



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Relaciones de la composición, diversidad florística y estructura con el carbono  
almacenado en Bosques piemontanos bajos del Macizo del Cajas Azuay-Ecuador**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero Agrónomo

**Autores:**

Juan Fernando Criollo Montaleza

CI: 0105267652

Correo electrónico: [jfernandocmtt@gmail.com](mailto:jfernandocmtt@gmail.com)

Brigitte Arianna Jaramillo Gonzaga

CI: 0106065287

Correo electrónico: [arjaramillo93@gmail.com](mailto:arjaramillo93@gmail.com)

**Director:**

Ing. Forst. Ángel Oswaldo Jadán Maza M Sc.

CI: 1103298061

CUENCA, ECUADOR

24 de noviembre del 2021



## RESUMEN

Los bosques tropicales andinos del Ecuador contienen una gran diversidad biológica debido a sus diferentes aspectos ecológicos, de los cuales destaca el que acumulan carbono en su biomasa, convirtiéndose en bosques de interés investigativo. El presente estudio generó información sobre la relación entre la composición, diversidad florística y estructura, con el carbono almacenado en diferentes compartimentos. Estos compartimentos están ubicados en los remanentes de bosques maduros nativos dentro de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas. Aquí se levantó información de 20 parcelas (10 parcelas en cada tipo de bosque). En la parte más alta (San Antonio-Chaucha) están los Bosques siempreverdes montanos bajos situado a 1500 m s.n.m.  $\pm$  500 m y en la parte más baja (La Iberia–Molleturo) se encuentran los Bosques siempreverdes piemontanos a 500 m s.n.m.  $\pm$  500 m. Se calculó el carbono acumulado en cuatro compartimentos naturales: necromasa, biomasa subterránea, suelo y biomasa aérea. Además, con los datos de composición, diversidad florística y estructura se establecieron relaciones utilizando Modelos Lineales Generalizados (MLG). Los resultados obtenidos para el carbono orgánico total (COT) en diferentes tamaños de la vegetación ( $DAP \geq 2,5$ ;  $\geq 5$ ;  $\geq 10$ ) fueron mayores en el Bosque siempreverde piemontano en comparación con el Bosque siempreverde montano bajo, teniendo en cuenta que los valores más altos de almacén de carbono se encontraron en la biomasa aérea donde se mostró una relación significativa y positiva entre el área basal y el almacenamiento de carbono. El análisis NMS (Escalamiento multidimensional no métrico) mostró que la variable CA (carbono aéreo) está íntimamente asociada con la composición de especies dentro de los 3 niveles de tamaño de la vegetación. Los MLG (Modelos Lineales Generalizados) mostraron que el área basal se relacionó significativa y positivamente con el CA de la vegetación, mientras que la densidad arbórea se relacionó con el CA de la vegetación con  $DAP \geq 5\text{cm}$  y  $\geq 10\text{cm}$ . En cuanto al carbono en los compartimentos; el carbono almacenado en la necromasa se relacionó significativamente únicamente con el área basal. El área basal con los individuos con  $DAP \geq 2,5\text{cm}$ ,  $\geq 5\text{cm}$  y  $\geq 10\text{cm}$  y la riqueza de especies con la vegetación de  $DAP \geq 5\text{cm}$  y  $\geq 10\text{cm}$  se relacionaron significativa y positivamente con el COT en sus tres tamaños de vegetación. Estos resultados posiblemente se encuentren influenciados por la similitud de especies existentes entre los sitios, factores de suelo o correlación espacial, lo cual debe ser investigado en estudios a futuro.

**Palabras claves:** Bosques. Composición florística. Diversidad florística. Estructura. Almacenamiento de carbono. Bosques siempreverdes piemontano. Bosques siempreverde montanos bajos.



## ABSTRACT

The Andean tropical forests of Ecuador contain great biological diversity due to the different ecological aspects and they accumulate carbon in their biomass, making them forests of great investigative interest. The present study generated information about the relationship between composition, floristic diversity and structure with the stored carbon in different compartments. The compartments are located in the remnants of the mature native forests within the protected zone of Cajas National Park, here the information of 20 plots (10 plots of each type of forest) was gathered. In the highest part (San Antonio - Chaucha) are the evergreen montane forests between 1 500 m a.s.l. (meters above sea level)  $\pm$  500 m. and in the lowest part (La Iberia – Molleturo) are the evergreen piedmontane forests between 500 m a.s.l.  $\pm$  500 m. The accumulated carbon was calculated in four natural compartments: necromass, below ground biomass, forest floor, and above ground biomass. In addition, with the composition, floristic diversity and structure data, relationships were established using Generalized Linear Models (GLM). The results obtained show that the total organic carbon (TOC) in the different sizes of vegetation, (tree diameter at chest height or DBH  $\geq$  2,5;  $\geq$  5;  $\geq$  10) were greater, taking into account that the highest carbon storage values were found in the area biomass where a significant and positive relationship was shown between the basal area and carbon storage. