
C3:	Comunidad III. Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP
C3.4:	Comunidad III/IV. Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP
C4:	Comunidad IV. Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP
C5:	Comunidad V. Páramo herbáceo con <i>Chusquea nana</i>
C6:	Comunidad VI. Páramo arbustivo de Sabanilla
CO₂:	Dióxido de carbono
CV:	Comunidades Vegetales
G t:	Gigatoneladas
ppm:	Partes por millón
PNP:	Parque Nacional Podocarpus
t C ha⁻¹:	Toneladas de carbono por hectárea
t ha⁻¹:	Toneladas por hectárea

**“ESTIMACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE CARBONO DEL
ECOSISTEMA PÁRAMO DEL PARQUE NACIONAL
PODOCARPUS-ECUADOR”**

RESUMEN

El páramo tiene gran potencial de almacenamiento de carbono, debido a las bajas tasas de mineralización y alto reciclaje de nutrientes, como consecuencia de sus bajas temperaturas. La presente investigación se realizó con la finalidad de cuantificar los contenidos de carbono total (sobre el suelo, necromasa y suelo) del ecosistema páramo del PNP y su distribución espacial, para lo cual se instalaron 80 parcelas temporales de 1m², donde se cuantificó el contenido de carbono en la biomasa y necromasa mediante el método destructivo. Para determinar el contenido de carbono en el suelo se tomaron dos muestras de suelo, una disturbada para determinar el contenido de carbono en el suelo por el método modificado de Walkley y Black (1947) y la segunda muestra en un cilindro Kopecky para determinar la densidad aparente y constantes hidrofísicas del suelo. Para determinar su distribución espacial, se utilizó el método de interpolación IDW en el software ArcGis 10.2. Se obtuvo como resultado que el contenido medio de carbono es de 163,11 t ha⁻¹, donde el suelo aportó el el 90% de carbono con una con una correlación positiva alta ($r=0,99$) y la vegetación no influyo significativamente en su contenido. Espacialmente los mayores contenidos de carbono total se encontraron en los sistemas lacustres de las “Lagunas del Compadre”, y los menores contenidos en los extremos norte y sur del ecosistema páramo. Las variables externas que influyeron su contenido de carbono fueron la altitud ($r_s= 0,45$), la temperatura ($r_s= -0,47$), el %Hd del suelo a CC (1/3 atm) ($r_s= 0,64$) y el %Hd del suelo a Sat (0 atm) ($r_s= 0,79$).

Palabras clave: ecosistema páramo, carbono en el suelo, almacenamiento de carbono, necromasa, biomasa.

ABSTRACT

The paramo has great potential of carbon storage, due to the low rates of mineralization and high recycling of nutrients, as a consequence of its low temperatures. The present research was carried out with the purpose of quantifying the total carbon (soil, necromass and soil) contents of the PNP paramo ecosystem and its spatial distribution, for which 80 temporary plots of 1m² were installed, where the content was quantified of carbon in biomass and necromass by the destructive method. To determine the carbon content in the soil, two samples of soil were taken, one disturbed to determine the carbon content in the soil by the modified method of Walkley and Black (1947) and the second sample in a Kopecky cylinder to determine the density Apparent and hydrophysical constants of the soil. To determine its spatial distribution, the IDW interpolation method was used in the ArcGis 10.2 software. As a result the average carbon content was 163.11 ha⁻¹, where the soil contributed 90% of carbon with one with a high positive correlation ($r = 0.99$) and the vegetation did not significantly influence In its content. Spatially the highest total carbon contents were found in the lake systems of the "Lagunas del Compadre", and the lowest contained in the north and south ends of the paramo ecosystem. The external variables that influenced its carbon content were: altitude ($r_s = 0.45$), temperature ($r_s = -0.47$), soil Hd% to CC (1/3 atm) ($r_s = 0.64$) And the soil Hd% at Sat (0 atm) ($r_s = 0.79$).

Keywords: ecosystem paramo, soil carbon, carbon storage, necromass, biomass.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) es el resultado del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmosfera (Cuevas Tello, 2016; Henríquez, 2016; Metz, Davidson, Bosch, Dave, & Meyer, 2007), especialmente dióxido de carbono (CO₂) que contribuye al incremento de la temperatura atmosférica y cuya concentración ha aumentado desde unas 275 ppm, antes de la era industrial, hasta 380 ppm en la actualidad (Barrón, 2009; Flannery, 2009; A. M. Torres, Peña, Zúñiga, & Peña, 2012), cuyas principales consecuencias son: el retroceso de los glaciares, modificaciones en los patrones de temperatura y precipitación, descenso del caudal de los ríos, frecuencia de eventos extremos (sequías, inundaciones) y pérdida de carbono de la superficie terrestre hacia la atmosfera (Caviglia, Wingeyer, & Novelli, 2016; Crowther, Todd-Brown, Rowe, Wieder, Carey, Machmuller, Snoek, Fang, Zhou, & Allison, 2016; Marín, del Pilar, Andrade, & Sandoval, 2016; Samaniego, 2009).

El suelo es un sumidero y reservorio de carbono (C) a escala global y un aliado clave para atenuar los efectos ocasionados por el cambio climático (Alonso, 2013; Caviglia *et al.*, 2016; Marques, Luizão, Teixeira, Sarrazin, Ferreira, Beldini, & Marques, 2015). El carbono que es retenido en el suelo pasa a formar parte de su estructura y resulta conveniente lograr que se quede estabilizado el mayor tiempo posible (Pauli, Gottfried, & Grabherr, 2014; Strong, Johnson, Chiariello, & Field, 2016). La mayoría de los bienes y servicios que provee el suelo tiene en relación directa con el porcentaje de carbono en el suelo, debido a que este tiende a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la capacidad de retención de agua y el contenido de nutrientes (Costantini, 2016; Weil & Brady, 2002). De igual manera la presencia de carbono en el suelo reduce la susceptibilidad del mismo a la erosión (Cargua, Rodríguez, Recalde, & Vinueza, 2014; Lal, 2004). Por lo tanto, el suelo se constituye en un aliado clave para mitigar los problemas asociados con el calentamiento global (Krois & Schulte, 2013; Powlson, Whitmore, & Goulding, 2011).

Los suelos de páramo son considerados estratégicos como reguladores y proveedores de bienes y servicios ambientales, entre los que se resalta la mitigación de gases de efecto invernadero, conservación y regulación hídrica para consumo y

producción (Álvarez-Salas, Gómez-Aguirre, & Cano-López, 2016; Daza Torres, Hernández Florez, & Triana, 2014; Santamaría, Sarmiento Pinzón, Sánchez, & Chaves, 2016). No obstante, el páramo constituye uno de los ecosistemas más vulnerables al cambio ambiental global, fundamentalmente por su estructura, actividades antrópicas a las que se ve sometido y el desconocimiento de muchos de los procesos que se desarrollan dentro de este ecosistema (Hofstede, Vásconez, Cerra, Vásquez, Néjer, Duque, Torres, & Duerto, 2015; Quichimbo, Tenorio, Borja, Cárdenas, Crespo, & Céleri, 2012).

En este ecosistema el carbono en suelo es muy abundante debido a las condiciones frías y alta humedad que predominan en el sitio, evitando su emisión a la atmósfera en forma de CO₂ (Giné & Sánchez, 2015; Hofstede, Calles, López, Polanco, Torres, Ulloa, Vásquez, & Cerra, 2014). Sin embargo actividades como la deforestación, agricultura y la ganadería ocasiona una degradación de este ecosistema (Wouter Buytaert, De Bièvre, Wyseure, & Deckers, 2004; Rolando, Turin, Ramírez, Mares, Moneris, & Quiroz, 2017), provocando la alteración de la estructura esponjosa de sus suelos, lo que altera su capacidad de retener, mantener y regular el flujo agua, así como de almacenar carbono orgánico (CO) (McKnight, Harden, & Schaeffer, 2017), lo que agrava los problemas relacionados con el aumento de temperatura global (Lal, 2004).

Ecuador es el país que más páramo tiene en relación a su extensión total, cubriendo aproximadamente un 6% de su territorio nacional (Vásconez & Hofstede, 2006). En el norte del país se considera páramo al área sobre los 3 500 msnm., y en el sur sobre los 3 000 msnm., aunque en Loja ya se pueden encontrar desde los 2 800 msnm., debido a que la cordillera de los Andes en esta área es masa angosta y baja (Beltrán, Salgado, Cuesta, León-Yáñez, Romoleroux, Ortiz, Cárdenas, & Velástegui, 2009; Hofstede, Segarra, & Mena, 2003).

El páramo de pajonal es el más común en el país, pero ha determinado que existen al menos 10 tipos de páramo, entre los que destacan el páramo de frailejones en el Carchi y Sucumbíos, páramo seco en las faldas del Chimborazo y el páramo arbustivo del sur en el Parque Nacional Podocarpus (PNP) (de la Cruz, 2009).

A pesar de la gran diversidad de tipos de páramo en el país, la mayoría de las investigaciones se han desarrollado en los páramos del norte, cuyas principales características son: suelos profundos con alto contenido de carbono en el suelo, presencia de suelos alófanos y fuerte acidez (Fehse, Hofstede, Aguirre, Paladines, Kooijman, & Sevink, 2002). En cambio en los páramos de la región sur del país existe grandes vacíos de información ya que este tipo de páramo es muy diferente en términos físicos, químicos y biológicos, por tal razón la presente investigación pretende estimar el contenido de carbono y su distribución espacial en el ecosistema páramo del PNP, área protegida del país en mejor estado de conservación.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el contenido y distribución espacial de carbono en el ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus.

Objetivos específicos

- Cuantificar los contenidos de carbono total (sobre el suelo, necromasa y suelo) del páramo arbustivo/ herbáceo del PNP.
- Conocer la distribución espacial de los contenidos de carbono total del páramo, a través de los datos recopilados en las parcelas temporales.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de los ecosistemas de Páramo.

El páramo es un ecosistema que se caracteriza por la presencia de planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas, una excelente calidad del agua, y ríos que descienden desde el páramo con un alto y sostenido flujo base (Harden, 2006; Hofstede *et al.*, 2014). Con una precipitación alta que va desde los 700 mm hasta los 3 000 mm, sin embargo es extremadamente variable en espacio y tiempo. Generalmente, las intensidades de lluvia son bajas (como lloviznas) y el viento puede ser muy fuerte y altamente variable en dirección, debido a las pendientes fuertes y la topografía accidentada (W Buytaert, Célleri, De Bièvre, & Cisneros, 2010; Hofstede *et al.*, 2015).

Es considerado un ecosistema clave por su alta biodiversidad, procesos biológicos, provisión de agua y almacenamiento de carbono, pero que pese a eso, también son ecosistemas menos estudiados y descritos en el mundo (Wouter Buytaert, Cuesta-Camacho, & Tobón, 2011).

La oferta de servicios ambientales que presta es diversa, entre los más importantes están la regulación hídrica y un alto contenido de carbono acumulado no solo en la biomasa sino también en la materia orgánica del suelo, debido a las bajas tasas de mineralización y alto reciclaje de nutrientes, como consecuencia de bajas temperaturas que disminuyen entre 0,5⁰C y 0,7⁰C por cada 100 m de altitud y a su alta variación, fluctuando desde menos bajo cero hasta más de los 25⁰C (Hofstede, Coppus, Vásconez, Segarra, Wolf, & Sevink, 2002; Sánchez Rodríguez, 2016), lo que facilita una lenta y continua absorción neta de CO₂ atmosférico que se acumula como parte de la materia orgánica en sus suelos (Tonneijck, Velthuis, Bouten, Van Loon, Sevink, & Verstraten, 2016), y es así que aproximadamente el 98% del carbono secuestrado en páramos se acumula en el suelo (Ward, Dargusch, Grussu, & Romeo, 2016).

Los páramos tiene gran potencial para almacenamiento de carbono (se registran datos hasta 2 m de profundidad de suelo orgánico), donde se constatan concentraciones de carbono hasta 1 700 t ha⁻¹. Esta característica lo diferencia de la capacidad de

almacenar carbono con la selva amazónica, aunque la biomasa es mayor en la Amazonia (Giné & Sánchez, 2015). Los suelos de páramo, en general, son espesos y están principalmente constituidos por materia orgánica en diversos estados de descomposición; en algunos lugares pueden tener tanto como 50 % de materia orgánica (MO) frente al 3% promedio de otros suelos (Camargo-Garcá, Dossman, Rodríguez, Arias, & Galvis-Quintero, 2012).

En el aspecto de flora se consideran más diversos y con mayor endemismo a los páramos del sur de Ecuador en comparación al resto del país debido a su ubicación dentro de la formación de Huancabamba y al contacto con la zona Tumbesina, por estar ubicados en el *divortium aquarium* de las cuencas Amazónica y del Pacífico, lo que origina una zona de transición de los páramos de norte de los Andes hacia la Puna más al sur en el Perú (Becking, 2004).

Los páramos del PNP son muy diferentes a otros del norte del Ecuador en su fisonomía, estructura, frondosidad de la vegetación y humedad del ambiente donde se desarrollan, encontrando páramos herbáceos húmedos con *dominiose Sphagnum*, almohadillas, bromelias terrestres; páramos arbustivos con una mezcla muy especial de gramíneas y arbustos de hojas xerófitas; y, páramos con dominancia de gramíneas, creciendo en penachos (Aguirre-Mendoza, Aguirre, Merino, & Ochoa, 2016). Otro aspecto que lo diferencia son los niveles de precipitación en este ecosistema con valores anuales entre 2 000 mm a 4 000 mm y una temperatura promedio diaria de 10°C, con mínimas comprendidas entre 0-3°C (Herbario, 2000; Keating, 1999; Lozano, Delgado, & Aguirre, 2003).

Los páramos en el Ecuador comúnmente presentan un evidente deterioro por actividades antrópicas como: sobrepastoreo, quemas provocadas para conseguir rebrotes de hierba y reforestación con especies exóticas (Aguirre & Torres, 2013), pero a diferencia de esto, los páramos del PNP no han sido mayormente alterados y cumplen una función hídrica muy importante, dando origen a dos cuencas hidrográficas binacionales: Catamayo-Chira y Zamora-Santiago, que abastecen de agua para varios canales de riego, presas y centrales hidroeléctricas que están en construcción en el Ecuador (Aguirre-Mendoza *et al.*, 2016).

A pesar de la importancia de los páramos, son los ecosistemas más amenazados actualmente, que se han perdido o alterado debido al deterioro de sus procesos naturales como consecuencia de la agricultura intensiva, la urbanización, la contaminación, la construcción de represas, la adecuación de tierra para infraestructura turística, la desecación y otras formas de intervención en el sistema ecológico e hidrológico (Rodríguez, 2010).

2.2. Suelos de los Páramos

Los suelos de páramo se originaron hace 10 000 años atrás, con la meteorización de roca madre, al final de las últimas glaciaciones (Pleistoceno) cuando la totalidad de la extensión de páramo estuvo cubierta de hielo, también se formaron en zonas con volcanismo activo con cenizas, bajas temperaturas y altas precipitaciones, el proceso de formación de suelo es lento por lo que, los suelos del páramo son, sin excepción, suelos jóvenes (Morales, 2009).

A nivel de Ecuador las erupciones de los más de 50 volcanes al norte en el país, algunos de ellos aún activos fueron y son claves en la formación de los suelos del páramo a partir de los grandes volúmenes de ceniza arrojados por procesos eruptivos (Llambí, Fariñas, Smith, Castañeda, & Briceño, 2013). En los páramos del sur los suelos se formaron sobre rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas con escaso aporte de cenizas volcánicas, originando la formación de suelos de los órdenes Entisoles e Inceptisoles por encima de los 3 800 msnm y por lo menos hasta los 4 100 msnm, donde las bajas temperaturas y un clima muy húmedo, da origen a suelos turbosos con muy alto contenido de materia orgánica (Malagón & Pulido, 2000). En estos suelos existe una capa muy delgada de cenizas volcánicas, procedente de los volcanes del Norte, lo que dio origen a un suelo volcánico muy delgado, pero por erosión han desaparecido, dejando las cenizas antiguas en la superficie (Yepes, del Valle, Jaramillo, & Orrego, 2010).

Los suelos más comunes en el páramo son los Andisoles, Entisoles, Inceptisoles e Histosoles según la clasificación de la Soil Taxonomy, o los Andosoles, Regosoles, Umbrisoles e Histosoles de acuerdo con la Base Mundial de Referencia

para Recursos Suelo de la FAO (De Bièvre, 2008). Los suelos de páramo por lo general son ácidos, con presencia de un horizonte orgánico y predominancia de complejos organometálicos de hierro (Fe) y aluminio (Al) (Wouter Buytaert, Céleri, De Bièvre, Cisneros, Wyseure, Deckers, & Hofstede, 2006). La profundidad del suelo es el potencial de secuestro de CO₂ de la atmósfera a través de mecanismos que ayudan a estabilizar los materiales orgánicos en el suelo y la recalcitrancia de los residuos vegetales (Herzog, Martínez, Jørgensen, & Tiessen, 2011). Esto debido a la saturación de poros que no permite la entrada de aire en el suelo, que sumando al alto contenido de materia orgánica de estos suelos, le otorgan una alta capacidad de amortiguamiento y de retención de agua que es clave en la regulación hidrológica (Wouter Buytaert, Wyseure, De Bievre, & Deckers, 2005).

Los Andosoles poseen una elevada capacidad para retener el agua y una baja densidad aparente, se desarrollan a partir del material piroclástico y su fracción coloidal está dominada por minerales de rango corto (alófana e imogolita) o complejos órgano-metálicos (aluminio-humus). Los horizontes superficiales se caracterizan por una textura franca, estructura de tipo migajosa y granular y color negro debido a la acumulación de materia orgánica humificada. El humus se encuentra íntimamente mezclados con la parte mineral del suelo (Avila Mora & Erazo Sotomayor, 2011). En áreas más saturadas o en regiones con menor influencia volcánica se desarrollan suelos orgánicos Histosoles que es el caso de los páramos del sur de Ecuador (Flores, David, & Chimbo, 2015). En lugares con pendientes más pronunciadas los suelos son muy delgados y muestran poco desarrollo de horizonte, en el país existen estudios que confirman que en los suelos del páramo se puede almacenar hasta 1 700 t C ha⁻¹ y en la vegetación cerca de 40 t C ha⁻¹ (Albán Molina & Granda Garzón, 2013).

Es importante señalar que otro aspecto que influye directamente en el contenido de carbono en los páramos es la vegetación, ya que interviene en la acumulación de la materia orgánica (Malagón & Pulido, 2000) de la misma manera, entre más húmedo el páramo, mayor acumulación de materia orgánica, reduciendo la actividad microbiana (Rangel-Marrón & López-Malo, 2012).

2.3. Dinámica del carbono en el Ecosistema.

La dinámica del carbono en un ecosistema empieza con la fijación del CO₂ atmosférico por proceso de fotosíntesis, donde el CO₂ y el agua reaccionan para formar carbohidratos y simultáneamente liberar oxígeno, que pasa a la atmósfera. Una parte se usa como suministro de energía a la planta y la otra parte es consumida por los animales, que también liberan CO₂ en sus procesos metabólicos. Las plantas y los animales muertos descompuestos, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera o se queda atrapado en el suelo (Suárez, Campos, & Cruz, 2015).

La absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres es el resultado de la diferencia entre el carbono absorbido y el emitido por cambios de uso de la suelo (Pardos, 2010). Para analizar la dinámica de carbono y el balance en los ecosistemas, es importante basarse en modelos matemáticos acordes a la condiciones del sitio, además que los datos obtenidos en campo sean concretos y tomados bajo una metodología (Galán de Mera, Sánchez Vega, Montoya Quino, Linares Perea, Campos de la Cruz, & Vicente Orellana, 2015).

La formulación de modelos se ha dirigido, en dos tipos. Un tipo de modelos considera una aproximación en la que se determina mayormente los pasos en el proceso de transformación y la energía, y el segundo tipo de modelos se enfocan a cuantificar el movimiento del carbono mediante un conteo explícito de los agentes responsables de la descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS) depositada (Yadav & Malanson, 2007).

2.4. Flora característica de los páramos.

El páramo se caracteriza por la presencia de una vegetación herbácea dominada por gramíneas en forma de penachos, plantas en forma de almohadillas, rosetas, arbustos micrófilos enanos (*Arcytophyllum*, *Loricaria*) y por la ausencia de árboles. Algunas especies de los géneros *Brachyotum*, *Escallonia*, *Hesperomeles*, *Myrsine* y *Miconia*, que forman parte del subpáramo, se encuentran también en zonas más bajas formando parte de los bosques andinos (Jørgensen, Ulloa, Madsen, & Valencia, 1995).

Pero en los páramos de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe la faja de vegetación de páramo es reducida y se considera que la vegetación de páramo inicia sobre 2 800-2 900 msnm., mientras que en la zona central y norte del país entre 3 500-4 500 msnm (Maldonado & Numa, 2002).

De acuerdo al Herbario (2000) en el ecosistema páramo del PNP se diferencian seis comunidades vegetales (CV):

- Comunidad I: Páramo herbáceo de bambúes. Se distingue por la presencia de vegetación abierta de bambúes como *Chusquea neurophylla*, *Chusquea laegardii* (estas características no son exclusivas para esta comunidad, ocurren también en la comunidad II y III) y *Calamagrostis macrophylla*, *Bartsia orthocarpiflora*, *Geranium acaule* y *Isidrogalvia falcata*. Se desarrolla en un rango altitudinal promedio de 3 100 msnm.
- Comunidad II: Páramo arbustivo del norte del PNP. Caracterizada por vegetación de arbustales densos. Las especies representativas son: *Brachyotum campanulare*, *Chusquea scandens*, *Disterigma ovalifolia*, *Paepalanthus ensiformis* (dominante) y *Puya eryngioides*. Las especies exclusivas de mayor frecuencia son: *Baccharis genistelloides*, *Lisanthus ovalis* y *Oritrophium repens*. Se desarrolla en un rango altitudinal promedio de 3 000 msnm.
- Comunidad III: Páramo arbustivo denso (Centro-Norte del PNP). Constituida por vegetación arbustiva más densa que la comunidad II, con especies arbustivas como *Bomarea brachysepala*, *Cybianthus pastensis*, *Ilex andina* y *Pentacalia myrsinites*, pero también contiene regularmente elementos herbáceos como *Chusquea neurophylla* y *Chusquea asymmetrica*, esta última exclusiva para la comunidad. Se desarrolla en un rango altitudinal entre los 2 900-3 410 msnm.
- Comunidad IV: Páramo arbustivo denso (Centro-Sur del PNP). Se caracteriza por la vegetación arbustiva con especies características como *Arcytophyllum setosum*, *Bomarea dissitifolia*, *Chusquea loxensis* y *Miconia media*, las cuales se desarrollan en rango altitudinal de 2 900-3 410 msnm.

- Comunidad V: Páramo herbáceo con *Chusquea nana*. Se caracteriza por la dominancia de *Chusquea nana*, que es una especie exclusiva para esta unidad, desarrollándose a 3 400 msnm. La diversidad en esta comunidad es baja; las cuatro especies exclusivas son: *Lachemilla nivalis*, *Lycopodium magellanicum*, *Luzula gigantea* y *Ranunculus guzmanii*.
- Comunidad VI: Páramo arbustivo de Sabanilla. Se caracteriza por la presencia de arbustos grandes de *Persea brevipes*, *Pitcairnia trianae* y *Weinmannia ovalis*, aunque las especies dominantes son generales del área de los páramos del PNP como: *Arcytophyllum setosum*, *Rhynchospora sp.* y *Xyris subulata*.

2.5. El ecosistema de páramo como mitigador del Cambio Climático

El secuestro de carbono en los suelos se ha convertido en una estrategia para mitigar los efectos del calentamiento global, pero además supone un medio adicional para frenar los procesos de degradación de los suelos (Fearnside, 2000). Es el proceso de transformación del CO₂ del aire a carbono orgánico, almacenado en el suelo. A través del secuestro de carbono, los niveles de CO₂ atmosférico pueden reducirse en la medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan (Pérez Ruiz, 2011).

La alta capacidad que suelos de páramo tiene para retener agua, favorece la predominancia de condiciones anaeróbicas durante largos períodos del año, lo que favorece la retención de altos niveles de carbono, principalmente en las zonas de relieve plano (Granja Vizcaíno, 2015). Los ecosistemas de páramo son muy diversos biológicamente y ofertan varios servicios ecosistémicos. Contienen grandes cantidades de carbono acumulado, influenciado por las bajas temperaturas lo que reduce las tasas de descomposición de la materia orgánica, este proceso es lento y, a pesar de que los stocks de hojarasca y biomasa aérea son muy bajos, la materia orgánica se acumula en el suelo y puede alcanzar hasta 60 kg m⁻², ubicándose entre los suelos con mayor reserva de carbono en el mundo (Rodríguez Laguna, 2009).

En el páramo también existe deforestación por lo tanto es una fuente de emisión de CO₂, pues al tener suelos profundos y con una gran cantidad de carbono almacenado, en ciertas condiciones mucho más que en bosque tropical, al aplicarle por

prácticas agrícolas no sostenibles, este suelo tiende a agotarse y a erosionarse, donde el carbono se oxida y forma CO₂ que se emite a la atmósfera (Vásconez & Hofstede, 2006).

A nivel mundial, se estima que las grandes cantidades de carbono se almacenan como materia orgánica del suelo y como biomasa. Sin embargo, los conocimientos actuales sobre las cantidades de carbono almacenado en los diferentes tipos de suelo especialmente de páramo son limitados. De acuerdo a los datos en los suelos de Ecuador se almacena casi 3,6 G t de carbono, sumando las cifras de carbono de la biomasa da un estimado de carbono total nacional para el Ecuador de 5,2 G t (Bain, Bonn, Stoneman, Chapman, Coupar, Evans, Gearey, Howat, Joosten, & Keenleyside, 2011).

Existe una amplia variedad de soluciones posibles para combatir el cambio climático, como proteger y gestionar mejor los recursos naturales, que constituye una de las soluciones más eficaces y principales para obtener un ambiente con bajas emisiones de dióxido de carbono en las próximas décadas (Pérez, Vilches, Grimaldi, & Álvarez, 2006).

3. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus (PNP), localizado en la región de Numbala y Nudo de Sabanilla entre los límites de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. En PNP tiene una extensión de 144 993,74 ha (Centro Integrado de Geomática Ambiental, Herbario Reinaldo Espinosa, & Forestal, 2006) de los cuales el ecosistema páramo ocupa aproximadamente un 8% (11 636,58 ha) de su superficie total, distribuidos en un rango altitudinal entre los 2 800 y 3 800 msnm sobre la cordillera oriental de los Andes, con una precipitación anual entre 2 000 mm a 4 000 mm y una temperatura promedio diaria de 10°C, con mínimas comprendidas entre 0-3°C (Becking, 2004; Herbario, 2000; Keating, 1999; Lozano *et al.*, 2003).

En el ecosistema páramo del PNP, existen 6 comunidades vegetales, dos herbáceas y 4 arbustivas, pero por fines de mapeo se agruparon las comunidades II y III, y las comunidades III y IV, en dos grupos, dando origen a las comunidades II/III y III/IV, obteniendo 8 comunidades vegetales en total, dos herbáceas, 4 arbustivas y 2 combinadas arbustivas (ver Cuadro 1) (ver Anexo 1).

Cuadro 1. Comunidades vegetales del ecosistema páramo del PNP

CV	Nombre	Superficie (ha)	Porcentaje
I	Páramo herbáceo de bambúes	3 025,63	26,00%
II	Páramo arbustivo del norte del PNP	1 142,10	9,81%
II/III	Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP	1 192,02	10,24%
III	Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP	670,25	5,76%
III/IV	Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP	5 190,79	44,61%
IV	Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP	238,04	2,05%
V	Páramo herbáceo con <i>Chusquea nana</i>	163,27	1,40%
VI	Páramo arbustivo de Sabanilla	14,48	0,12%
Total		11 636,58	100%

Elaboración propia

Estas comunidades se agruparon debido a la similitud florística y de ubicación geográfica que presentan, pues las comunidades II y III, y las comunidades III y IV tienen un valor índice de similitud de Sorensen de 67,5 de 64,8 respectivamente, conformando dos comunidades vegetales separadas geográficamente del resto de comunidades (ver Figura 1) (Herbario, 2000).

La comunidad 5 Páramo herbáceo con *Chusquea nana*, existe intervención humana, pues una vía de segundo orden atraviesa la comunidad y tiene senderos que sirven para el transporte de madera que se extrae del bosque circundante al páramo. Además también sirve para el transporte de ganado hacia las zonas de Numbala Alta y Numbala Bajo (ver Anexo 2), por tal razón solo se ha tomado en cuenta el área sin intervención que corresponde al 68,77% de la comunidad (163,27 ha).

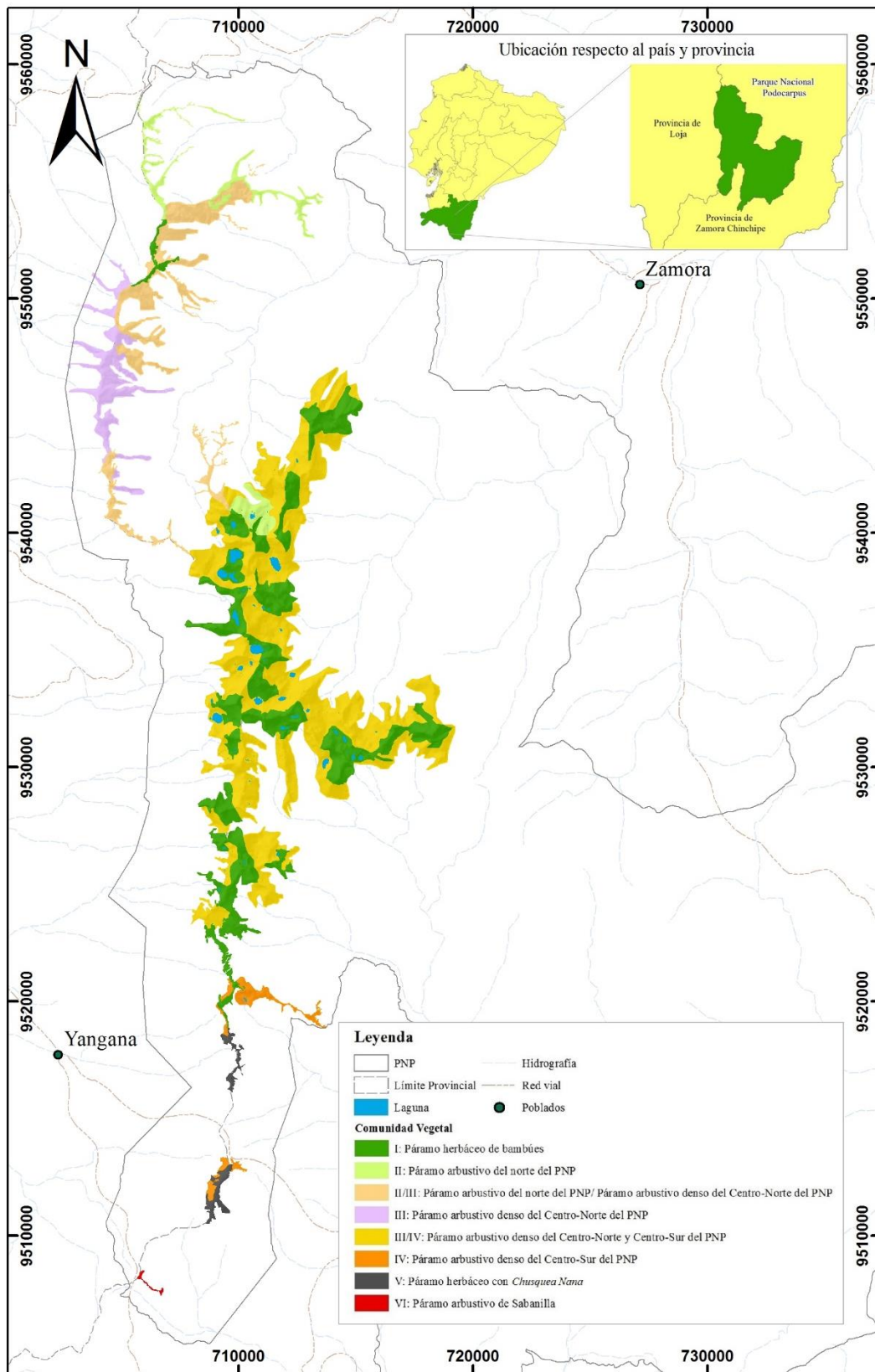


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio dentro del PNP
Elaboración propia

3.2. Validación y digitalización del mapa de comunidades vegetales del PNP.

Se tomó como base, el mapa de comunidades vegetales del ecosistema páramo del PNP elaborado por el Centro Integrado de Geomática Ambiental (CINFA) y el Herbario Reinaldo Espinosa en el año 2000, el cual se lo actualizó con una nueva digitalización de las 8 comunidades vegetales en base a ortofotos del año 2012 del área de estudio proporcionadas por el CINFA, utilizando principios de fotointerpretación (ver Anexo 3).

Se establecieron al azar 10 puntos de muestreo por comunidad vegetal, con la herramienta *Create Random Point* del software Arcgis 10.2, estableciéndose en total 74 puntos de muestreo. Se tomaron 6 puntos de muestreo de la investigación realizada por Santín Aguirre & Vidal González (2012) en el norte el páramo del PNP. Se tomaron 4 puntos para la comunidad 2, un punto para la comunidad 2.3 y por último un punto para la comunidad 3. En total se trabajó con 80 puntos de muestreo.

3.3. Cuantificación de los contenidos de carbono sobre suelo en biomasa y necromasa en el páramo del PNP.

En cada punto de muestreo determinado anteriormente, se implementaron parcelas temporales de 1 m², donde mediante el método destructivo se recolectó todo el material vegetal vivo sobre suelo (biomasa) y muerto (necromasa) por separado, pesando *in situ* cada muestra para obtener su peso húmedo (Ph). Posteriormente se homogenizó y pesó 1 kg de cada una de las muestras. En el laboratorio de Aguas, Suelos y Bromatología de la UNL, se colocaron y etiquetaron las muestras en fundas de papel, y se secaron en la estufa a 100 °C, hasta obtener su peso seco constante. En total se trabajaron en laboratorio 148 muestras, 74 de biomasa y 74 de necromasa (ver Anexo 4).

Con los datos obtenidos se obtuvo el factor r , que es la relación peso seco/peso húmedo, y el contenido de carbono para la biomasa y necromasa de cada comunidad vegetal (Ayala, Villa, Aguirre, & Aguirre, 2014), tal como se detalla en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fórmulas para determinar contenido de carbono en biomasa y necromasa

Compartimientos	Fórmulas Biomasa	Fórmulas Carbono
Arbustivo	$Biomasa = Ph_{com. arbustivo} * r$	Carbono acumulado = Biomasa x 0,5
Herbáceo	$Biomasa = Ph_{com. herbáceo} * r$	Carbono acumulado = Biomasa x 0,5
Necromasa	$Biomasa = Ph_{com. necromasa} * r$	Carbono acumulado = Biomasa x 0,5

Nota: Ph = peso húmedo de la muestra; r = Relación peso seco/peso húmedo; 0,5 = factor de contenido carbono para la biomasa.

Fuente: (Ayala *et al.*, 2014)

3.4. Determinación del contenido de carbono en el suelo de los páramos del PNP.

En las mismas parcelas temporales donde se tomaron las muestras de biomasa y necromasa, se realizaron pequeñas calicatas, donde se midió la profundidad del horizonte orgánico, y se tomaron dos muestras de suelo. La primera una muestra disturbada de aproximadamente 500 g para determinar el contenido de carbono en el suelo, y la segunda muestra se la tomó con un cilindro Kopecky para determinar la densidad aparente por el método del volumen conocido (Doran, 1999) y constantes hidrofísicas del suelo mediante la metodología implementada por Alberts, Holzhey, West, & Nordin (1987), en el laboratorio de Aguas, Suelos y Bromatología de la UNL (ver Anexo 5):

- Se saturó los cilindros Kopecky por 24 horas, registrando su peso húmedo.
- Se las sometió en el equipo de constantes hidrofísicas a 1/10 atm por 24 horas y se registró su peso nuevamente.
- Se las sometió a una presión de 1/3 por 24 horas y se registró su peso.
- Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas y se registró el peso seco. También se registró el peso del cilindro Kopecky.
- Estas muestras se las tamizó por una malla de 2 mm.
- Se colocaron 20 g de muestra en anillos plásticos y se las saturó por 24 h. estas muestras se sometieron a una presión de 15 atm por 48 horas.
- Por último, las muestras se colocaron en la estufa a 105 °C por 24 h, y se registró su peso.

Para el cálculo de densidad aparente por el método del cilindro conocido se utilizó la siguiente fórmula:

$$d_a (g\ cm^{-3}) = \frac{\text{Peso seco del suelo}}{\text{Volumen Cilindro}}$$

El contenido de carbono orgánico en el suelo se determinó por el método modificado de Walkley y Black 1947, descrito por USDA (2015), tal como se describe a continuación:

- Las muestras disturbadas previamente secadas al ambiente, fueron tamizadas utilizando el tamiz de 0.5 mm.
- Se pesó 0,1 g o 0,5 g de suelo, dependiendo de la coloración de la muestra. Se las colocó en matraces Elermeyer de 250 ml.
- Se agregó 5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1 N y se añadió 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (97%), se agitó la muestra lentamente durante un minuto a fin de homogenizar y para evitar que la muestra de suelo se adhiriera a las paredes del matraz y se dejó en reposo durante 30 minutos.
- Se agregó en el siguiente orden: 100 ml de agua destilada y 5 ml de ácido Ortofosfórico (H_3PO_4) al 85 %,
- Los matraces se colocaron sobre un agitador y se añadió 10 gotas de difenilamina ($C_{12}H_{11}N$) a cada muestra.
- Se tituló el exceso de dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) por medio de la solución de sal de Morh ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 7H_2O$) a concentración 0,5 N.
- Se registró el volumen de gasto o viraje del color, por observación cuando la muestra cambia de azul a verde intenso y se anotó el volumen consumido.

Con los datos obtenidos se calculó el contenido de carbono y materia orgánica, aplicando las siguientes fórmulas:

$$\%C = \frac{(V_0 - V) * N * 0.39}{(PM)}$$

$$MO(\%) = \frac{(V_0 - V) * N * 0.39 * 1.72 * 1.1}{(PM)}$$

Dónde:

V₀: volumen gastado en la titulación del blanco

V: volumen gastado en la titulación de la muestra

N: normalidad exacta de sulfato de hierro

0,39: peso químico equivalente del carbono

1,72: constante de conversión de C a MO sobre la hipótesis de que la materia orgánica contiene 58 % de C en la generalidad de los suelos encontrados en el Ecuador.

1,1: error de conversión de C a MO (10 %)

PM: peso de muestra de suelo

F: factor de corrección de la sal de Morh

Para obtener el contenido total de carbono orgánico en el suelo (COS) por cada hectárea, se aplicó la siguiente formula:

$$COS = \%C * da * ps * 100$$

Dónde:

COS: carbono orgánico en el suelo, en toneladas por hectárea (t ha⁻¹)

%C: porcentaje de carbono en el suelo

da: densidad aparente del suelo

ps: profundidad del suelo en metros (m)

Por último, para obtener el contenido de carbono total, se suma los valores obtenidos por cada compartimento: biomasa, necromasa y suelo.

3.5. Interpolación de datos de contenido de carbono en biomasa necromasa y suelo

Una vez procesados los 80 puntos de muestreo, se procedió a construir mapas del contenido de carbono para cada compartimento utilizando el software ArcGis 10.2.

Para la interpolación espacial del contenido de carbono se pueden utilizar tanto el método de interpolación Kriging como el método de la Inversa Distancia Ponderada (IDW) (Sainz Rozas, Echeverria, & Angelini, 2011), pero cuando las distancias entre los puntos muestreados son muy extensas Kriging deja de ser una opción y el IDW se perfila como el mejor. Así mismo el método IDW es recomendado cuando se cuenta con bases de datos pequeñas (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2007).

El método de interpolación IDW estima los valores de los píxeles mediante el cálculo de los promedios de los valores de los puntos de muestreo recolectados en campo, utilizándolos como base para darle un valor al vecino más cercano. Se apoya en el concepto de continuidad espacial con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme incrementa la distancia (García González & Cebrián Abellán, 2006).

Utilizando el método de interpolación IDW, se construyeron los mapas de contenido de carbono en biomasa, en necromasa, en suelo y de contenido de carbono total en ecosistema páramo del PNP.

3.6. Análisis estadísticos de los datos obtenidos.

En el primer objetivo con el contenido de carbono por cada compartimento y contenido de carbono total (ver Anexo 7-10), se verificó la relación entre el contenido de carbono total y los contenidos de carbono por compartimentos (biomasa, necromasa, suelo) entre comunidades vegetales y por tipo de páramo, mediante la prueba de comparación de medias de Montecarlo y el test de Mantel que constituyen modelos nulos.

La prueba de Montecarlo, es similar a los métodos estadísticos normales, donde las muestras aleatorias se utilizan para realizar inferencias acerca de la población de origen, pero se basa en el uso de un número determinado de muestras, a partir del cual genera secuencias de números aleatorios y estima su valor promedio (Alfonso & Yazmín, 2011).

Esta prueba se la desarrolló con la herramienta PoopTools en la aplicación de Microsoft Excel y posteriormente con el programa estadístico RStudio 3.3.2.

El test de Mantel, estima el grado de relación entre dos matrices y se basa en una evaluación global de la similitud entre estas (Luzuriaga & Olano, 2006). Al igual que otro tipo de correlaciones, el grado de la correlación varían entre -1 y +1 (Camarero & Rozas, 2006) (ver Cuadro 3). Esta prueba se la realizo con el programa estadístico RStudio 3.3.2.

Cuadro 3. Grado de correlación del test de Mantel

Grado	Correlación
0-0,25	Baja
0,25-0,50	Media
0,50-0,75	Moderada
0,75-1,00	Alta

Fuente: Camarero & Rozas (2006)

Adicionalmente se aplicó estadística básica a los datos generados y se utilizó gráfico de cajas (box plot) en el programa STADISTICA 7, para representar estadísticamente la distribución de los contenidos de carbono por comunidad vegetal y por tipo de páramo para cada uno de los compartimentos.

En el análisis de datos del segundo objetivo se realizó una correlación con el coeficiente de correlación de Spearman simple y adicionalmente se realizó la misma correlación aplicando los principios de modelos nulos, con la finalidad de determinar el valor de la correlación, su significancia y el tipo de relación. Las variables analizadas para determinar los factores que mayor incidencia tienen en el contenido de carbono orgánico del suelo son altitud, pendiente, precipitación, temperatura, porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo (1/3 atm) y con el porcentaje de humedad del suelo a saturación (0 atm) (ver Anexo 6 y 11).

El coeficiente de correlación de Spearman, es un método estadístico no paramétrico, cuya finalidad es examinar la intensidad de asociación entre dos variables cuantitativas, cuando dichas variables no siguen una distribución normal. Su grado

de la correlación varía entre -1 y +1 (Mondragón, 2014; Restrepo & González, 2007) (ver Cuadro 3).

A partir de las curvas de nivel cada 40 metros del área de estudio proporcionados por el CINFA, se generó un Modelo Digital de Elevación (MDE) en el software ArcGis 10.2, con la herramienta *Create TIN* y el mapa de pendientes con herramienta *Slope*.

Los datos climáticos se los obtuvo de la plataforma *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (CHELSA, 2016) y el porcentaje de humedad del suelo se lo obtuvo de las constantes hidrofísicas analizadas en laboratorio, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\%Hd \text{ Suelo Sat (0atm)} = \frac{\text{Peso muestra saturada} - \text{Peso suelo seco}}{\text{Peso suelo seco}}$$

$$\%Hd \text{ Suelo CC (1/3 atm)} = \frac{\text{Peso muestra } 1/3 \text{ atm} - \text{Peso suelo seco}}{\text{Peso suelo seco}}$$

4. RESULTADOS

4.1. Cuantificar los contenidos de carbono total (sobre suelo, necromasa y suelo) del páramo del PNP

4.1.1. Análisis general del contenido de carbono total.

El contenido total de carbono en las 11 636,58 ha del ecosistema páramo del PNP fue de 1 898 042,56 t (ver Tabla 1), con un contenido medio de carbono de 163,11 t ha⁻¹, donde el suelo fue el compartimento que mayor contenido de carbono aportó al contenido de carbono total con un 90%, seguido por la biomasa con un 7% y la necromasa con un 3%.

Tabla 1. *Contenido de carbono medio y total (t ha⁻¹) por compartimentos*

Compartimento	Media(t ha ⁻¹)	Total (t)
Biomasa	11,06	128 700,57
Necromasa	5,70	66 328,50
Suelo	146,35	1 703 013,48
Carbono Total	163,11	1 898 042,56

En la prueba de comparación medias de Montecarlo (ver Tabla 2), el compartimento suelo fue el que mayor aportó al carbono total, y la diferencia de medias con el resto de compartimentos fue estadísticamente significativa, tendencia que se repitió con el contenido de carbono total.

Tabla 2. *Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono total (t ha⁻¹)*

	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
Biomasa	-			
Necromasa	5,36	-		
Suelo	-135,29	-140,65	-	
Carbono Total	-152,06	-157,42	-16,77	-

Los niveles de significancia fueron obtenidos a través de la misma prueba (ver Figura 2).

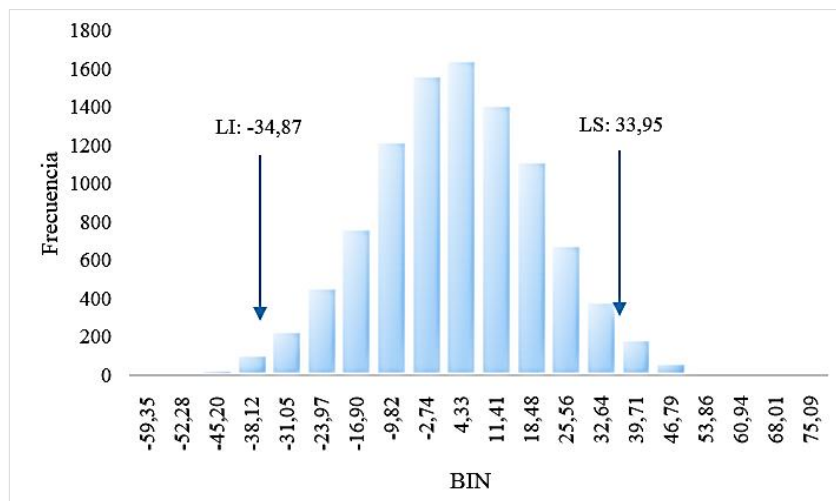


Figura 2. Niveles de significancia obtenidos en la prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono total

Elaboración propia

La correlación entre el contenido de carbono total y los compartimentos biomasa, necromasa y suelo (ver Figura 3) fue alta y positiva únicamente para el compartimento suelo ($r=0,99$). Para los otros dos compartimentos la correlación no fue significativa.

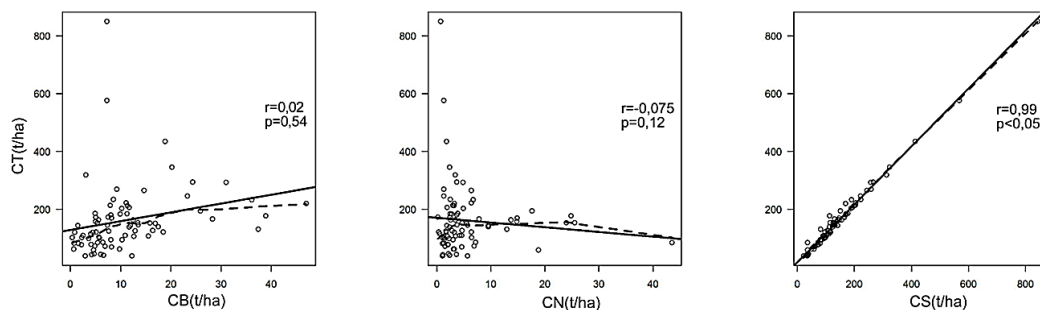


Figura 3: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo.

Elaboración propia

En el contenido carbono por tipo de páramo, el páramo herbáceo a pesar de ocupar solo el 27% de la superficie total del ecosistema páramo en relación al 73% de la superficie que ocupa el páramo arbustivo, tuvo mayor contenido de carbono medio con $173,68 \text{ t ha}^{-1}$ frente a $159,12 \text{ t ha}^{-1}$ del páramo arbustivo (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Contenido de carbono total por tipo de páramo*

Tipo	Media (t ha ⁻¹)	Total (t)
Herbáceo	173,68	553 848,15
Arbustivo	159,12	1 344 194,84

4.1.2. Análisis del contenido de carbono por comunidades vegetales

En el compartimento biomasa (ver Tabla 4), el mayor contenido medio de carbono se presentó en las comunidades arbustivas C4 y C3.4 con 21,73 t ha⁻¹ y con 14,56 t ha⁻¹ respectivamente, mientras que el menor contenido de carbono se presentó en la comunidad herbácea C1 con 3,34 t ha⁻¹.

Tabla 4. *Contenido de carbono en el compartimento de Biomasa (t ha⁻¹) por comunidad vegetal*

Comunidad Vegetal	Media	Mínima	Máxima	Desviación Estándar	Error Estándar
C1	3,34	0,32	11,70	±3,25	1,03
C2	11,94	4,23	36,12	±9,37	2,96
C2.3	8,24	4,05	18,49	±4,54	1,43
C3	10,06	4,74	14,65	±3,10	0,98
C3.4	14,56	5,38	30,97	±7,55	2,39
C4	21,73	8,06	46,94	±12,94	4,09
C5	4,90	0,71	12,64	±3,79	1,20
C6	13,73	4,60	37,40	±11,31	3,58

Con respecto a la necromasa (ver Tabla 5), las comunidades arbustivas C6 y C4 presentaron mayor contenido medio de carbono con 14,2 t ha⁻¹ y 7,37 t ha⁻¹ respectivamente. El menor contenido de carbono se presentó en la comunidad herbácea C5 con 2,00 t ha⁻¹.

Tabla 5. *Contenido de carbono en el compartimento de Necromasa (t ha⁻¹) por comunidad vegetal*

Comunidad Vegetal	Media	Mínima	Máxima	Desviación Estándar	Error Estándar
C1	2,76	1,04	6,42	±1,64	0,52
C2	3,32	1,13	6,72	±1,94	0,61
C2.3	2,51	0,54	6,37	±1,60	0,51
C3	6,12	0,17	25,54	±7,12	2,25
C3.4	7,08	1,31	43,50	±12,86	4,07
C4	7,37	1,27	24,84	±7,81	2,47
C5	2,00	0,37	4,60	±1,44	0,46
C6	14,42	6,89	24,04	±6,63	2,10

En el compartimento suelo (ver Tabla 6), el mayor contenido medio de carbono se presentó en la comunidad arbustiva C3.4 con 235,76 t ha⁻¹ seguido por la comunidad herbácea C5 con 172,70 t ha⁻¹. La comunidad arbustiva C2 presentó el menor contenido medio de carbono en el suelo con 100,50 t ha⁻¹.

Tabla 6. *Contenido de carbono en el compartimento Suelo (t ha⁻¹) por comunidad vegetal*

Comunidad Vegetal	Media	Mínima	Máxima	Desviación Estándar	Error Estándar
C1	162,35	34,24	427,51	±122,00	38,58
C2	100,50	33,91	190,09	±54,63	17,28
C2.3	119,09	31,69	258,34	±60,29	19,06
C3	114,86	20,94	243,63	±72,15	22,81
C3.4	235,76	35,98	567,31	±160,75	50,83
C4	161,12	105,30	265,71	±50,78	16,06
C5	172,70	56,42	841,85	±237,42	75,08
C6	104,40	35,70	146,47	±39,06	12,35

El contenido medio de carbono total por comunidad vegetal fue mayor en las comunidades arbustivas C3.4 con 257,40 t ha⁻¹ y C4 con 190,22 t ha⁻¹. El menor contenido medio de carbono total se presentó en la comunidad arbustiva C2 con 115,77 t ha⁻¹ (ver Tabla 7).

Tabla 7. *Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal*

Comunidad Vegetal	Media	Mínima	Máxima	Desviación Estándar	Error Estándar
C1	168,46	38,20	434,26	±123,13	38,93
C2	115,77	42,80	232,93	±63,16	19,97
C2.3	129,85	40,66	268,82	±60,72	19,20
C3	131,04	38,91	264,67	±73,60	23,27
C3.4	257,40	84,85	575,88	±155,77	49,26
C4	190,22	126,37	293,72	±51,60	16,32
C5	179,61	69,20	849,82	±237,83	75,21
C6	132,55	59,13	185,75	±44,69	14,13

La distribución del contenido de carbono en los compartimentos biomasa, necromasa, suelo y carbono total por comunidades vegetales se observa en la figura 4, donde el compartimento de biomasa (ver Figura 4a) al igual que en la tabla 6 descrita anteriormente, presenta mayor contenido de carbono en la comunidad arbustiva C4 y el menor contenido de carbono en la comunidad herbácea C1. En todas las comunidades se presentó una distribución asimétrica positiva, es decir en la mayoría de las muestras los contenidos de carbono son superiores a la media de la comunidad (Villafranca & Ramajo, 2013). La comunidad herbácea C1 y las comunidades arbustivas C2, C2.3 y C6 presentaron valores atípicos “Outliers y Extremos” en los bigotes. Los valores atípicos son valores numéricamente distantes al resto de los datos del mismo grupo, es así que los Outliers representan a las muestras cuyo valor es 1,5 veces superior al rango intercuartíl (representa al 50% de los datos en la caja). Los Extremos presentan muestras con valores 3 veces superior al rango intercuartíl (García & Uribe, 2013). Por último la comunidad arbustiva C4 presentó mayor variabilidad de los datos, con valores de carbono más dispersos en la comunidad.

En el compartimento necromasa (ver Figura 4b) de igual manera a la tabla 7, la comunidad arbustiva C6 presentó el mayor contenido de carbono y la comunidad herbácea C5 el menor contenido de carbono. En todas las comunidades se presentó una distribución asimétrica positiva y valores atípicos a excepción de las comunidades arbustivas C2 y C6, y la comunidad herbácea C5. La comunidad 6 presentó una mayor variabilidad de los datos.

Con respecto al suelo (ver Figura 4c) el mayor contenido de carbono se presentó en la comunidad arbustiva C3.4, y el menor contenido de carbono en la comunidad arbustiva C2 al igual que la tabla 8. En casi todas las comunidades se presentó una distribución asimétrica positiva con excepción de la comunidad arbustiva C6 que tuvo una distribución asimétrica negativa, es decir en la mayoría de las muestras los contenidos de carbono son inferiores a la media de la comunidad (Villafranca & Ramajo, 2013). Así mismo la comunidad herbácea C5 presentó dos valores atípicos y la comunidad arbustiva C3.4 la de mayor variabilidad.

Por último, la mayor cantidad de carbono total (ver Figura 4d) se presentó en la comunidad arbustiva C3.4 mientras que la menor se observó en la comunidad arbustiva C2. Al igual que en el compartimento suelo, la comunidad arbustiva C6 presentó una distribución asimétrica negativa y las demás comunidades una distribución asimétrica positiva, la comunidad herbácea C5 dos valores atípicos y la comunidad arbustiva C3.4 mayor variabilidad.

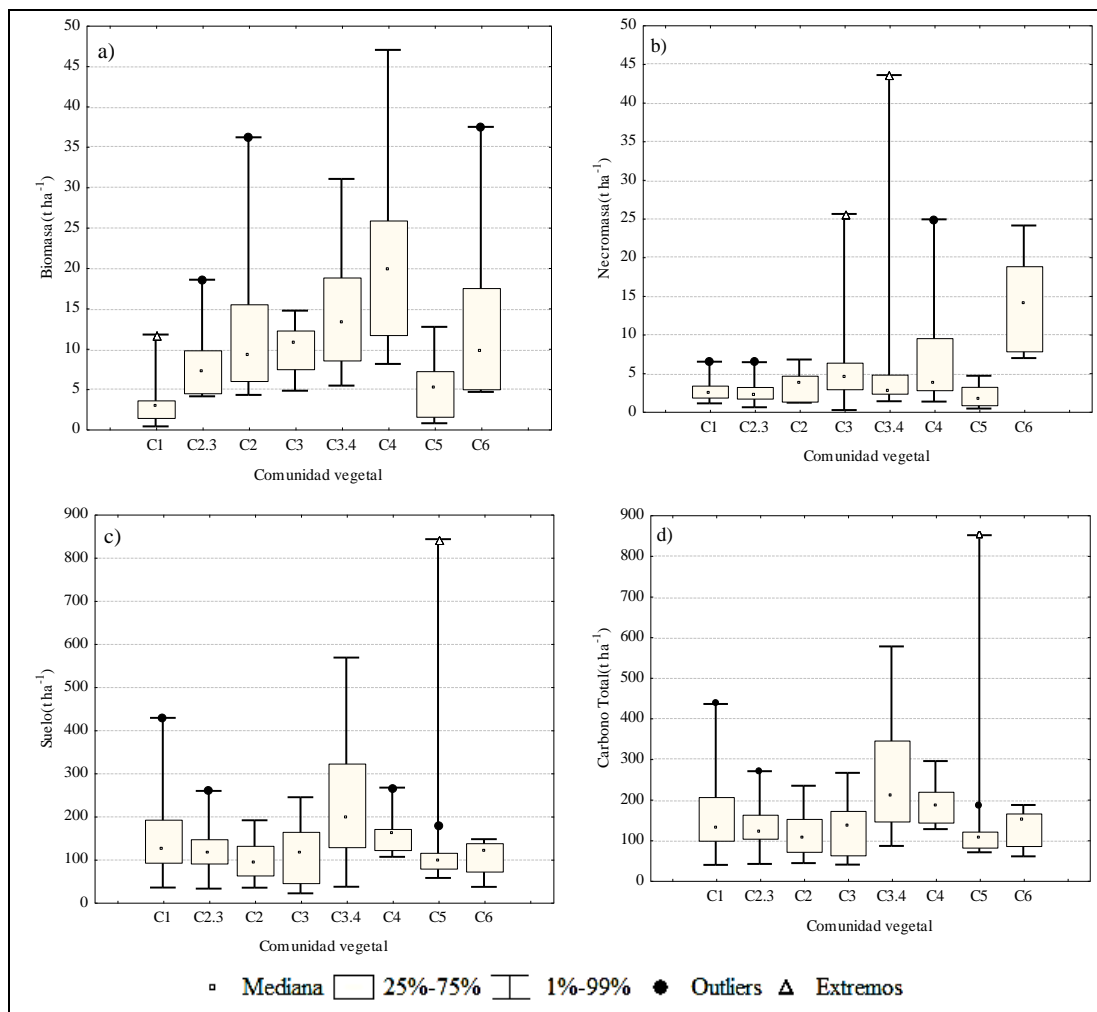


Figura 4. Box Plot del contenido de Carbono en todos los compartimentos por comunidades vegetales. a) Biomasa, b) Necromasa, c) Suelo y d) Carbono Total.

Elaboración propia

En la prueba de comparación de medias de Montecarlo, en el compartimento biomasa (ver Tabla 8), la media de carbono de la comunidad arbustiva C4 presentó diferencias significativas con la mayoría de las comunidades a excepción de las comunidades arbustivas C3.4, y C6. La mayor diferencia significativa la presentó con las comunidades herbáceas C1 y C5. La comunidad herbácea C1 tuvo una diferencia significativa con las comunidades arbustivas C3, C6 y C2. Por último la comunidad herbácea C5 tuvo una diferencia significativa con las comunidades arbustivas C6 y C3.4.

Tabla 8. *Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el compartimento de Biomasa ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal*

	C1	C2	C2-3	C3	C3-4	C4	C5	C6
C1	-							
C2	-8,60	-						
C2.3	-4,89	3,70	-					
C3	-6,70	1,89	-1,81	-				
C3.4	-11,21	-2,62	-6,32	-4,51	-			
C4	-18,38	-9,78	-13,49	-11,68	-7,17	-		
C5	-1,55	7,04	3,34	5,15	9,66	16,82	-	
C6	-10,38	-1,78	-5,49	-3,68	0,83	8,00	-8,83	-

En el compartimento de necromasa (ver Tabla 9), la comunidad arbustiva C6 tuvo una diferencia significativa con todas las comunidades. La mayor diferencia significativa la presentó con la comunidad herbácea C5 y la comunidad arbustiva C2.3.

Tabla 9. *Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el compartimento de Necromasa ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal*

	C1	C2	C2-3	C3	C3-4	C4	C5	C6
C1	-							
C2	-0,56	-						
C2.3	0,25	0,81	-					
C3	-3,36	-2,80	-3,61	-				
C3.4	-4,32	-3,76	-4,57	-0,97	-			
C4	-4,61	-4,05	-4,86	-1,25	-0,29	-		
C5	0,76	1,32	0,51	4,11	5,08	5,37	-	
C6	-11,66	-11,10	-11,91	-8,30	-7,33	-7,05	-12,42	-

Con respecto al suelo (ver Tabla 10), la C3.4 tuvo una diferencia significativa con la mayoría de las comunidades vegetales a excepción de la comunidad arbustiva C4 y las comunidades herbáceas C1 y C5. La mayor diferencia significativa se presentó con las comunidades arbustivas C2 y la C6.

Tabla 10. *Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el compartimento de Suelo ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal*

	C1	C2	C2-3	C3	C3-4	C4	C5	C6
C1	-							
C2	61,86	-						
C2.3	43,26	-18,60	-					
C3	47,49	-14,37	4,23	-				
C3.4	-73,41	-135,26	-116,66	-120,89	-			
C4	1,23	-60,63	-42,03	-46,25	74,64	-		
C5	-10,35	-72,21	-53,61	-57,84	63,06	-11,58	-	
C6	57,95	-3,91	14,69	10,46	131,36	56,72	68,30	-

Por último en el carbono total (ver Tabla 11), al igual que en la Tabla 12 la comunidad arbustiva C3.4 tuvo una diferencia significativa con la mayoría de las comunidades vegetales a excepción de las comunidades herbáceas C1 y C5 y la comunidad arbustiva C4, pero la mayor diferencia significativa se presentó con las comunidades arbustivas C2 y C2.3.

Tabla 11. *Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) por comunidad vegetal*

	C1	C2	C2-3	C3	C3-4	C4	C5	C6
C1	-							
C2	52,70	-						
C2.3	38,61	-14,09	-					
C3	37,43	-15,27	-1,19	-				
C3.4	-88,94	-141,64	-127,55	-126,37	-			
C4	-21,76	-74,46	-60,37	-59,18	67,18	-		
C5	-11,15	-63,85	-49,76	-48,57	77,80	10,61	-	
C6	35,91	-16,79	-2,70	-1,52	124,85	57,67	47,06	-

En la prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y los compartimentos de biomasa, necromasa y suelo (ver Figura 5a y 5b), se observó una correlación positiva alta entre el contenido de carbono en el suelo ($r=0,89-r=1$) y el contenido de carbono total en todas las 8 comunidades vegetales. Particularmente en la comunidad arbustiva C2 existió una correlación positiva moderada entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa ($r=0,62$) y necromasa ($r=0,54$). En cambio en las comunidades arbustivas C3 y C4 existió una correlación negativa media entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la necromasa ($r=-0,27$). Por último en la comunidad herbácea C5 se

observó una correlación positiva baja entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la necromasa ($r=0,001$).

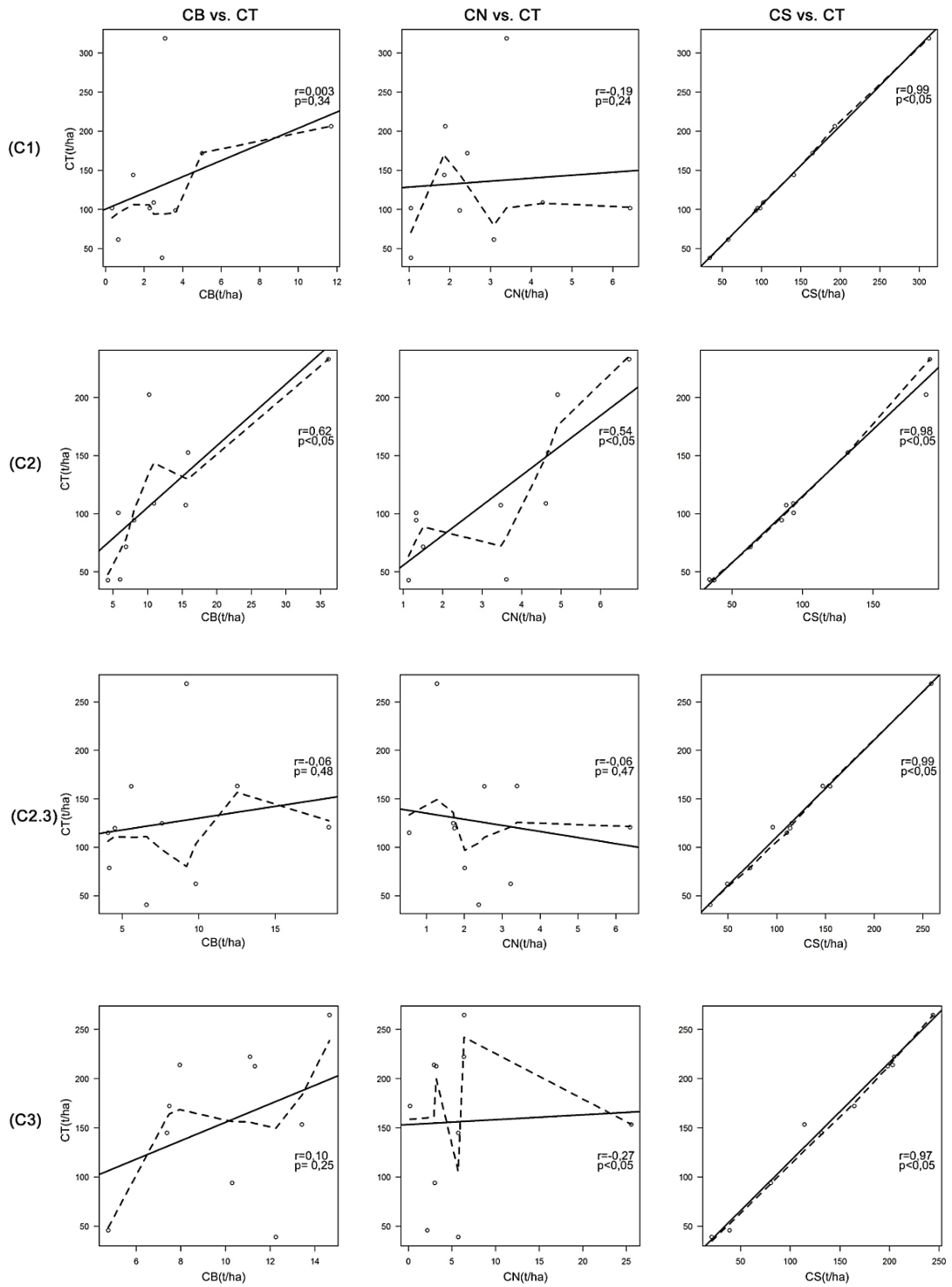


Figura 5a: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo en la C1, C2, C2.3 y C3.

Elaboración propia

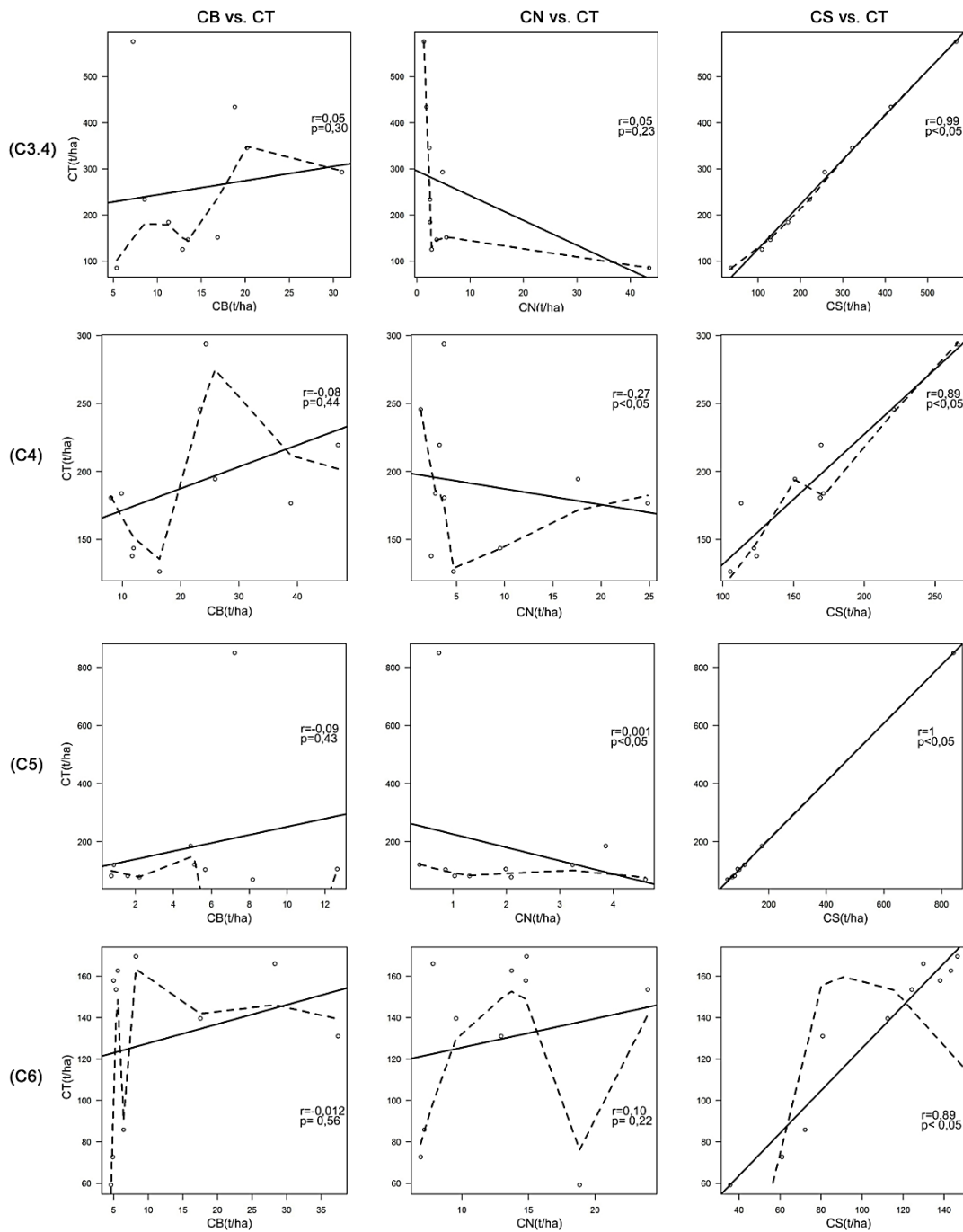


Figura 5b: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo en la C3.4, C4, C5 y C6.

Elaboración propia

4.1.3. Análisis del contenido de carbono por tipo de páramo.

El contenido medio de carbono en los compartimentos de biomasa y necromasa (ver Tabla 12), fue considerablemente mayor en el páramo arbustivo en comparación al páramo herbáceo, pero en su contenido medio de carbono en el suelo y el contenido de carbono total fue superado por el páramo herbáceo. En los dos tipos de páramo el compartimento suelo fue el mayor aportante de contenido medio de carbono con 96% y 87% al contenido medio total de carbono herbáceo y arbustivo respectivamente.

Tabla 12. *Contenido de carbono ($t\ ha^{-1}$) por compartimentos y tipo de páramo*

Compartimento	Tipo	Media	Mínima	Máxima	Desviación Estándar	Error Estándar
Biomasa	Herbáceo	4,12	0,32	12,64	±3,52	0,79
	Arbustivo	13,37	4,05	46,94	±9,52	1,23
Necromasa	Herbáceo	2,38	0,37	6,42	±1,55	0,35
	Arbustivo	6,80	0,17	43,50	±8,07	1,04
Suelo	Herbáceo	167,52	34,24	841,85	±183,79	41,09
	Arbustivo	139,29	20,94	567,31	±93,06	12,01
Carbono Total	Herbáceo	173,68	38,20	849,82	±184,40	41,23
	Arbustivo	159,12	38,91	575,88	±94,48	12,19

En la distribución de los contenidos de carbono en los compartimentos de biomasa, necromasa, suelo y carbono total por tipo de páramo (ver Figura 6), se observó una distribución asimétrica positiva para todos los compartimentos. En el compartimento de biomasa (ver Figura 6a) y necromasa (ver Figura 6b) el páramo arbustivo presentó un mayor contenido de carbono, con una mayores valores atípicos y mayor variabilidad con respecto al páramo herbáceo. En cambio en el compartimento de suelo (ver Figura 6c) y carbono total (ver Figura 6d) el contenido de carbono páramo arbustivo es superando por el páramo herbáceo, y este último presentó una mayor variabilidad de contenido de carbono para ambos compartimentos.

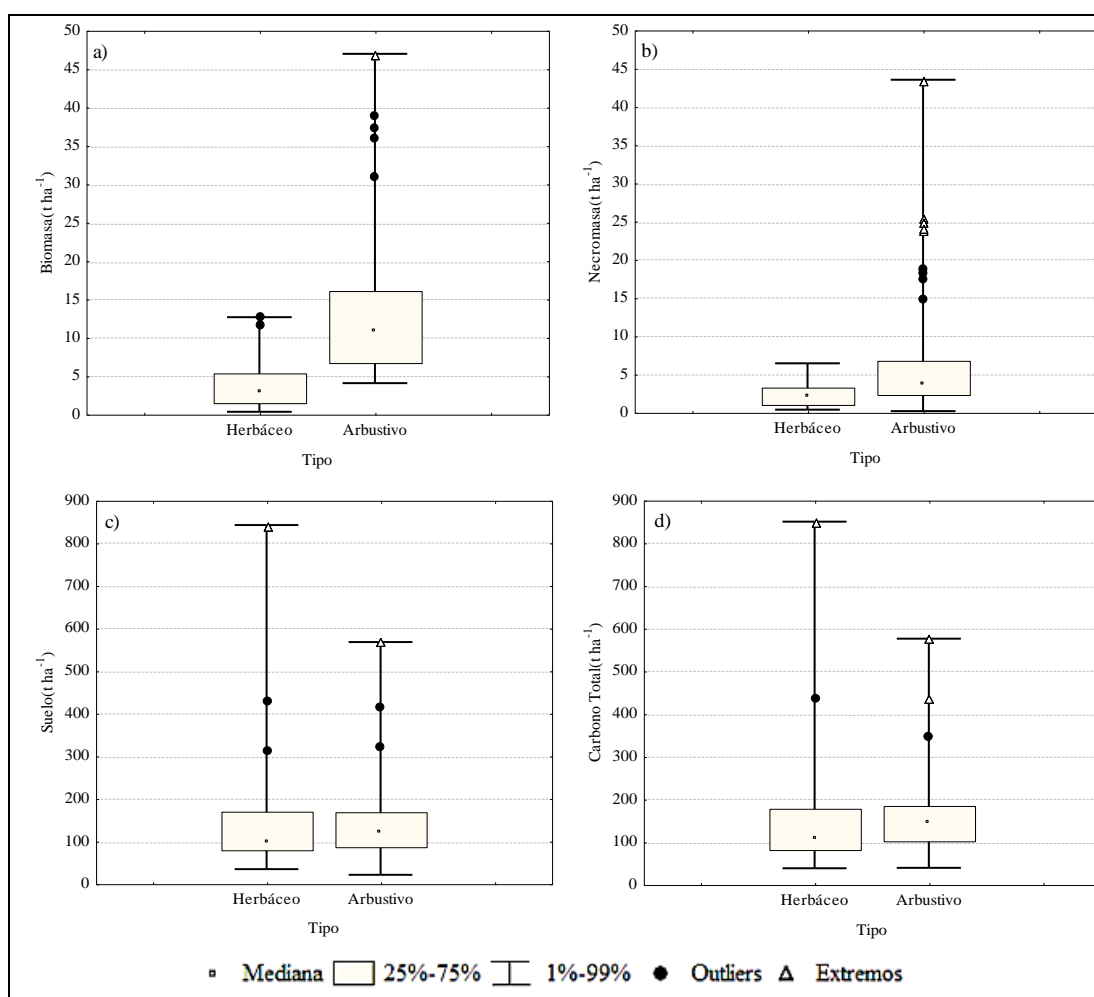


Figura 6. Box Plot del contenido de Carbono en todos los compartimentos por tipo de páramo. a) Biomasa, b) Necromasa, c) Suelo y d) Carbono Total
Elaboración propia

El mayor contenido medio de carbono en el páramo herbáceo y arbustivo se presentó en el compartimento de suelo (ver Tabla 13 y 14), donde la mayor diferencia significativa la tuvo con el compartimento de necromasa seguido por la biomasa, tendencia que se repitió con el contenido de carbono total.

Tabla 13. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono (t ha⁻¹) por páramo herbáceo

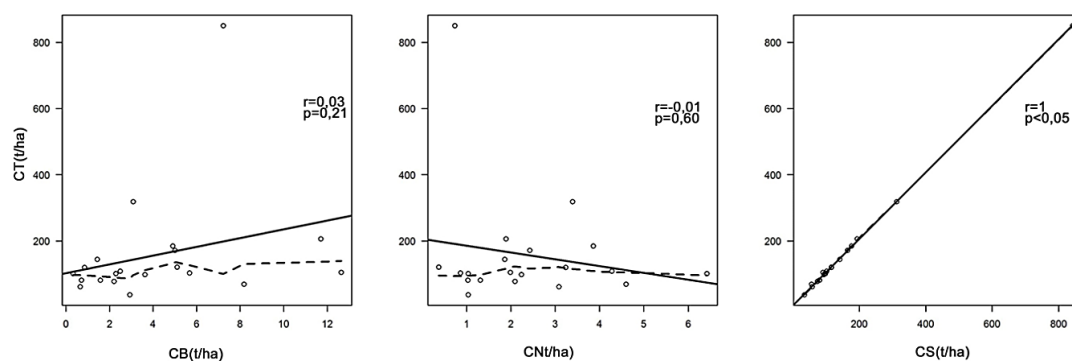
	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
Biomasa	-			
Necromasa	1,74	-		
Suelo	-163,40	-165,15	-	
Carbono Total	-169,92	-171,66	-6,52	-

Tabla 14. Prueba de comparación de medias de Montecarlo en el contenido de carbono ($t\ ha^{-1}$) por páramo arbustivo

	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
Biomasa	-			
Necromasa	6,57	-		
Suelo	-125,92	-132,49	-	
Carbono Total	-146,11	-152,68	-20,19	-

En la prueba de correlación de Mantel entre los compartimentos de biomasa, necromasa y suelo con el carbono total por tipo de páramo (ver Figura 7), se observó que tanto en el páramo herbáceo como en el páramo arbustivo existió una correlación positiva alta entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en el suelo ($r=0,98-r=1$). Para los demás compartimentos no se presentó ninguna correlación significativa.

Páramo Herbáceo



Páramo Arbustivo

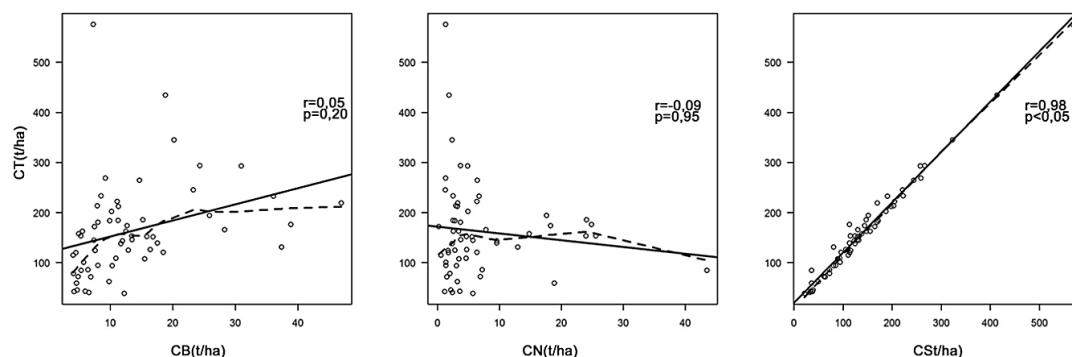


Figura 7: Prueba de correlación de Mantel entre el contenido de carbono total y el contenido de carbono en la biomasa, necromasa y suelo por tipo de páramo

Elaboración propia

4.2. Conocer la distribución espacial de los contenidos de carbono total del páramo del PNP.

En la distribución espacial de los contenidos de carbono en el compartimento biomasa (ver Figura 8), fue uniforme en todo el ecosistema páramo, donde se encontraron valores bajos entre 0,32 y 6 t ha⁻¹ y valores altos mayores a 27 t ha⁻¹ en todo el ecosistema, pero en la mayoría de superficie se observó valores comprendidos entre 10 y 16 t ha⁻¹.

En el compartimento de necromasa (ver Figura 9), existió una mayor distribución de los contenidos bajos de carbono comprendido entre 0,17 y 6 t ha⁻¹ en todo el ecosistema páramo, con valores superiores a 6 t ha⁻¹ en un pequeño sector en el centro del páramo.

Con respecto al compartimento de suelo (ver Figura 10), los mayores contenidos de carbono con valores superiores a 189 t ha⁻¹, se presentaron en el sector de las “Lagunas del Compadre”, en cambio los menores contenidos de carbono comprendidos entre 21,04 y 128 t ha⁻¹ se observaron en el norte y sur del ecosistema páramo.

Por último en el contenido total de carbono total (ver Figura 11), al igual que en el compartimento suelo, el menor contenido de carbono comprendido entre 38,26 y 150 t ha⁻¹ se encontró en el norte y sur del ecosistema páramo, y en el sector de las “Lagunas del Compadre” se presentaron los mayores contenidos de carbono con valores superiores a 215 t ha⁻¹.

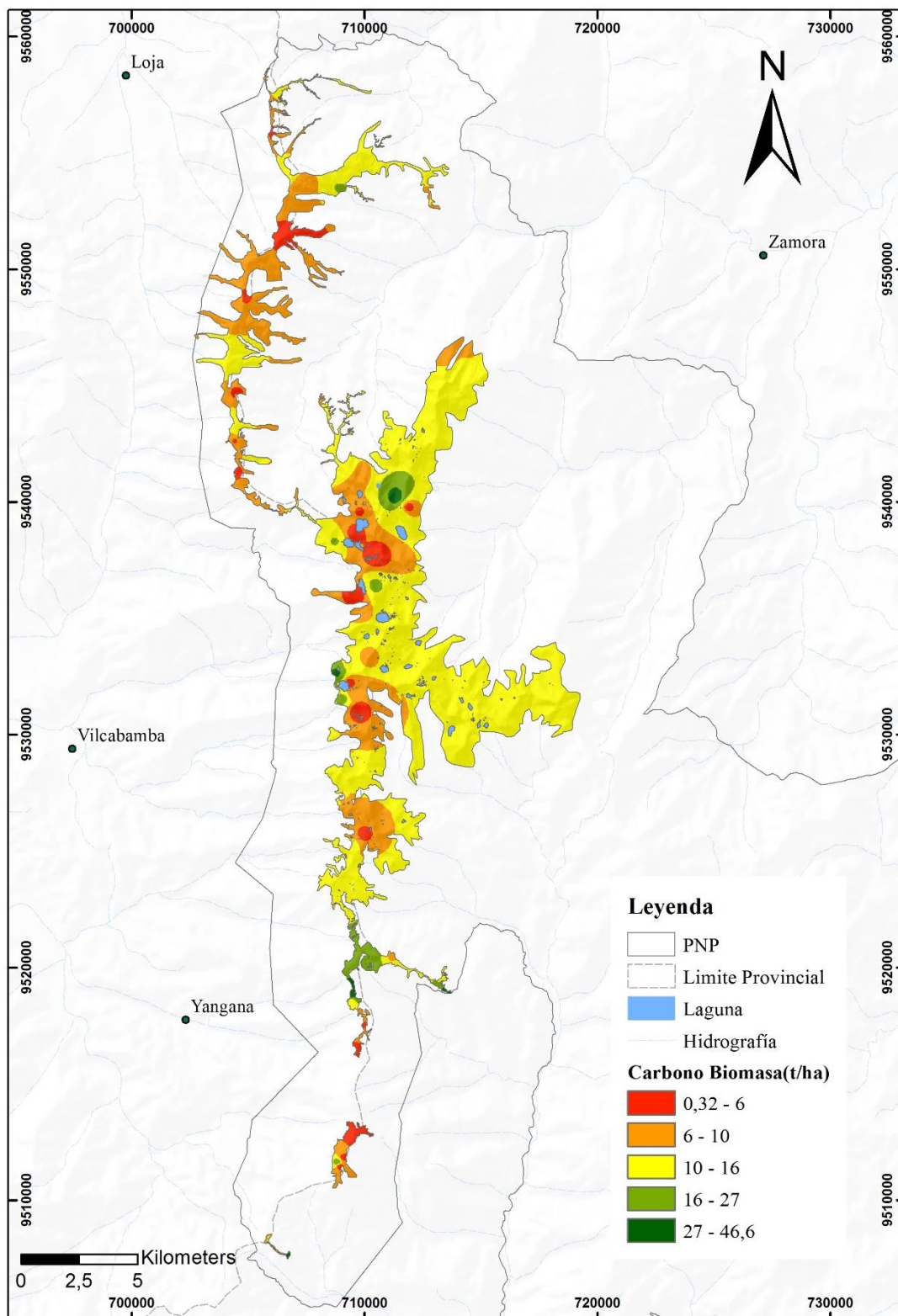


Figura 8: Distribución espacial del contenido de carbono en el compartimento de Biomasa del ecosistema páramo del PNP.

Elaboración propia

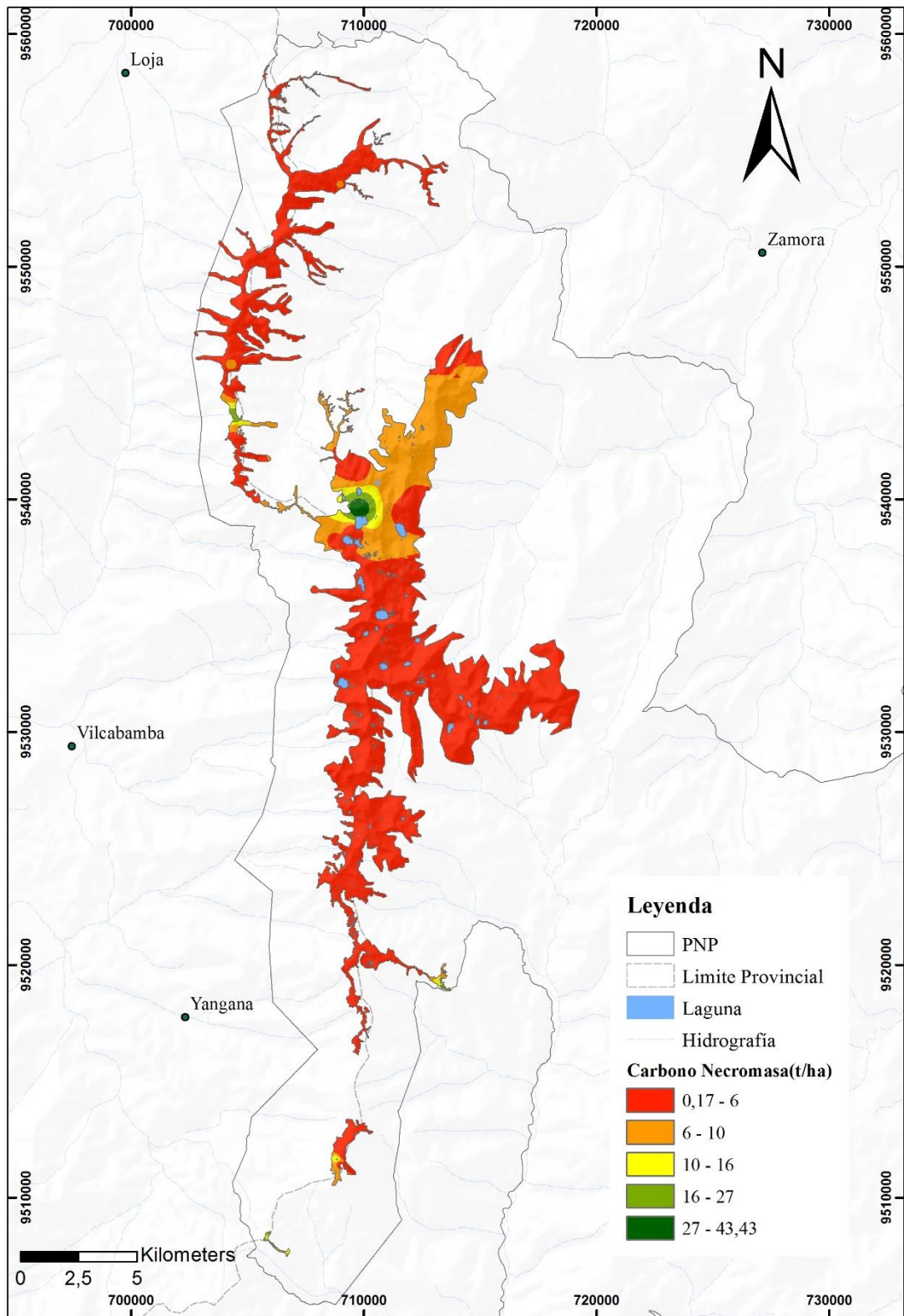


Figura 9: Distribución espacial del contenido de carbono en el compartimento de Necromasa del ecosistema páramo del PNP.

Elaboración propia

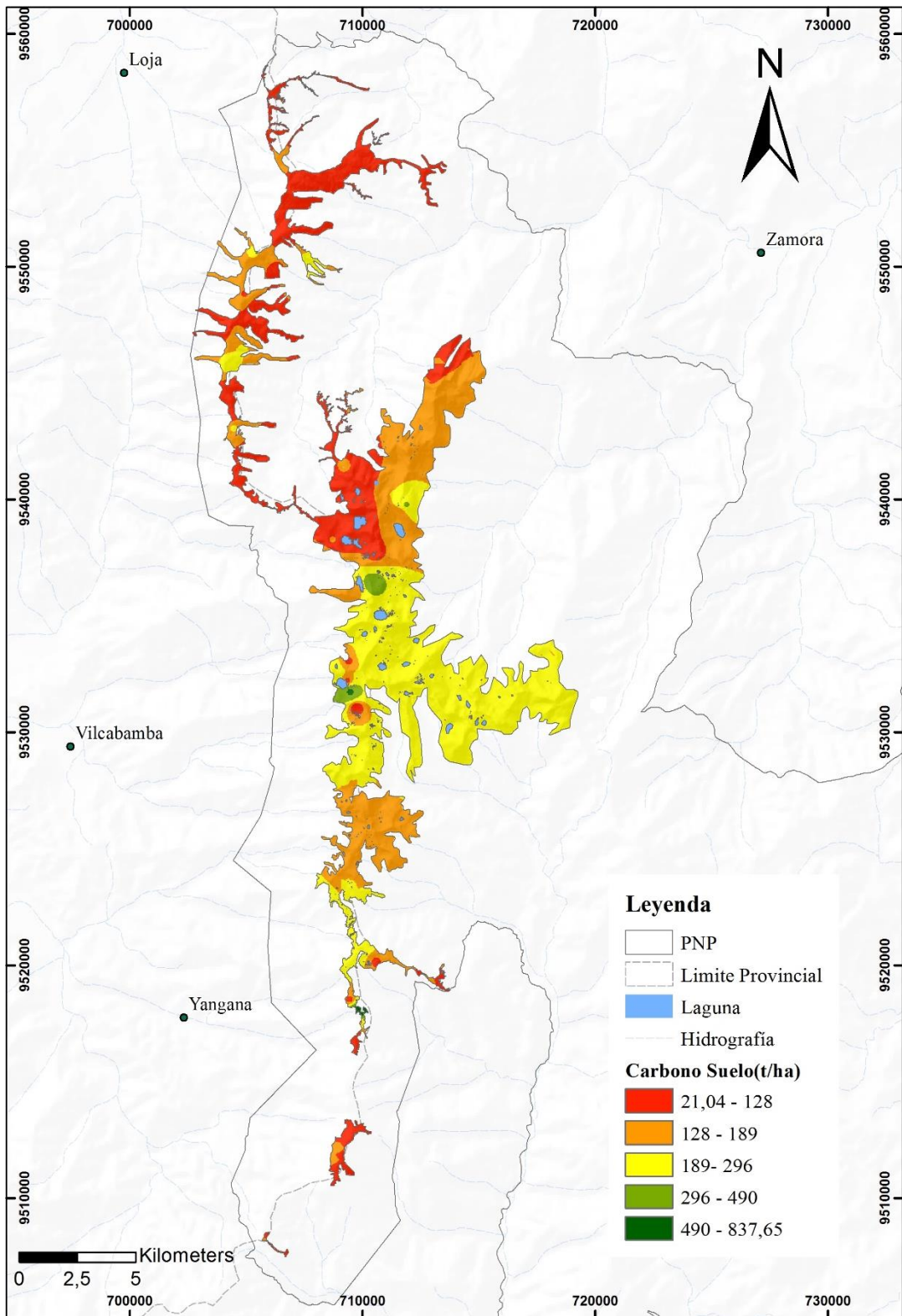


Figura 10: Distribución espacial del contenido de carbono en el compartimento de Suelo del ecosistema páramo del PNP.

Elaboración propia

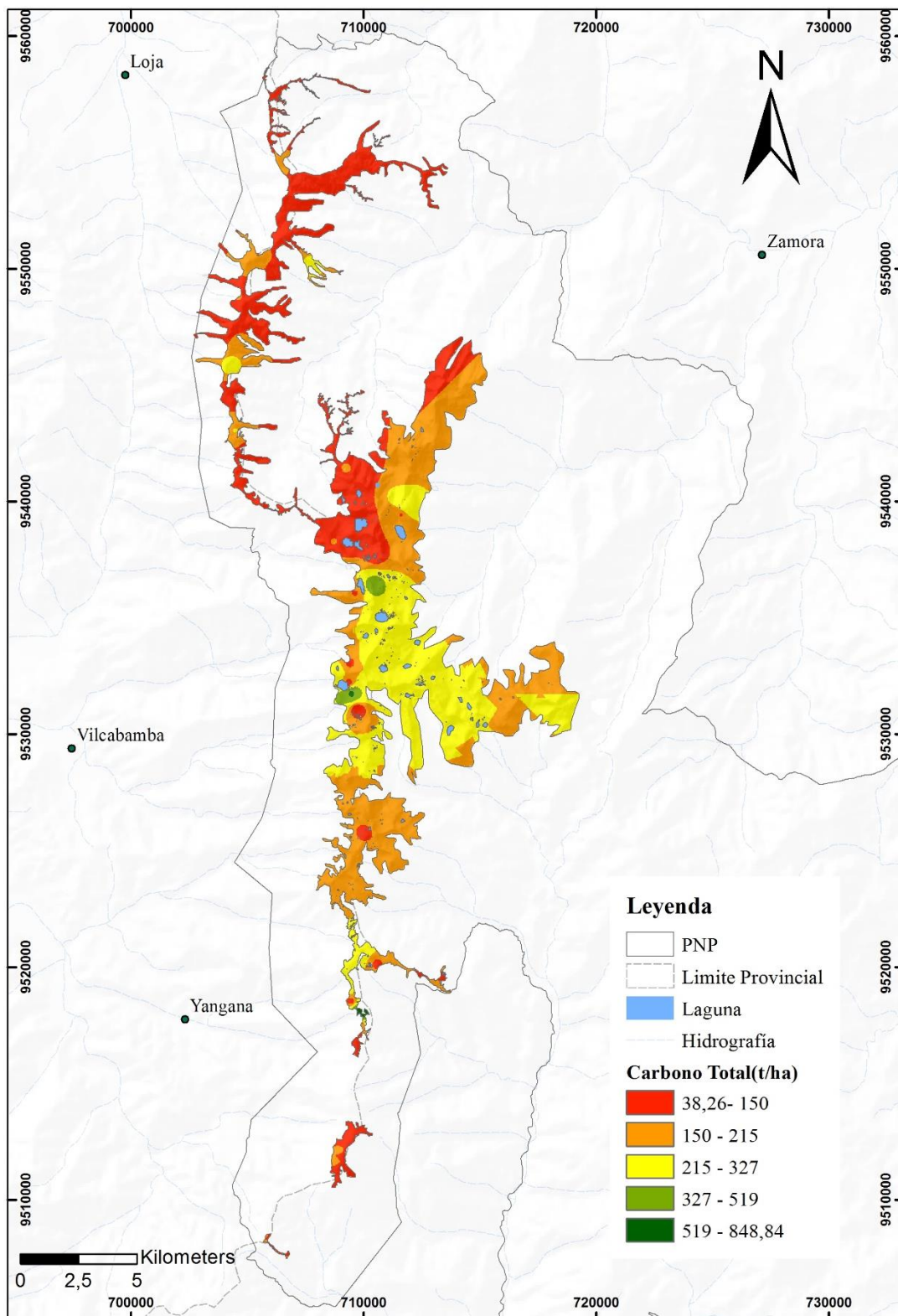


Figura 11: Distribución espacial del contenido de carbono total del ecosistema páramo del PNP.
Elaboración propia

En la prueba de correlación de Spearman simple y con modelos nulos (ver Figura 12), del porcentaje de carbono con variables ambientales y físicas del suelo, se observó que en la correlación de Spearman simple (a), existe una correlación positiva media entre el %C y la altitud ($r_s=0,45$), así mismo una correlación negativa media con la temperatura ($r_s=-0,47$). En cambio con las variables físicas del suelo, existió una correlación positiva moderada y alta con el porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo ($r_s=0,64$) y con el porcentaje de humedad de suelo a saturación ($r_s=0,79$) respectivamente.

En la correlación de Spearman utilizando modelos nulos (b), solo existió una correlación positiva media con el porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo ($r_s=0,26$) y con el porcentaje de humedad de suelo a saturación ($r_s=0,50$) respectivamente.

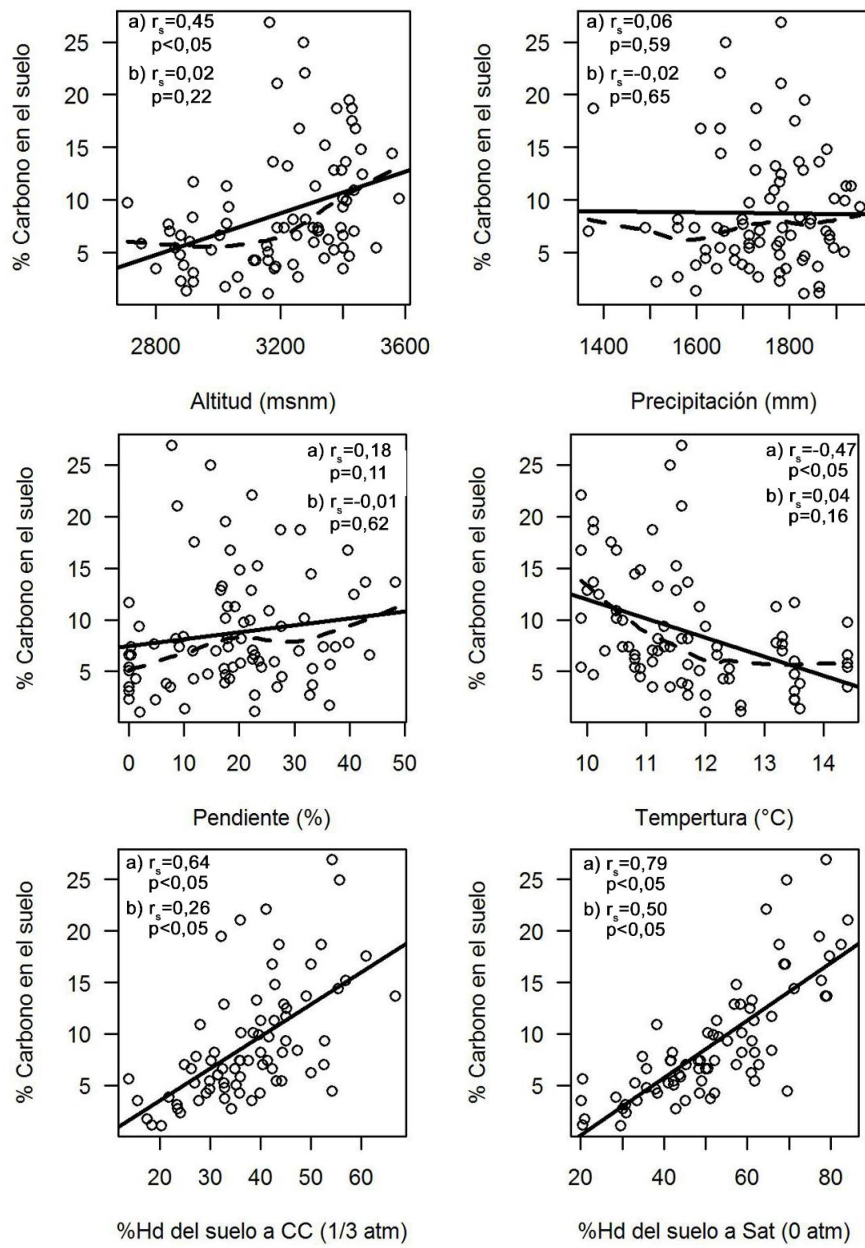


Figura 12: Grado de correlación entre el %C y variables ambientales y físicas del suelo del ecosistema páramo. a) Correlación de Spearman simple vs. Correlación de Spearman con modelos nulos.

Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

5.1. Cuantificar los contenidos de carbono total (sobre suelo, necromasa y suelo) del páramo del PNP.

El suelo es considerado como un sistema regulatorio crítico y dinámico que genera múltiples funciones que a su vez brindan servicios ecosistémicos (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016). La gran parte de investigaciones realizadas en este tema están relacionados a almacenamiento de carbono, biota del suelo, ciclaje de nutrientes y retención de agua (Ghaley, Porter, & Sandhu, 2014; Krishnaswamy, Bonell, Venkatesh, Purandara, Rakesh, Lele, Kiran, Reddy, & Badiger, 2013; Williams & Hedlund, 2013), además de estudios sobre la dinámica espacial de las propiedades del suelo con modelaciones de escenarios de cambios futuros tomando en cuenta la cobertura vegetal y uso del suelo (Plieninger, Dijks, Oteros-Rozas, & Bieling, 2013; Schägner, Brander, Maes, & Hartje, 2013), especialmente en zonas con escasos de datos (Vrebos, Staes, Vandenbroucke, Johnston, Muhumuza, Kasabeke, & Meire, 2015). No obstante muy pocos trabajos se basan en información generada en campo (Guerra, Pinto-Correia, & Metzger, 2014). Por tal razón, es de vital importancia conocer la funcionalidad del suelo, sus amenazas, y los servicios ecosistémicos que brinda, para entender no solo el estado de los ecosistemas sino para plantear estrategias de restauración (Costantini, 2016; Muñoz-Rojas, Erickson, Dixon, & Merritt, 2016). Para este fin son empleados indicadores del suelo sensibles a cambios, como por ejemplo: el pH, contenido de materia orgánica (MOS), nitrógeno total y fósforo (P_2O_5), densidad aparente (d_a), estabilidad de agregados, ciclaje de nutrientes, almacenamiento de agua, almacenamiento de carbono, actividad microbiana, entre otros (Costantini, 2016; Stefanoski, Figueiredo, Santos, & Marchão, 2016).

El carbono en el suelo se encuentra en la hojarasca, la biomasa y el denominado “carbón negro”, es decir en el suelo propiamente dicho. Éste último almacena dos veces más carbono que la atmósfera y su vez ésta almacena casi el doble de lo que almacena la vegetación. Por lo tanto, el suelo almacena cuatro veces más carbono que la vegetación (Crowther *et al.*, 2016; Jandl, 2005; Pérez-Ramírez, Ramírez, Jaramillo-López, & Bautista, 2013). Tal es el caso del contenido total de carbono en el

ecosistema páramo del PNP, donde el suelo aportó en promedio el 90% del carbono total con una correlación positiva alta ($r=0,99$), tendencia que se repite al analizar el contenido de carbono por tipo de páramo, ya que también se observó una correlación positiva alta en el páramo arbustivo ($r=1$) y herbáceo ($r=0,98$), que aportan con el 87% y 96% al contenido de carbono total respectivamente. De igual manera por cada comunidad vegetal el compartimento suelo aporta la mayor cantidad de carbono al carbono total con correlaciones positivas altas ($r>0,80$).

Esta tendencia es similar a la reportada en estudios realizados. En el sector Cajanuma del PNP el suelo aportó más del 90% al contenido de carbono total (Santín Aguirre & Vidal González, 2012), en el Parque Nacional Yacuri (PNY) la vegetación solo contribuyó una cuarta parte al contenido de carbono total (Banwart, Noellemeyer, & Milne, 2014). De igual manera en estimaciones de carbono realizadas a nivel de país (Bertzky, Ravilious, Araujo Navas, Kapos, Carrión, Chiu, & Dickson, 2011).

Es así que en el ecosistema páramo del PNP los compartimentos biomasa y necromasa aportan con menos del 10% al contenido de carbono total y presentan una mínima correlación con el contenido de carbono en el suelo. Es decir en este tipo de ecosistemas, la biomasa y necromasa no tiene un aporte significativo, lo cual concuerda con reportes de otras investigaciones (Ayala *et al.*, 2014; Hontoria, Rodríguez-Murillo, & Saa, 2004).

En el contenido de carbono por tipo de páramo, se evidenció que el páramo herbáceo tiene mayor contenido de carbono total que el páramo arbustivo, con $173,68 \text{ t ha}^{-1}$ y $159,12 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente. Resultados similares han sido reportados en el PNY, donde igualmente no determinó diferencias significativas (Ayala *et al.*, 2014). Estos datos contrastan con los datos encontrados en el sector Cajanuma, donde a pesar de que el contenido de carbono en el páramo arbustivo sigue siendo mayor que el herbáceo, si se presentan diferencias significativas ($p=0,03$) (Eguiguren, Santín, Vidal, & Aguirre, 2015).

El páramo arbustivo presentó mayores contenidos de carbono tanto en la biomasa con $13,37 \text{ t ha}^{-1}$ de carbono, como en la necromasa con $6,80 \text{ t ha}^{-1}$ de carbono,

con respecto al páramo herbáceo que presentó 4,12 t ha⁻¹ y 2,38 t ha⁻¹ de carbono para biomasa y necromasa respectivamente.

De igual forma, al analizar el contenido de carbono en la biomasa y necromasa por comunidad vegetal, las comunidades arbustivas C4 (*Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP*) y C6 (*Páramo arbustivo de Sabanilla*) obtuvieron mayores contenidos de carbono en la biomasa y necromasa respectivamente, presentando mayores diferencias significativas con las comunidades herbáceas C1 (*Páramo herbáceo de bambúes*) y C5 (*Páramo herbáceo con Chusquea nana*). Estas comunidades presentaron la vegetación más densa de las seis comunidades arbustivas (ver Anexo 1) con especies características como *Arcytophyllum setosum*, *Bomarea dissitifolia*, *Chusquea loxensis* y *Miconia media* para la comunidad arbustiva C4 y *Persea brevipes*, *Pitcairnia trianae* y *Weinmannia ovalis* para la comunidad arbustiva C6. Esta última además de su densidad se distingue por su altura sobresaliente frente al resto de comunidades (Herbario, 2000).

Por último, en el contenido de carbono en el compartimento suelo por comunidades vegetales, los mayores contenidos se distribuyen entre comunidades herbáceas y arbustivas, siendo la comunidad arbustiva C3.4 (*Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP*) la de mayor contenido de carbono, seguido por las comunidades herbáceas C1 y C5, que adicionalmente presentan menores valores de densidad aparente (<0,6 g cm⁻³), mayores valores de %C, profundidad del suelo promedio de 40 cm (ver Anexo 9) que están íntimamente relacionadas con mayor contenido de carbono y alta retención de humedad en el suelo (Castañeda, Alvarado, & Segura, 2013; Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008; Muñiz, Alarcón, & Barceló, 2011; Salamanca & Sadeghian, 2006).

Estas comunidades se encuentran en el centro del páramo, donde no existe actividad antrópica, que es un factor responsable de aproximadamente del almacenamiento del 50% del carbono en el suelo (Beltrán *et al.*, 2009; Hernández, Torres, & Hernández, 2014; Hontoria *et al.*, 2004). En cambio en las comunidades arbustivas C2 (*Páramo arbustivo del norte del PNP*), C2.3 (*Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*), C3 (*Páramo*

arbustivo denso del Centro-Norte del PNP) y la C6, que se ubican en los extremos del páramo se encontraron los menores contenidos de carbono, datos que coinciden con los valores bajos de carbono encontrados en el sector de Cajanuma. Estas zonas son más vulnerables, por su fácil acceso, lo que las hace propensas a intervenciones humanas (Santín Aguirre & Vidal González, 2012).

En el PNP el contenido medio de carbono total es $163,11 \text{ t ha}^{-1}$, que está dentro de la media nacional para este tipo de ecosistemas que va $136,4 \text{ t ha}^{-1}$ a $206,8 \text{ t ha}^{-1}$ (Hofstede *et al.*, 2003) Valores similares a países como España y Uganda (Ward, Dargusch, Thomas, Liu, & Fulton, 2014) y a los reportados por el MAE que están entre 154 t ha^{-1} y 210 t ha^{-1} (Bertzky *et al.*, 2011).

5.2. Conocer la distribución espacial de los contenidos de carbono total del páramo del PNP.

La distribución de los contenidos de carbono total, al igual que en el compartimento suelo, presenta mayores contenidos en el centro del ecosistema páramo (C3.4, C1) donde se encuentran los sistemas lacustres de las “Lagunas del Compadre”. Estos son resultados propios de páramos andinos, pues estos sistemas lacustres presentan características como: mayores contenidos de carbono, alta humedad en el suelo, bajos valores de densidad aparente y escaso drenaje, como consecuencia de la constante deposición de biomasa, que a su vez es resultado de la absorción de la vegetación de CO_2 para la fotosíntesis, convirtiéndolo en carbono sólido (biomasa), que puede permanecer como parte de vegetación viva o muerta y concluirá su proceso de transformación a carbono orgánico en el suelo. Estas características contribuyen a condiciones anaeróbicas y bajas tasas de degradación que favorecen el almacenamiento de carbono (Marulanda & Villa, 2016; Roa-García & Brown, 2016; Warner, Aravena, & Moreno-Casasola, 2005).

Los humedales son importantes fuentes y sumideros de carbono. Almacenan aproximadamente entre el 15 y 30% del carbono total terrestre en el suelo, así mismo almacena carbono en la biomasa y necromasa (Kayranli, Scholz, Mustafa, & Hedmark, 2010; Limpens, Berendse, Blodau, Canadell, Freeman, Holden, Roulet, Rydin, &

Schaepman-Strub, 2008; Warner *et al.*, 2005). Tal es el caso de la comunidad 5: Páramo herbáceo con *Chusquea nana*, que presentó valores atípicos en su distribución en Figura 4c y 4d, descrita anteriormente, esto debido a que solamente dos muestras de esta comunidad de las tomaron cerca a los humedales de las “Lagunas del Compadre”, con contenidos de carbono superiores a los 185 t ha⁻¹.

Es importante destacar que el tipo de vegetación no influye en el contenido de carbono en estos sistemas lacustres, pues el almacenamiento de carbono en suelos de humedales con vegetación herbácea y arbustiva no presenta diferencias significativas. (Moreno-Casasola, López, & Garza, 2001; Roa-García & Brown, 2016). Tal como fue el caso en el ecosistema páramo del PNP, donde el páramo arbustivo tuvo una media de 159,12 t ha⁻¹ y el páramo herbáceo 173,68 t ha⁻¹.

La captura y retención del carbono en el suelo depende de factores como la pendiente, densidad aparente, profundidad, entre otros; y a su vez está limitado por factores climáticos como la temperatura y humedad (Pérez-Ramírez *et al.*, 2013). En diversos estudio se ha comprobado que existe mayor correlación entre el %C y las variables climáticas como precipitación y temperatura, responsables del 37% de variabilidad del contenido de carbono, sin embargo otras variables como la altitud y la pendiente solo son responsables de un 9% del contenido de carbono (Hontoria *et al.*, 2004).

Como ya se mencionó, el almacenamiento de carbono depende de las condiciones climáticas y los cambios en la temperatura, tenido esta última una correlación negativa con el contenido de carbono en el suelo (Longbottom, Townsend-Small, Owen, & Murari, 2014; Mogollón, Rivas, Martínez, Campos, & Márquez, 2016; Pérez-Ramírez *et al.*, 2013). Es así que en el ecosistema páramo del PNP se encontró una correlación negativa moderada ($r_s = -0,47$), propio de este tipo de ecosistemas con temperatura bajas (Qi, Li, Lin, Li, Li, Yang, Zhang, & Zhao, 2016; M. C. D. Torres, Florez, & Triana, 2014)

La altitud influye indirectamente en la cantidad y calidad de materia orgánica, pues gracias a la altitud se presentan diferencias en las características del suelo (pH,

humedad, textura, entre otras), además de la precipitación, temperatura y tipo de vegetación, que a su vez tiene un papel fundamental en la actividad microbiana del suelo (Ali, Begum, Hayat, & Bohannan, 2017; Sánchez, Ruiz, & Ríos, 2005). Es así que en el presente estudio se obtuvo una correlación media positiva con la altitud ($r_s=0,45$), al igual que en suelos venezolanos con una correlación moderada ($r_s=0,76$) y alta ($r_s=0,90$), y moderada en suelos de la India ($r_s=0,76$) (Dar & Somaiah, 2015; Mogollón *et al.*, 2016; Ochoa, Oballos, Sánchez, Sosa, Manrique, & Velásquez, 2000).

En el ecosistema páramo del PNP, la altitud y la temperatura juegan un papel fundamental, pues los mayores contenidos de carbono total y de suelo ubicados en el centro del mismo (C3.4, C1), presenta un rango de temperatura entre 9 y 11 °C y una altitud mayor a los 3 300 msnm (CHELSA, 2016). En cambio los menores contenidos de carbono se presentaron en los extremos norte y sur (C2, C2.3, C3 y C6) del ecosistema, donde se encuentran los mayores rangos de temperatura del ecosistema, que oscilan entre 11 y 14 °C y una altitud entre los 2 800 y 3 300 msnm (CHELSA, 2016). Así mismo estos lugares están más propensos a actividades antrópicas, pues se encuentran cerca de centros poblados.

Además de estos factores, el contenido de carbono en el suelo es directamente proporcional con altos valores de humedad en el suelo, pues favorece la agregación del suelo e intercede en la distribución del espacio poroso del suelo, afectando propiedades físicas como humedad aprovechable, capacidad de aire, movimiento de agua y gases en el suelo (Martínez *et al.*, 2008). Existe una correlación moderada ($r_s=0,64$) entre el %C con el %Hd del suelo a CC (1/3 atm) y alta ($r_s=0,79$) con %Hd del suelo a Sat (0 atm) en los páramos del PNP, especialmente en la zona de las Lagunas del Compadre, relación ya descrita en la misma zona de estudio (Herbario, 2000).

Por último la distribución de los contenidos de carbono en la biomasa y necromasa en el ecosistema páramo del PNP, presenta mayores valores en las comunidades arbustivas C3.4, C4 y C6. En cambio en las comunidades arbustivas del norte, C2 y C2.3 se evidenciaron los menores contenidos, datos que concuerdan con los presentados por Santín Aguirre & Vidal González (2012).

6. CONCLUSIONES

- En el PNP el contenido medio de carbono es de $163,11 \text{ t ha}^{-1}$, acorde a la media nacional reportada por el MAE que esta entre 154 ha^{-1} y 210 t ha^{-1} , al igual que los contenidos medios de carbono con una media de $159,12 \text{ t ha}^{-1}$ para el páramo arbustivo y $173,68 \text{ t ha}^{-1}$ el páramo herbáceo.
- El contenido medio de carbono por compartimentos para el páramo herbáceo fue de $4,12 \text{ t ha}^{-1}$ para biomasa; $2,38 \text{ t ha}^{-1}$ para necromasa y $167,52 \text{ t ha}^{-1}$ para suelo. En cambio en el páramo arbustivo obtuvo $13,37 \text{ t ha}^{-1}$; $6,80 \text{ t ha}^{-1}$ y $139,29 \text{ t ha}^{-1}$ para la biomasa, necromasa y suelo respectivamente.
- En el ecosistema páramo del PNP la vegetación no influyó significativamente en el contenido de carbono total, pues los compartimentos biomasa y necromasa aportaron únicamente el 10% de carbono. En cambio el suelo aportó el 90% de carbono con una correlación positiva alta ($r=0,99$).
- Especialmente los mayores contenidos de carbono total se encontraron en los sistemas lacustres de las “Lagunas del Compadre”, concluyendo así que los humedales son importantes fuentes y sumideros de carbono.
- En los extremos de ecosistema páramo se observaron espacialmente los menores contenidos de carbono total, donde presentan mayores rangos de temperatura entre los 11 y $14 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y menor altitud entre los $2\ 800$ y $3\ 300 \text{ msnm}$. En cambio en centro del páramo se presentan los mayores contenidos de carbono con menores rangos de temperatura entre 9 y $11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y una altitud mayor a los $3\ 300 \text{ msnm}$.

7. RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta la presente investigación como línea base para ampliar nuevos estudios de suelo en el páramo del Parque Nacional Podocarpus.
- Ejecutar estudios más a fondo de la influencia de otros factores externos en la dinámica del carbono en el ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus, como las actividades antrópicas ilegales que se llevan a cabo en el parque.
- Realizar una actualización del diagnóstico de composición florística del páramo del Parque Nacional Podocarpus del 2000, pues la vegetación generalmente tiene un cambio importante a través de los años.
- Desarrollar este tipo de estudios en otros ecosistemas de páramo del país que no se encuentren en el mismo estado de conservación del Parque Nacional Podocarpus, para evaluar la vulnerabilidad de estos ecosistemas a los cambios generados por actividades antrópicas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Mendoza, Z., Aguirre, N., Merino, B., & Ochoa, I. (2016). Los páramos del Parque Nacional Podocarpus: una aproximación a su diversidad ecosistémica y florística. *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador*, 272.
- Aguirre, N., & Torres, J. (2013). Diseño conceptual y técnico de estrategias para la restauración ecológica del páramo degradado de la Unidad Hidrográfica Jatunhuayco. *FONAG (Fondo para la Protección del Agua)*. Quito, Ecuador.
- Albán Molina, E. I., & Granda Garzón, J. A. (2013). *Determinación del contenido de carbono en la biomasa aérea del páramo de la Reserva Ecológica Yanacocha*. Quito, 2013.
- Alberts, E., Holzhey, C., West, L., & Nordin, J. (1987). Soil selection: USDA: water erosion prediction project (WEPP). *American Society of Agricultural Engineers (Microfiche collection)(USA)*.
- Alfonso, N., & Yazmín, N. (2011). *Generación de espectros de rayos x de baja energía por simulación Monte Carlo/Monte Carlo simulation of x ray spectra of low energies*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ali, S., Begum, F., Hayat, R., & Bohannan, B. J. (2017). Variation in soil organic carbon stock in different land uses and altitudes in Bagrot Valley, Northern Karakoram. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 1-11.
- Alonso, J. A. (2013). *El planeta Tierra en peligro (calentamiento global, cambio climático, soluciones)*: Editorial Club Universitario.
- Álvarez-Salas, L. M., Gómez-Aguirre, A. M., & Cano-López, W. A. (2016). Percepciones de los servicios ecosistémicos en el complejo de páramos Frontino–Urrao, departamento de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana*, 17(2), 134-147.
- Avila Mora, J. L., & Erazo Sotomayor, O. S. (2011). *Estudio de distribución de micro mamíferos voladores y su hábitat en el bosque protector Mazán y el bosque de Llaviucu, Parque Nacional Cajas (PNC)*. Universidad del Azuay.

- Ayala, L., Villa, M., Aguirre, Z., & Aguirre, N. (2014). Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yasuni, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Revista Cedamaz*, 4(1), 45-52.
- Bain, C., Bonn, A., Stoneman, R., Chapman, S., Coupar, A., Evans, M., . . . Keenleyside, C. (2011). IUCN UK Commission of Inquiry on Peatlands.
- Banwart, S. A., Noellemeyer, E., & Milne, E. (2014). *Soil carbon: Science, management and policy for multiple benefits* (Vol. 71): CABI.
- Barrón, L. G. (2009). *Cambios climáticos y efectos ambientales*: Universidad Internacional de Andalucía.
- Becking, M. (2004). Sistema microregional de conservación Podocarpus. *Tejiendo (micro) corredores de conservación hacia la cogestión de una Reserva de Biosfera Cóndor-Podocarpus. Programa Podocarpus. Loja, Ecuador.*
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., . . . Velástegui, A. (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. *EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Quito, Ecuador.*
- Bertzky, M., Ravilious, C., Araujo Navas, A., Kapos, V., Carrión, D., Chiu, M., & Dickson, B. (2011). Carbono, biodiversidad y servicios ecosistémicos: Explorando los beneficios múltiples. *Ecuador. UNEPWCMC, Cambridge, Reino Unido.*
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2010). Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. *Descargado de ftp://ftp.ciat.cgiar.org/.../HIDROLOGIA_DEL_PARAMO en octubre.*
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72. doi:10.1016/j.earscirev.2006.06.002
- Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F., & Tobón, C. (2011). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 19-33.
- Buytaert, W., De Bièvre, B., Wyseure, G., & Deckers, J. (2004). The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of changes in land use on the

- hydrology of catchments in the Andes. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(1), 108-114.
- Buytaert, W., Wyseure, G., De Bievre, B., & Deckers, J. (2005). The effect of land-use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes*, 19(20), 3985-3997.
- Camarero, J., & Rozas, V. (2006). Técnicas de análisis espacial de patrones de superficies y detección de fronteras aplicadas en ecología forestal. *Investigaciones Agrarias Sistemas y Recursos Forestales*, 15, 66-87.
- Camargo-Garcá, J., Dossman, M., Rodríguez, J. A., Arias, L. M., & Galvis-Quintero, J. H. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica*, 61(2), 151-165.
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., & Vinueza, L. M. (2014). Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (*Pinus radiata*) y en estrato de páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información tecnológica*, 25(3), 83-92.
- Castañeda, H. J. A., Alvarado, J., & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 21-31.
- Caviglia, O., Wingeyer, A., & Novelli, L. (2016). El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático.
- Centro Integrado de Geomática Ambiental, Herbario Reinaldo Espinosa, & Forestal, C. d. I. (2006). *Carrera de Ingeniería Forestal. (2006) Estado de conservación de áreas protegidas y bosques protectores de Loja y Zamora Chinchipe y perspectivas de intervención*. Retrieved from
- CHELSEA. (2016). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *arXiv preprint arXiv:1607.00217*.
- Costantini, E. A. (2016). Soil indicators to assess the effectiveness of restoration strategies in dryland ecosystems. *Solid Earth*, 7(2), 397.
- Crowther, T., Todd-Brown, K., Rowe, C., Wieder, W., Carey, J., Machmuller, M., . . . Allison, S. (2016). Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*, 540(7631), 104-108.

- Cuevas Tello, A. B. (2016). MÉXICO ANTE EL COMPROMISO INTERNACIONAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO: VULNERABILIDAD, MARCO LEGAL Y FINANCIAMIENTO.
- Dar, J. A., & Somaiah, S. (2015). Altitudinal variation of soil organic carbon stocks in temperate forests of Kashmir Himalayas, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(2), 11.
- Daza Torres, M. C., Hernández Florez, F., & Triana, F. A. (2014). Effect of Land Use on Water Holding Capacity in the Sumapaz Paramo-Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 67(1), 7189-7200.
- De Bièvre, B. (2008). Páramo: las funciones hidrológicas de un ecosistema frágil. *Economías sanas en ambientes sanos: Los páramos, el agua y la biodiversidad para el desarrollo y competitividad agraria del norte peruano. INCAGRO and Instituto de Montaña*.
- de la Cruz, R. (2009). *Gente y ambiente de Páramo: realidades y perspectivas en el Ecuador: EcoCience/Proyecto Páramo Andino*.
- Doran, D. (1999). Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo. *EUA: USDA*.
- Eguiguren, P., Santín, A., Vidal, E., & Aguirre, N. (2015). Reservorios de carbono en los páramos del Parque Nacional Podocarpus. *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador*, 211.
- Fearnside, P. M. (2000). Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic change*, 46(1-2), 115-158.
- Fehse, J., Hofstede, R., Aguirre, N., Paladines, C., Kooijman, A., & Sevink, J. (2002). High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink? *Forest Ecology and Management*, 163(1), 9-25.
- Flannery, T. (2009). *El clima está en nuestras manos*.
- Flores, R., David, J., & Chimbo, O. (2015). *Determinación de las principales fuentes de agua que generan escorrentía en zonas de páramo y su contribución, usando trazadores ambientales*.

- Galán de Mera, A., Sánchez Vega, I., Montoya Quino, J., Linares Perea, E., Campos de la Cruz, J., & Vicente Orellana, J. A. (2015). La vegetación del norte del Perú: de los bosques a la jalca en Cajamarca.
- García González, J. A., & Cebrián Abellán, F. (2006). *La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población: Aplicación a la provincia de Albacete*. Paper presented at the XII Congreso Nacional de Tecnologías de la información Geográfica.
- García, J. A. M., & Uribe, I. A. (2013). Técnicas para detección de outliers multivariantes. *Revista en telecomunicaciones e informática*, 3(5), 11-25.
- Ghaley, B. B., Porter, J. R., & Sandhu, H. S. (2014). Soil-based ecosystem services: A synthesis of nutrient cycling and carbon sequestration assessment methods. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(3), 177-186.
- Giné, D. S., & Sánchez, R. G. (2015). El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. *Estudios Geográficos*, 76(278), 369-393.
- Granja Vizcaíno, C. (2015). *Comparación de los contenidos de carbono entre la Amazonía y los páramos del Ecuador*. PUCE.
- Guerra, C. A., Pinto-Correia, T., & Metzger, M. J. (2014). Mapping soil erosion prevention using an ecosystem service modeling framework for integrated land management and policy. *Ecosystems*, 17(5), 878-889.
- Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, 79(3), 249-263.
- Henríquez, C. (2016). Impactos, vulnerabilidades y desafíos frente al cambio climático. *Revista de geografía Norte Grande*(63), 5-8.
- Herbario, L. (2000). Diagnóstico de la vegetación natural y de la intervención humana en los páramos del Parque Nacional Podocarpus. *Programa Podocarpus. Informe final. Loja, Ecuador*.
- Hernández, J. E., Torres, D. T., & Hernández, R. I. B. (2014). Captura de carbono en los suelos. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 1(2).

- Herzog, S. K., Martínez, R., Jørgensen, P. M., & Tiessen, H. (2011). Climate change and biodiversity in the tropical Andes. *Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., . . . Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos; ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo: Quito: UICN.
- Hofstede, R., Coppus, R., Vásconez, P. M., Segarra, P., Wolf, J., & Sevink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos*, 15(1), 3-18.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia, Quito, Ecuador.
- Hofstede, R., Vásconez, S., Cerra, M., Vásquez, A., Néjer, A., Duque, D., . . . Duerto, G. (2015). *Vivir en los páramos. Percepciones, vulnerabilidades, capacidades y gobernanza ante el cambio climático. UICN, Quito, Ecuador.*
- Hontoria, C., Rodríguez-Murillo, J., & Saa, A. (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. *Edafología*, 11(2), 149-155.
- Jandl, R. (2005). Secuestro de carbono en bosques-El papel del suelo.
- Jónsson, J. Ö. G., & Davíðsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*, 145, 24-38.
- Jørgensen, P., Ulloa, C., Madsen, J., & Valencia, R. (1995). A floristic analysis of the high Andes of Ecuador. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. The New York Botanical Garden, Nueva York*, 221-237.
- Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., & Hedmark, Å. (2010). Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review. *Wetlands*, 30(1), 111-124.
- Keating, P. L. (1999). Changes in páramo vegetation along an elevation gradient in southern Ecuador. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 159-175.
- Krishnaswamy, J., Bonell, M., Venkatesh, B., Purandara, B. K., Rakesh, K., Lele, S., . . . Badiger, S. (2013). The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support

- for the “infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis”. *Journal of Hydrology*, 498, 191-209.
- Krois, J., & Schulte, A. (2013). *Modeling the hydrological response of soil and water conservation measures in the Ronquillo watershed in the Northern Andes of Peru*. Paper presented at the 6th International conference on water resources and environment research (ICWRER).
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1), 1-22.
- Limpens, J., Berendse, F., Blodau, C., Canadell, J., Freeman, C., Holden, J., . . . Schaepman-Strub, G. (2008). Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications—a synthesis. *Biogeosciences*, 5(5), 1475-1491.
- Llambí, L. D., Fariñas, M., Smith, J. K., Castañeda, S. M., & Briceño, B. (2013). Diversidad de la vegetación en dos paramos de Venezuela: un enfoque multiescalar con fines de conservación. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos. CONDESAN. Quito*, 41-68.
- Longbottom, T. L., Townsend-Small, A., Owen, L. A., & Murari, M. K. (2014). Climatic and topographic controls on soil organic matter storage and dynamics in the Indian Himalaya: potential carbon cycle–climate change feedbacks. *CATENA*, 119, 125-135.
- Lozano, P., Delgado, T., & Aguirre, Z. (2003). *Estado actual de la flora endémica exclusiva y su distribución en el Occidente del Parque Nacional Podocarpus: Funbotánica; Herbario y Jardín Botánico" Reinaldo Espinosa"*.
- Luzuriaga, A., & Olano, J. (2006). Con los pies en el suelo: incluyendo la estructura espacial de los datos en los análisis multivariantes. *Revista Ecosistemas*, 15(3).
- Malagón, D., & Pulido, C. (2000). Suelos del páramo colombiano. *Colombia. Diversidad Biótica III. La Región de Vida Paramuna. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia*.
- Maldonado, N., & Numa, P. (2002). Clima y vegetación de la región sur del Ecuador. *Aguirre J, Madsen JE, Cotton E, Balslev, editores. Botánica Austroecuatorialiana. Quito: Ediciones Abya Ayala*, 1-28.
- Marín, Q., del Pilar, M., Andrade, H. J., & Sandoval, A. P. (2016). FIJACIÓN DE CARBONO ATMOSFÉRICO EN LA BIOMASA TOTAL DE SISTEMAS

DE PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 351-360.

- Marques, J. D. d. O., Luizão, F. J., Teixeira, W. G., Sarrazin, M., Ferreira, S. J. F., Beldini, T. P., & Marques, E. M. d. A. (2015). Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1), 232-242.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.
- Marulanda, J., & Villa, J. A. (2016). Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. *Journal of Engineering and Technology*, 4(1).
- McKnight, J. Y., Harden, C. P., & Schaeffer, S. M. (2017). Soil CO₂ flux trends with differences in soil moisture among four types of land use in an Ecuadorian páramo landscape. *Physical Geography*, 38(1), 51-61.
- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meyer, L. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge University Press, ISBN.
- Mogollón, J. P., Rivas, W., Martínez, A., Campos, Y., & Márquez, E. (2016). Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Multiciencias*, 15(3).
- Mondragón, M. A. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Revista Movimiento Científico*, 8(1), 98-104.
- Morales, M. E. R. (2009). EL PÁRAMO COMO PROVEEDOR DE AGUA: ANÁLISIS DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS Y DE VEGETACIÓN SOBRE EL BALANCE HÍDRICO DE UNA MICROCUENCA ANDINA DE VENEZUELA.
- Moreno-Casasola, P., López, H., & Garza, S. (2001). La vegetación de los Humedales Mexicanos. *Instituto de Ecología AC Veracruz, México*.
- Muñiz, J. L. M., Alarcón, M. E. H., & Barceló, P. M.-C. (2011). SECUESTRO DE CARBONO EN SUELOS DE HUMEDALES COSTEROS DE AGUA

- DULCE EN VERACRUZ [SOIL CARBON SEQUESTRATION IN COASTAL FRESHWATER WETLANDS OF VERACRUZ]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 365-372.
- Muñoz-Rojas, M., Erickson, T. E., Dixon, K. W., & Merritt, D. J. (2016). Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. *Restoration Ecology*, 24(S2).
- Ochoa, G., Oballos, J., Sánchez, J., Sosa, J., Manrique, J., & Velásquez, J. (2000). Variación del carbono orgánico en función de la altitud. Cuenca del río Santo Domingo. Mérida-Barinas, Venezuela. *Rev. Geog. Venez.*, 41, 79-87.
- Pauli, H., Gottfried, M., & Grabherr, G. (2014). Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps. *Journal of mountain ecology*, 7.
- Pérez-Ramírez, S., Ramírez, M. I., Jaramillo-López, P. F., & Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(1), 157-173.
- Pérez, G., Vilches, A., Grimaldi, J. C. T., & Álvarez, Ó. M. (2006). D. I. et al. Década de la Educación para un Futuro Sostenible (2005-2014): un punto de inflexión necesario en la atención a la situación del planeta. *Revista Iberoamericana de Educación.*, Madrid(40), 125-178.
- Pérez Ruiz, E. (2011). *Estrategia para aumentar la potencialidad de secuestro de carbono en las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.*
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E., & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land use policy*, 33, 118-129.
- Powlson, D., Whitmore, A., & Goulding, K. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62(1), 42-55.
- Qi, R., Li, J., Lin, Z., Li, Z., Li, Y., Yang, X., . . . Zhao, B. (2016). Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes. *Applied Soil Ecology*, 102, 36-45.

- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.
- Rangel-Marrón, M., & López-Malo, A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 94-109.
- Restrepo, L. F., & González, J. (2007). From pearson to Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 183-192.
- Roa-García, M. C., & Brown, S. (2016). Characterization of carbon storage in small Andean Wetlands of the upper Río Barbas Watershed (Quindío, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 117-135.
- Rodríguez Laguna, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biósfera el Cielo, Tamaulipas, México.
- Rodríguez, M. (2010). El páramo como proveedor de agua: análisis de las unidades geomorfológicas y de vegetación sobre el balance hídrico de una microcuenca andina de Venezuela. *Microcuenca alta de la Quebrada Miguaguó-Mixteque. Postgrado en Ecología Tropical, Universidad de los andes, ICAE*, 140.
- Rolando, J. L., Turin, C., Ramírez, D. A., Mares, V., Monerris, J., & Quiroz, R. (2017). Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 221-233.
- Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., & Angelini, H. P. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del suelo*, 29(1), 29-37.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.
- Samaniego, J. (2009). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe. Reseña 2009.
- Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 55(4), 507-534.

- Sánchez Rodríguez, D. F. (2016). Evaluación del carbono almacenado en la biomasa, necromasa y carbono orgánico del suelo de tres diferentes hábitats en la Península de Osa, Costa Rica.
- Santamaría, M., Sarmiento Pinzón, C. E., Sánchez, E., & Chaves, M. E. (2016). Páramos y humedales. Construcción de insumos técnicos para la gestión integral del territorio y la adaptación al cambio climático en ecosistemas estratégicos.
- Santín Aguirre, A. M., & Vidal González, E. J. (2012). *Generación de una línea base de los reservorios de carbono de los páramos del PNP y evaluación de su aplicación como mecanismo de mitigación al cambio climático.*
- Schägnner, J. P., Brander, L., Maes, J., & Hartje, V. (2013). Mapping ecosystem services' values: Current practice and future prospects. *Ecosystem Services*, 4, 33-46.
- Stefanoski, D. C., Figueiredo, C. C. d., Santos, G. G., & Marchão, R. L. (2016). Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1643-1651.
- Strong, A. L., Johnson, T. P., Chiariello, N. R., & Field, C. B. (2016). Experimental fire increases soil carbon dioxide efflux in a grassland long-term multifactor global change experiment. *Glob Chang Biol.*
- Suárez, G., Campos, A., & Cruz, L. (2015). DINÁMICA DEL CARBONO Y NITRÓGENO DEL SUELO EN ECOSISTEMAS DE LA COSTA TROPICAL SECA, EN LA MANCHA (CICOLMA), VERACRUZ, MÉXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(3).
- Tonneijck, F., Velthuis, M., Bouten, W., Van Loon, E., Sevink, J., & Verstraten, J. (2016). The effect of change in soil volume on organic matter distribution in a volcanic ash soil. *European Journal of Soil Science*, 67(2), 226-236.
- Torres, A. M., Peña, E. J., Zúñiga, O., & Peña, J. A. (2012). Evaluación del impacto de actividades antrópicas en el almacenamiento de carbono en biomasa vegetal en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16(1), 132-142.

- Torres, M. C. D., Florez, F. H., & Triana, F. A. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz-Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellin*, 67(1), 7189-7200.
- Vásconez, P. M., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz*.
- Villafranca, R. R., & Ramajo, L. R. Z. (2013). *Métodos estadísticos para Ingenieros*: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Villatoro, M., Henríquez, C., & Sancho, F. (2007). Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense Vol. 32 Núm. 1 2007*.
- Vrebos, D., Staes, J., Vandenbroucke, T., Johnston, R., Muhumuza, M., Kasabeke, C., & Meire, P. (2015). Mapping ecosystem service flows with land cover scoring maps for data-scarce regions. *Ecosystem Services*, 13, 28-40.
- Ward, A., Dargusch, P., Grussu, G., & Romeo, R. (2016). Using carbon finance to support climate policy objectives in high mountain ecosystems. *Climate Policy*, 16(6), 732-751.
- Ward, A., Dargusch, P., Thomas, S., Liu, Y., & Fulton, E. A. (2014). A global estimate of carbon stored in the world's mountain grasslands and shrublands, and the implications for climate policy. *Global Environmental Change*, 28, 14-24.
- Warner, B., Aravena, R., & Moreno-Casasola, P. (2005). Cambio climático y reciclaje de carbono en los humedales costeros. *Estrategias para el manejo costero integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología, AC y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave Xalapa, Ver, Mexico*, 297-318.
- Weil, R. R., & Brady, N. (2002). The nature and properties of soils. *Pearson Education Ltd., USA*, 5, 359-387.
- Williams, A., & Hedlund, K. (2013). Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden. *Applied Soil Ecology*, 65, 1-7.
- Yadav, V., & Malanson, G. (2007). Progress in soil organic matter research: litter decomposition, modelling, monitoring and sequestration. *Progress in Physical Geography*, 31(2), 131-154.

Yepes, A. P., del Valle, J. I., Jaramillo, S. L., & Orrego, S. A. (2010). Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología tropical*, 58(1), 427-445.

9. ANEXOS

Anexo 1. Comunidades vegetales presentes en el ecosistema páramo del PNP



Comunidad I. Páramo herbáceo de bambúes



Comunidad II. Páramo arbustivo del norte del PNP



Comunidad II/III. Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP



Comunidad III. Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP



Comunidad III/IV. Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro –Sur del PNP



Comunidad IV. Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP



Comunidad V. Páramo herbáceo con *Chusquea nana*



Comunidad VI. Páramo arbustivo de Sabanilla

Anexo 2. Intervención humana en la Comunidad 5.



Figura 1. Vía de acceso que atraviesa la Comunidad 5



Figura 2. Zona intervenida en la Comunidad 5

Anexo 3. Digitalización del mapa de comunidades vegetales del PNP



Figura 1. Digitalización de comunidades vegetales en el programa ArcGis 10.2



Figura 2. Digitalización y puntos de muestreo de la Comunidad VI

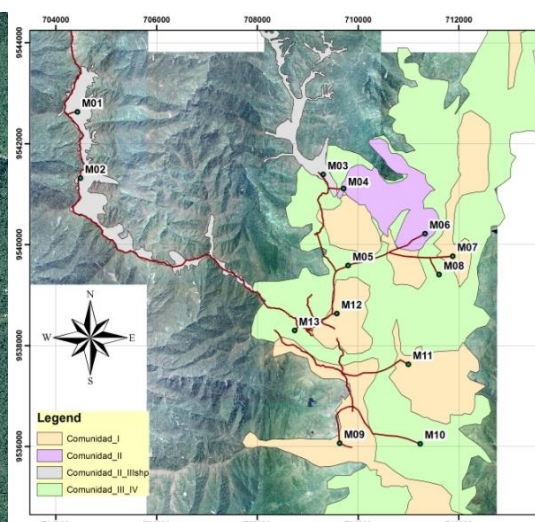


Figura 3. Puntos de muestreo por comunidad vegetal I, II, II/III y III/IV.

Anexo 4. Determinación de los contenidos de carbono en biomasa y necromasa del páramo PNP.



Figura 1. Parcela temporal de 1m²



Figura 2. Recolección de toda la materia vegetal dentro de la parcela temporal



Figura 3. Pesado de muestra de vegetación



Figura 4. Recolección del kilogramo de la muestra de biomasa y necromasa



Figura 5. Muestras de vegetación etiquetadas



Figura 6. Secado de muestras de vegetación a 100 °C en la estufa.

Anexo 5. Determinación de los contenidos de carbono en el suelo páramo PNP.



Figura 1. Calicata en la parcela temporal de 1m²



Figura 2. Medición del horizonte orgánico



Figura 3. Obtención de muestra de suelo en el Cilindro Kopecky



Figura 4. Obtención de muestras de suelo



Figura 5. Saturación de muestras de suelo en el cilindro Kopecky



Figura 6. Procesamiento de contantes hidrofisicas del suelo



Figura 7. Pesado de muestra de suelo seco



Figura 8. Pesado de muestras de suelo en matraces Elermeyer de 250 ml



Figura 9. Adición de 10 ml de ácido sulfúrico



Figura 10. Titulación de muestras

Anexo 6. Coordenadas de las parcelas muestreadas

Tabla 1. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 1: Páramo herbáceo de bambúes*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C1-M01	Herbáceo	706512	9551355	3400	0 %
2	C1-M02	Herbáceo	709950	9525672	3421	17%
3	C1-M03	Herbáceo	709950	9525672	3421	17%
4	C1-M04	Herbáceo	709724	9531056	3507	19%
5	C1-M05	Herbáceo	709359	9532203	3260	18%
6	C1-M06	Herbáceo	709637	9536063	3428	27%
7	C1-M07	Herbáceo	710537	9537680	3430	12%
8	C1-M08	Herbáceo	709580	9538631	3320	12%
9	C1-M09	Herbáceo	711881	9539770	3580	32%
10	C1-M10	Herbáceo	709069	9522573	3394	9%

Tabla 2. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 2: Páramo arbustivo del norte del PNP*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C2-M01	Arbustivo	708973	9553567	2918	10%
2	C2-M02	Arbustivo	707356	9553616	3087	23%
3	C2-M03	Arbustivo	707920	9551480	2977	17%
4	C2-M04	Arbustivo	707794	9550185	3160	18%
5	C2-M05	Arbustivo	706275	9549795	3340	28%
6	C2-M06	Arbustivo	705791	9547539	3239	20%
7	C2-M07*	Arbustivo	704433	9542627	2920	5%
8	C2-M08*	Arbustivo	704491	9541314	2898	10%
9	C2-M09*	Arbustivo	709307	9541385	2889	7%
10	C2-M10*	Arbustivo	704825	9548834	2840	5%

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 3. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 2.3: Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C2.3-M01	Arbustivo	706813	9558030	3021	36%
2	C2.3-M02	Arbustivo	709031	9553891	3160	2%
3	C2.3-M03	Arbustivo	706459	9554739	3184	33%
4	C2.3-M04	Arbustivo	706637	9554173	3027	40%
5	C2.3-M05	Arbustivo	709713	9541107	3005	44%
6	C2.3-M06	Arbustivo	711331	9540214	3176	43%
7	C2.3-M07	Arbustivo	705854	9555720	3320	0%
8	C2.3-M08	Arbustivo	705877	9555792	3240	9%
9	C2.3-M09	Arbustivo	705887	9555815	3371	33%
10	C2.3-M10*	Arbustivo	705790	9558541	3322	22%

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 4. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 3: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C3-M01	Arbustivo	710043	9533295	3189	18%
2	C3-M02	Arbustivo	709524	9525279	2845	31%
3	C3-M03	Arbustivo	709073	9531534	3155	36%
4	C3-M04	Arbustivo	709464	9531730	3179	27%
5	C3-M05	Arbustivo	708793	9532641	3274	15%
6	C3-M06	Arbustivo	709412	9533053	3256	23%
7	C3-M07	Arbustivo	710441	9536402	3280	18%
8	C3-M08	Arbustivo	708740	9538296	3239	17%
9	C3-M09	Arbustivo	711608	9539404	3062	33%
10	C3-M10*	Arbustivo	709805	9539586	3307	26%

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 5. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 3.4: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C3.4-M01	Arbustivo	705299	9550626	3462	41%
2	C3.4-M02	Arbustivo	703733	9551086	3401	18%
3	C3.4-M03	Arbustivo	704850	9546419	3441	40%
4	C3.4-M04	Arbustivo	703697	9547103	3277	22%
5	C3.4-M05	Arbustivo	704321	9545825	3380	31%
6	C3.4-M06	Arbustivo	704518	9544695	3304	37%
7	C3.4-M07	Arbustivo	704444	9543511	3396	22%
8	C3.4-M08	Arbustivo	704471	9543050	3212	35%
9	C3.4-M09	Arbustivo	705082	9541857	3409	48%
10	C3.4-M10	Arbustivo	704725	9548834	3557	33%

Tabla 6. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 4: Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C4-M03	Arbustivo	709447	9518931	3222	17%
2	C4-M04	Arbustivo	713643	9518939	3026	19%
3	C4-M05	Arbustivo	713406	9519537	3032	28%
4	C4-M06	Arbustivo	712420	9519679	3312	18%
5	C4-M07	Arbustivo	710582	9520123	3436	16%
6	C4-M08	Arbustivo	709768	9520489	3436	25%
7	C4-M09	Arbustivo	711170	9520456	3412	22%
8	C4-M10	Arbustivo	710225	9520892	3457	20%
9	C4-M11	Arbustivo	708954	9512077	3342	23%
10	C4-M12	Arbustivo	708850	9511621	3372	17%

Tabla 7. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 5: Páramo herbáceo con Chusquea nana*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C5-M01	Herbáceo	709210	9512749	3250	23%
2	C5-M03	Herbáceo	709608	9512814	3400	0%
3	C5-M04	Herbáceo	709333	9512513	3354	22%
4	C5-M09	Herbáceo	709641	9516554	3114	12%
5	C5-M10	Herbáceo	709739	9516928	3120	1%
6	C5-M16	Herbáceo	709073	9511827	3400	0%
7	C5-M17	Herbáceo	708936	9511459	3400	2%
8	C5-M18	Herbáceo	709918	9517528	3160	0%
9	C5-M19	Herbáceo	709850	9518027	3164	8%
10	C5-M20	Herbáceo	709451	9518512	3189	9%

Tabla 8. *Coordenadas de las parcelas muestreadas de la comunidad 6: Páramo arbustivo de Sabanilla*

N	Código	Tipo	X	Y	Z	Pendiente
1	C6-M01	Arbustivo	705806	9508460	2920	0%
2	C6-M03	Arbustivo	705834	9508315	2920	0%
3	C6-M04	Arbustivo	705796	9508197	2909	23%
4	C6-M05	Arbustivo	705701	9508182	2877	14%
5	C6-M07	Arbustivo	706136	9507898	2880	0%
6	C6-M08	Arbustivo	706225	9507835	2880	0%
7	C6-M10	Arbustivo	706305	9507733	2861	24%
8	C6-M12	Arbustivo	706524	9507674	2800	7%
9	C6-M14	Arbustivo	706674	9507616	2753	20%
10	C6-M15	Arbustivo	706693	9507523	2709	21%

Anexo 7. Contenido de carbono en el compartimento de Biomasa ($t\ ha^{-1}$)

Tabla 1. *Contenido de carbono en Biomasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 1: Páramo herbáceo de bambúes*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m²)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C1-M01	2,50	0,18	0,18	0,46	0,23	2287,50	2,29
C1-M02	3,70	0,27	0,27	1,00	0,50	5013,50	5,01
C1-M03	3,00	0,24	0,24	0,72	0,36	3615,00	3,62
C1-M04	0,60	0,22	0,22	0,13	0,07	651,00	0,65
C1-M05	1,60	0,31	0,31	0,50	0,25	2488,00	2,49
C1-M06	1,50	0,19	0,19	0,29	0,14	1432,50	1,43
C1-M07	0,50	0,13	0,13	0,06	0,03	320,00	0,32
C1-M08	1,80	0,33	0,33	0,59	0,29	2925,00	2,93
C1-M09	1,30	0,48	0,48	0,62	0,31	3087,50	3,09
C1-M10	6,00	0,39	0,39	2,34	1,17	11700,00	11,70

Tabla 2. *Contenido de carbono en Biomasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 2: Páramo arbustivo del norte del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m²)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C2-M01	8,50	0,37	0,37	3,10	1,55	15512,50	15,51
C2-M02	10,00	0,22	0,22	2,18	1,09	10900,00	10,90
C2-M03	8,20	0,25	0,25	2,04	1,02	10209,00	10,21
C2-M04	7,20	0,44	0,44	3,17	1,58	15840,00	15,84
C2-M05	3,60	0,33	0,33	1,20	0,60	6012,00	6,01
C2-M06	24,00	0,30	0,30	7,22	3,61	36120,00	36,12
C2-M07*						6875,79	6,88
C2-M08*						4228,21	4,23
C2-M09*						5750,00	5,75
C2-M10*						8042,55	8,04

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 3. *Contenido de carbono en Biomasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 2.3: Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C2.3-M01	17,20	0,22	0,22	3,70	1,85	18490,00	18,49
C2.3-M02	5,70	0,23	0,23	1,32	0,66	6583,50	6,58
C2.3-M03	4,00	0,21	0,21	0,83	0,41	4140,00	4,14
C2.3-M04	8,00	0,23	0,23	1,84	0,92	9200,00	9,20
C2.3-M05	7,00	0,22	0,22	1,52	0,76	7595,00	7,60
C2.3-M06	10,00	0,20	0,20	1,96	0,98	9800,00	9,80
C2.3-M07	5,10	0,22	0,22	1,12	0,56	5584,50	5,58
C2.3-M08	4,50	0,20	0,20	0,90	0,45	4500,00	4,50
C2.3-M09	6,10	0,41	0,41	2,50	1,25	12505,00	12,51
C2.3-M10*						4049,23	4,05

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 4. *Contenido de carbono en Biomasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 3: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C3-M01	8,50	0,19	0,19	1,59	0,79	7947,50	7,95
C3-M02	9,00	0,16	0,16	1,48	0,74	7380,00	7,38
C3-M03	6,50	0,35	0,35	2,26	1,13	11310,00	11,31
C3-M04	6,00	0,34	0,34	2,06	1,03	10290,00	10,29
C3-M05	10,00	0,29	0,29	2,93	1,47	14650,00	14,65
C3-M06	4,00	0,24	0,24	0,95	0,47	4740,00	4,74
C3-M07	11,00	0,24	0,24	2,68	1,34	13420,00	13,42
C3-M08	8,40	0,26	0,26	2,22	1,11	11088,00	11,09
C3-M09	14,00	0,18	0,18	2,45	1,23	12250,00	12,25
C3-M10*						7477,89	7,48

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 5. *Contenido de carbono en Biomasa (t ha⁻¹) de la comunidad 3.4: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C3.4-M01	5,00	0,34	0,34	1,71	0,86	8550,00	8,55
C3.4-M02	11,20	0,20	0,20	2,25	1,13	11256,00	11,26
C3.4-M03	18,20	0,22	0,22	4,04	2,02	20202,00	20,20
C3.4-M04	4,50	0,32	0,32	1,45	0,73	7267,50	7,27
C3.4-M05	19,00	0,33	0,33	6,19	3,10	30970,00	30,97
C3.4-M06	8,20	0,31	0,31	2,57	1,29	12874,00	12,87
C3.4-M07	14,20	0,27	0,27	3,76	1,88	18815,00	18,82
C3.4-M08	10,80	0,31	0,31	3,37	1,68	16848,00	16,85
C3.4-M09	9,50	0,28	0,28	2,70	1,35	13490,00	13,49
C3.4-M10	5,00	0,22	0,22	1,08	0,54	5375,00	5,38

Tabla 6. *Contenido de carbono en Biomasa (t ha⁻¹) de la comunidad 4: Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C4-M03	22,30	0,42	0,42	9,39	4,69	46941,50	46,94
C4-M04	24,00	0,32	0,32	7,78	3,89	38880,00	38,88
C4-M05	10,00	0,24	0,24	2,39	1,20	11950,00	11,95
C4-M06	6,00	0,39	0,39	2,34	1,17	11700,00	11,70
C4-M07	10,50	0,31	0,31	3,28	1,64	16380,00	16,38
C4-M08	17,00	0,29	0,29	4,86	2,43	24310,00	24,31
C4-M09	7,50	0,22	0,22	1,61	0,81	8062,50	8,06
C4-M10	18,00	0,26	0,26	4,66	2,33	23310,00	23,31
C4-M11	11,00	0,18	0,18	1,98	0,99	9900,00	9,90
C4-M12	15,00	0,35	0,35	5,18	2,59	25875,00	25,88

Tabla 7. *Contenido de carbono en Biomasa (t ha⁻¹) de la comunidad 5: Páramo herbáceo con Chusquea nana*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C5-M01	7,20	0,14	0,14	1,02	0,51	5112,00	5,11
C5-M03	0,80	0,18	0,18	0,14	0,07	708,00	0,71
C5-M04	4,50	0,25	0,25	1,13	0,57	5670,00	5,67
C5-M09	2,00	0,22	0,22	0,44	0,22	2200,00	2,20
C5-M10	9,40	0,17	0,17	1,64	0,82	8178,00	8,18
C5-M16	1,50	0,21	0,21	0,32	0,16	1582,50	1,58
C5-M17	1,20	0,14	0,14	0,17	0,08	846,00	0,85
C5-M18	3,10	0,32	0,32	0,98	0,49	4898,00	4,90
C5-M19	6,10	0,24	0,24	1,45	0,72	7228,50	7,23
C5-M20	6,50	0,39	0,39	2,53	1,26	12642,50	12,64

Tabla 8. *Contenido de carbono en Biomasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 6: Páramo arbustivo de Sabanilla*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Biomasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C6-M01	6,20	0,17	0,17	1,06	0,53	5316,50	5,32
C6-M03	19,20	0,18	0,18	3,50	1,75	17520,00	17,52
C6-M04	6,75	0,15	0,15	1,00	0,50	4978,13	4,98
C6-M05	24,00	0,13	0,13	3,05	1,52	15240,00	15,24
C6-M07	8,00	0,12	0,12	0,92	0,46	4600,00	4,60
C6-M08	20,30	0,13	0,13	2,54	1,27	12687,50	12,69
C6-M10	7,50	0,13	0,13	0,98	0,49	4875,00	4,88
C6-M12	8,00	0,16	0,16	1,29	0,64	6440,00	6,44
C6-M14	44,00	0,17	0,17	7,48	3,74	37400,00	37,40
C6-M15	22,00	0,26	0,26	5,65	2,83	28270,00	28,27

Anexo 8. Contenido de carbono en el compartimento de Necromasa ($t\ ha^{-1}$)

Tabla 1. *Contenido de carbono en Necromasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 1: Páramo herbáceo de bambúes*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C1-M01	1,30	0,16	0,16	0,21	0,10	1040,00	1,04
C1-M02	1,70	0,29	0,29	0,49	0,24	2431,00	2,43
C1-M03	1,30	0,35	0,35	0,45	0,22	2242,50	2,24
C1-M04	1,20	0,51	0,51	0,62	0,31	3078,00	3,08
C1-M05	2,50	0,34	0,34	0,86	0,43	4275,00	4,28
C1-M06	1,00	0,37	0,37	0,37	0,19	1855,00	1,86
C1-M07	5,20	0,25	0,25	1,28	0,64	6422,00	6,42
C1-M08	0,70	0,30	0,30	0,21	0,10	1036,00	1,04
C1-M09	1,80	0,38	0,38	0,68	0,34	3393,00	3,39
C1-M10	1,60	0,24	0,24	0,38	0,19	1888,00	1,89

Tabla 2. *Contenido de carbono en Necromasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 2: Páramo arbustivo del norte del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C2-M01	2,00	0,35	0,35	0,69	0,35	3470,00	3,47
C2-M02	9,50	0,10	0,10	0,92	0,46	4607,50	4,61
C2-M03	7,80	0,13	0,13	0,98	0,49	4914,00	4,91
C2-M04	5,70	0,16	0,16	0,93	0,47	4674,00	4,67
C2-M05	2,20	0,33	0,33	0,72	0,36	3608,00	3,61
C2-M06	7,00	0,19	0,19	1,34	0,67	6720,00	6,72
C2-M07*						1495,00	1,50
C2-M08*						1127,10	1,13
C2-M09*						1332,90	1,33
C2-M10*						1332,30	1,33

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 3. *Contenido de carbono en Necromasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 2.3: Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C2.3-M01	9,50	0,13	0,13	1,27	0,64	6365,00	6,37
C2.3-M02	3,50	0,14	0,14	0,48	0,24	2380,00	2,38
C2.3-M03	1,80	0,22	0,22	0,40	0,20	2007,00	2,01
C2.3-M04	2,00	0,13	0,13	0,26	0,13	1280,00	1,28
C2.3-M05	2,50	0,14	0,14	0,34	0,17	1712,50	1,71
C2.3-M06	4,00	0,16	0,16	0,64	0,32	3220,00	3,22
C2.3-M07	2,50	0,20	0,20	0,51	0,25	2525,00	2,53
C2.3-M08	2,00	0,17	0,17	0,35	0,17	1740,00	1,74
C2.3-M09	1,85	0,37	0,37	0,68	0,34	3385,50	3,39
C2.3-M10*						537,70	0,54

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 4. *Contenido de carbono en Necromasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 3: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C3-M01	3,00	0,20	0,20	0,59	0,29	2925,00	2,93
C3-M02	4,00	0,29	0,29	1,14	0,57	5720,00	5,72
C3-M03	2,50	0,26	0,26	0,64	0,32	3200,00	3,20
C3-M04	1,50	0,40	0,40	0,61	0,30	3030,00	3,03
C3-M05	6,00	0,21	0,21	1,28	0,64	6390,00	6,39
C3-M06	2,00	0,22	0,22	0,43	0,22	2170,00	2,17
C3-M07	38,40	0,13	0,13	5,11	2,55	25536,00	25,54
C3-M08	7,00	0,18	0,18	1,27	0,64	6370,00	6,37
C3-M09	10,60	0,11	0,11	1,14	0,57	5724,00	5,72
C3-M10*						168,80	0,17

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 5. *Contenido de carbono en Necromasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 3.4: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C3.4-M01	2,00	0,25	0,25	0,50	0,25	2510,00	2,51
C3.4-M02	3,90	0,13	0,13	0,50	0,25	2476,50	2,48
C3.4-M03	1,00	0,47	0,47	0,47	0,23	2345,00	2,35
C3.4-M04	1,40	0,19	0,19	0,26	0,13	1309,00	1,31
C3.4-M05	5,00	0,19	0,19	0,97	0,48	4825,00	4,83
C3.4-M06	2,80	0,20	0,20	0,56	0,28	2814,00	2,81
C3.4-M07	1,20	0,31	0,31	0,37	0,18	1830,00	1,83
C3.4-M08	3,70	0,30	0,30	1,11	0,56	5550,00	5,55
C3.4-M09	3,00	0,25	0,25	0,75	0,37	3735,00	3,74
C3.4-M10	30,00	0,29	0,29	8,70	4,35	43500,00	43,50

Tabla 6. *Contenido de carbono en Necromasa ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 4: Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C4-M03	1,50	0,43	0,43	0,65	0,32	3240,00	3,24
C4-M04	18,00	0,28	0,28	4,97	2,48	24840,00	24,84
C4-M05	9,00	0,21	0,21	1,91	0,95	9540,00	9,54
C4-M06	2,00	0,24	0,24	0,47	0,24	2360,00	2,36
C4-M07	3,50	0,27	0,27	0,94	0,47	4690,00	4,69
C4-M08	2,50	0,30	0,30	0,74	0,37	3700,00	3,70
C4-M09	3,00	0,25	0,25	0,74	0,37	3720,00	3,72
C4-M10	0,75	0,34	0,34	0,25	0,13	1271,25	1,27
C4-M11	4,00	0,14	0,14	0,56	0,28	2800,00	2,80
C4-M12	11,00	0,32	0,32	3,52	1,76	17600,00	17,60

Tabla 7. *Contenido de carbono en Necromasa (t ha⁻¹) de la comunidad 5: Páramo herbáceo con Chusquea nana*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C5-M01	0,80	0,09	0,09	0,07	0,04	368,00	0,37
C5-M03	1,80	0,15	0,15	0,26	0,13	1314,00	1,31
C5-M04	2,00	0,09	0,09	0,17	0,09	860,00	0,86
C5-M09	4,50	0,09	0,09	0,42	0,21	2092,50	2,09
C5-M10	7,30	0,13	0,13	0,92	0,46	4599,00	4,60
C5-M16	1,00	0,21	0,21	0,21	0,10	1030,00	1,03
C5-M17	3,00	0,22	0,22	0,65	0,32	3240,00	3,24
C5-M18	2,10	0,37	0,37	0,77	0,39	3864,00	3,86
C5-M19	0,60	0,25	0,25	0,15	0,07	738,00	0,74
C5-M20	1,00	0,40	0,40	0,40	0,20	1985,00	1,99

Tabla 8. *Contenido de carbono en Necromasa (t ha⁻¹) de la comunidad 6: Páramo arbustivo de Sabanilla*

Código	Ph(Kg)	Ps(1Kg)	r (Ps/Ph)	Necromasa (r*Ph)	CT (kg/m2)	CT (kg ha⁻¹)	CT (t ha⁻¹)
C6-M01	20,00	0,24	0,24	4,79	2,40	23950,00	23,95
C6-M03	8,30	0,23	0,23	1,91	0,95	9545,00	9,55
C6-M04	14,20	0,21	0,21	2,96	1,48	14803,50	14,80
C6-M05	20,50	0,23	0,23	4,81	2,40	24036,25	24,04
C6-M07	13,70	0,28	0,28	3,77	1,88	18837,50	18,84
C6-M08	17,20	0,21	0,21	3,65	1,82	18232,00	18,23
C6-M10	9,50	0,15	0,15	1,38	0,69	6887,50	6,89
C6-M12	6,50	0,22	0,22	1,44	0,72	7182,50	7,18
C6-M14	13,70	0,19	0,19	2,59	1,29	12946,50	12,95
C6-M15	8,50	0,18	0,18	1,56	0,78	7820,00	7,82

Anexo 9. Contenido de carbono en el compartimento de Suelo ($t\ ha^{-1}$)

Tabla 1. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 1: Páramo herbáceo de bambúes*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm^3)	Profundidad suelo (m)	COS
C1-M01	0,10	9,90	8,10	0,50	3,51	0,70	0,40	98,28
C1-M02	0,05	10,20	5,20	0,50	19,50	0,17	0,49	164,63
C1-M03	0,05	10,00	8,80	0,50	4,68	0,80	0,25	93,02
C1-M04	0,05	10,00	8,60	0,50	5,46	0,39	0,27	57,94
C1-M05	0,05	10,00	5,70	0,50	16,77	0,28	0,22	102,20
C1-M06	0,05	10,20	5,40	0,50	18,72	0,19	0,39	140,91
C1-M07	0,05	9,80	5,30	0,50	17,55	0,17	1,40	427,52
C1-M08	0,10	10,20	6,60	0,50	7,02	0,54	0,09	34,24
C1-M09	0,05	10,20	7,60	0,50	10,14	0,51	0,60	312,11
C1-M10	0,05	10,00	8,10	0,50	7,41	0,67	0,39	192,76

Tabla 2. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 2: Páramo arbustivo del norte del PNP*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm^3)	Profundidad suelo (m)	COS
C2-M01	0,10	10,20	5,90	0,50	8,39	0,42	0,25	88,46
C2-M02	0,10	9,90	9,30	0,50	1,17	1,43	0,56	93,43
C2-M03	0,10	10,00	7,30	0,50	5,27	0,89	0,40	187,43
C2-M04	0,10	10,20	8,00	0,50	4,29	0,88	0,35	132,13
C2-M05	0,10	10,20	7,90	0,50	4,49	0,32	0,24	33,91
C2-M06	0,10	10,20	6,00	0,50	8,19	0,42	0,55	190,09
C2-M07*					2,24			63,27
C2-M08*					1,41			37,44
C2-M09*					3,85			93,74
C2-M10*					7,68			85,12

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 3. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 2.3: Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm³)	Profundidad suelo (m)	COS
C2.3-M01	0,10	9,90	9,00	0,50	1,76	1,44	0,38	95,97
C2.3-M02	0,30	11,20	9,50	0,50	1,11	1,25	0,23	31,69
C2.3-M03	0,10	9,90	8,00	0,50	3,71	0,56	0,35	72,62
C2.3-M04	0,10	9,90	5,90	0,50	7,80	0,83	0,40	258,34
C2.3-M05	0,10	9,90	6,50	0,50	6,63	0,50	0,35	115,33
C2.3-M06	0,05	9,90	6,40	0,50	13,65	0,15	0,45	90,91
C2.3-M07	0,05	10,20	8,30	0,50	7,41	0,84	0,25	154,87
C2.3-M08	0,10	10,00	5,80	0,50	8,19	0,56	0,25	113,64
C2.3-M09	0,10	10,20	7,50	0,50	5,27	0,85	0,33	147,34
C2.3-M10*					7,10			110,33

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 4. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 3: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm³)	Profundidad suelo (m)	COS
C3-M01	0,10	9,90	6,10	0,50	7,41	0,60	0,25	110,22
C3-M02	0,10	11,20	7,10	0,44	7,04	0,47	0,40	131,71
C3-M03	0,10	10,20	7,30	0,50	5,66	1,00	0,35	198,12
C3-M04	0,05	9,80	8,90	0,50	3,51	0,92	0,25	80,55
C3-M05	0,05	9,80	3,40	0,50	24,96	0,23	0,43	243,63
C3-M06	0,10	9,80	8,40	0,50	2,73	0,95	0,15	38,98
C3-M07	0,05	9,80	7,70	0,50	8,19	0,70	0,20	114,50
C3-M08	0,10	9,80	7,80	0,50	3,90	0,97	0,12	45,49
C3-M09	0,10	9,80	8,40	0,50	2,73	0,77	0,10	20,94
C3-M10*					5,97			164,58

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 5. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 3.4: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm^3)	Profundidad suelo (m)	COS
C3.4-M01	0,05	10,00	6,80	0,50	12,48	0,32	0,55	222,39
C3.4-M02	0,10	10,20	5,00	0,50	10,14	0,48	0,35	170,71
C3.4-M03	0,05	10,00	5,70	0,50	16,77	0,28	0,70	322,82
C3.4-M04	0,03	9,80	6,40	0,50	22,10	0,30	0,85	567,31
C3.4-M05	0,05	9,80	5,00	0,50	18,72	0,23	0,60	257,21
C3.4-M06	0,05	10,00	8,10	0,50	7,41	0,53	0,28	109,55
C3.4-M07	0,05	10,20	6,90	0,50	12,87	0,36	0,90	413,51
C3.4-M08	0,10	10,20	6,40	0,50	7,41	0,45	0,39	129,18
C3.4-M09	0,05	10,00	6,50	0,50	13,65	0,23	0,42	128,99
C3.4-M10	0,05	10,20	6,50	0,50	14,43	0,27	0,09	35,98

Tabla 6. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 4: Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm^3)	Profundidad suelo (m)	COS
C4-M03	0,05	10,20	6,80	0,50	13,26	0,43	0,30	169,46
C4-M04	0,10	9,80	4,00	0,50	11,31	0,43	0,23	112,90
C4-M05	0,10	9,80	5,00	0,50	9,36	0,47	0,28	122,13
C4-M06	0,05	10,00	7,10	0,50	11,31	0,44	0,25	123,84
C4-M07	0,05	10,00	8,20	0,50	7,02	0,38	0,40	105,30
C4-M08	0,10	10,20	4,60	0,50	10,92	0,87	0,28	265,71
C4-M09	0,10	9,80	4,70	0,50	9,95	0,57	0,30	168,87
C4-M10	0,05	10,20	6,40	0,50	14,82	0,47	0,32	221,00
C4-M11	0,05	10,00	6,10	0,50	15,21	0,25	0,45	171,11
C4-M12	0,05	10,20	6,90	0,50	12,87	0,39	0,30	150,97

Tabla 7. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 5: Páramo herbáceo con Chusquea nana*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm^3)	Profundidad suelo (m)	COS
C5-M01	0,05	10,10	8,40	0,50	6,63	0,58	0,30	115,76
C5-M03	0,05	10,10	8,40	0,50	6,63	0,60	0,20	80,09
C5-M04	0,05	10,10	8,50	0,50	6,24	0,41	0,38	97,22
C5-M09	0,05	10,10	9,00	0,50	4,29	0,59	0,29	73,40
C5-M10	0,05	10,10	9,00	0,50	4,29	0,55	0,24	56,42
C5-M16	0,05	10,00	8,60	0,50	5,46	0,58	0,25	79,31
C5-M17	0,05	10,00	7,60	0,50	9,36	0,41	0,30	115,69
C5-M18	0,10	10,20	7,60	0,50	5,07	0,81	0,43	176,37
C5-M19	0,05	9,80	2,90	0,50	26,91	0,24	1,32	841,85
C5-M20	0,05	9,80	4,40	0,50	21,06	0,14	0,30	90,98

Tabla 8. *Contenido de carbono en Suelo ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 6: Páramo arbustivo de Sabanilla*

Código	Peso muestra	Titulación blanco(Vo)	Titulación muestra(V)	N	CO (%)	DA (g/cm^3)	Profundidad suelo (m)	COS
C6-M01	0,05	10,10	7,10	0,50	11,70	0,35	0,30	124,25
C6-M03	0,05	10,10	9,30	0,50	3,12	1,03	0,35	112,48
C6-M04	0,10	9,90	6,80	0,50	6,05	0,76	0,30	138,01
C6-M05	0,10	11,20	8,40	0,44	4,80	0,87	0,35	146,47
C6-M07	0,05	10,10	9,50	0,50	2,34	1,02	0,15	35,70
C6-M08	0,05	10,10	8,40	0,50	6,63	0,87	0,25	143,37
C6-M10	0,05	10,10	8,70	0,50	5,46	0,74	0,15	60,93
C6-M12	0,05	10,10	9,20	0,50	3,51	1,37	0,15	72,24
C6-M14	0,05	10,10	8,60	0,50	5,85	0,69	0,20	80,73
C6-M15	0,05	10,10	7,60	0,50	9,75	0,53	0,25	129,92

Anexo 10. Contenido de carbono total (t ha⁻¹)

Tabla 1. *Contenido de carbono total (t ha⁻¹) de la comunidad 1: Páramo herbáceo de bambúes*

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C1-M01	2,28	1,04	98,28	101,60
C1-M02	5,01	2,43	164,63	172,07
C1-M03	3,61	2,24	93,01	98,86
C1-M04	0,65	3,07	57,93	61,65
C1-M05	2,48	4,27	102,19	108,94
C1-M06	1,43	1,85	140,90	144,18
C1-M07	0,32	6,42	427,51	434,25
C1-M08	2,92	1,03	34,24	38,19
C1-M09	3,08	3,39	312,10	318,57
C1-M10	11,70	1,88	192,75	206,33

Tabla 2. *Contenido de carbono total (t ha⁻¹) de la comunidad 2: Páramo arbustivo del norte del PNP*

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C2-M01	15,51	3,47	88,46	107,44
C2-M02	10,90	4,60	93,43	108,93
C2-M03	10,20	4,91	187,43	202,54
C2-M04	15,84	4,67	132,13	152,64
C2-M05	6,01	3,60	33,90	43,51
C2-M06	36,12	6,72	190,08	232,92
C2-M07*	6,87	1,49	63,27	71,63
C2-M08*	4,22	1,12	37,44	42,78
C2-M09*	5,75	1,33	93,74	100,82
C2-M10*	8,04	1,33	85,12	94,49

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 3. *Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 2.3: Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C2.3-M01	18,49	6,36	95,96	120,81
C2.3-M02	6,58	2,38	31,69	40,65
C2.3-M03	4,14	2,00	72,61	78,75
C2.3-M04	9,20	1,28	258,33	268,81
C2.3-M05	7,59	1,71	115,32	124,62
C2.3-M06	9,80	3,22	90,90	103,92
C2.3-M07	5,58	2,52	154,86	162,96
C2.3-M08	4,50	1,74	113,63	119,87
C2.3-M09	12,50	3,38	147,33	163,21
C2.3-M10*	4,04	0,53	110,33	114,90

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 4. *Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 3: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C3-M01	7,94	2,92	110,22	121,08
C3-M02	7,38	5,72	131,70	144,80
C3-M03	11,31	3,20	198,12	212,63
C3-M04	10,29	3,03	80,55	93,87
C3-M05	14,65	6,39	243,63	264,67
C3-M06	4,74	2,17	38,98	45,89
C3-M07	13,42	25,53	114,49	153,44
C3-M08	11,08	6,37	45,48	62,93
C3-M09	12,25	5,72	20,93	38,90
C3-M10*	7,47	0,16	164,58	172,21

*(Santín Aguirre & Vidal González, 2012)

Tabla 5. *Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 3.4: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP*

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C3.4-M01	8,55	2,51	222,39	233,45
C3.4-M02	11,25	2,47	170,70	184,42
C3.4-M03	20,20	2,34	322,82	345,36
C3.4-M04	7,26	1,30	567,30	575,86
C3.4-M05	30,97	4,82	257,21	293,00
C3.4-M06	12,87	2,81	109,54	125,22
C3.4-M07	18,81	1,83	413,51	434,15
C3.4-M08	16,84	5,55	129,17	151,56
C3.4-M09	13,49	3,73	128,99	146,21
C3.4-M10	5,37	43,50	35,97	84,84

Tabla 6. *Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 4: Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP*

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C4-M03	46,94	3,24	169,46	219,64
C4-M04	38,88	24,84	112,89	176,61
C4-M05	11,95	9,54	122,12	143,61
C4-M06	11,70	2,36	123,84	137,90
C4-M07	16,38	4,69	105,30	126,37
C4-M08	24,31	3,70	265,70	293,71
C4-M09	8,06	3,72	168,86	180,64
C4-M10	23,31	1,27	220,99	245,57
C4-M11	9,90	2,80	171,11	183,81
C4-M12	25,87	17,60	150,96	194,43

Tabla 7. *Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 5: Páramo herbáceo con *Chusquea nana**

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C5-M01	5,11	0,36	115,75	121,22
C5-M03	0,70	1,31	80,09	82,10
C5-M04	5,67	0,86	97,21	103,74
C5-M09	2,20	2,09	73,40	77,69
C5-M10	8,17	4,59	56,42	69,18
C5-M16	1,58	1,03	79,30	81,91
C5-M17	0,84	3,24	115,68	119,76
C5-M18	4,89	3,86	176,37	185,12
C5-M19	7,22	0,73	841,85	849,80
C5-M20	12,64	1,98	90,97	105,59

Tabla 8. *Contenido de carbono total ($t\ ha^{-1}$) de la comunidad 6: Páramo arbustivo de *Sabanilla**

Código	Biomasa	Necromasa	Suelo	Carbono Total
C6-M01	5,31	23,95	124,25	153,51
C6-M03	17,52	9,54	112,47	139,53
C6-M04	4,97	14,80	138,00	157,77
C6-M05	15,24	24,03	146,47	185,74
C6-M07	4,60	18,83	35,69	59,12
C6-M08	12,68	18,23	143,37	174,28
C6-M10	4,87	6,88	60,93	72,68
C6-M12	6,44	7,18	72,23	85,85
C6-M14	37,40	12,94	80,73	131,07
C6-M15	28,27	7,82	129,91	166,00

Anexo 11. Contenido de humedad en el suelo (%)

Tabla 1. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 1: Páramo herbáceo de bambúes*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C1-M01	38,30	45,12
C1-M02	32,24	77,29
C1-M03	29,87	37,83
C1-M04	44,21	61,78
C1-M05	50,04	69,01
C1-M06	51,97	82,44
C1-M07	60,95	79,68
C1-M08	24,90	45,21
C1-M09	38,51	50,50
C1-M10	36,00	41,66

Tabla 2. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 2: Páramo arbustivo del norte del PNP*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C2-M01	47,28	65,77
C2-M02	18,41	20,42
C2-M03	32,77	40,98
C2-M04	29,24	38,40
C2-M05	54,16	69,49
C2-M06	40,04	61,76

Tabla 3. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 2.3: Páramo arbustivo del norte del PNP/ Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C2.3-M01	17,46	20,86
C2.3-M02	20,36	29,61
C2.3-M03	32,91	51,20
C2.3-M04	27,25	34,84
C2.3-M05	32,49	48,33
C2.3-M06	66,69	78,76
C2.3-M07	30,22	41,43
C2.3-M08	44,37	58,67
C2.3-M09	26,99	33,02

Tabla 4. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 3: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte del PNP*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C3-M01	41,43	48,14
C3-M02	40,47	57,41
C3-M03	13,90	20,37
C3-M04	27,80	33,43
C3-M05	55,71	69,41
C3-M06	23,63	30,13
C3-M07	30,85	42,04
C3-M08	21,84	28,38
C3-M09	34,19	42,86

Tabla 5. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 3.4: Páramo arbustivo denso del Centro-Norte y Centro-Sur del PNP*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C3.4-M01	45,16	60,60
C3.4-M02	36,08	58,63
C3.4-M03	42,30	68,69
C3.4-M04	41,03	64,52
C3.4-M05	43,59	67,63
C3.4-M06	35,78	48,63
C3.4-M07	32,70	56,87
C3.4-M08	37,57	52,15
C3.4-M09	49,00	79,02
C3.4-M10	55,42	71,27

Tabla 6. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 4: Páramo arbustivo denso del Centro-Sur del PNP*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C4-M03	39,26	61,09
C4-M04	40,05	61,50
C4-M05	45,06	55,13
C4-M06	42,77	52,62
C4-M07	52,48	62,65
C4-M08	27,96	38,25
C4-M09	39,61	51,71
C4-M10	42,80	57,32
C4-M11	56,82	77,70
C4-M12	44,55	58,39

Tabla 7. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 5: Páramo herbáceo con Chusquea nana*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C5-M01	34,96	50,54
C5-M03	42,25	50,00
C5-M04	50,00	60,88
C5-M09	35,83	48,52
C5-M10	39,92	52,04
C5-M16	43,11	49,02
C5-M17	52,69	61,13
C5-M18	35,16	42,25
C5-M19	54,10	78,81
C5-M20	35,91	84,09

Tabla 8. *Contenido de humedad en el suelo (%) la comunidad 6: Páramo arbustivo de Sabanilla*

Código	% Humedad del Suelo a CC (1/3 atm)	Humedad del Suelo a Sat. (0 atm)
C6-M01	44,97	65,75
C6-M03	23,45	30,70
C6-M04	31,55	43,54
C6-M05	32,93	35,83
C6-M07	24,07	30,85
C6-M08	26,32	35,80
C6-M10	29,95	42,33
C6-M12	15,55	20,15
C6-M14	35,98	43,95
C6-M15	41,61	53,08

Anexo 12. Equipo de trabajo de campo



Figura 1. Sector “Cajanuma”. Equipo de trabajo: Carlos Sarango, Xavier Landin, Eduardo Gutiérrez, Fernando Martínez, Ing. Pablo Álvarez, Carlos Jiménez, Gabriela Moreno, Juan Darío Quinde y Alex Ramos.



Figura 2. Sector “Lagunas del Compadre”. Equipo de trabajo: Xavier Landin, Gabriela Moreno, Carlos Jiménez y Carlos Sarango



Figura 3. Sector “Lagunas del Compadre”. Equipo de trabajo: Alex Ramos, Fernando Martínez, Juan Darío Quinde, Ing. Pablo Álvarez, Carlos Sarango, Eduardo Gutiérrez y Gabriela Moreno.



Figura 4. Sector “Banderillas”. Equipo de trabajo: Christian Abad, Juan Darío Quinde, Fernando Martínez, Carlos Jiménez, Gabriela Moreno y Carlos Sarango.



Figura 5. Sector “Banderillas”. Equipo de trabajo: Gabriela Moreno y Carlos Jiménez.



Figura 6. Sector “El Tiro”. Equipo de trabajo: Natalia Angamarca y Christian Cueva



Figura 7. Sector “Cerro Toledo”. Equipo de trabajo: Jonathan Roa, Jorge Márquez, Fernando Martínez y Carlos Sarango.



Figura 8. Sector “Cerro Toledo”. Equipo de trabajo: Damián Ontaneda, Natalia Angamarca, Carlos Sarango, Fernando Martínez, Christian Abad, Carlos Jiménez y Álvaro Loaiza.



Figura 9. Sector “Sabanilla”. Equipo de trabajo: Fernando Martínez, Juan Darío Quinde y Carlos Sarango.



Figura 10. Sector “Sabanilla”. Tesistas: Gabriela Moreno y Juan Darío Quinde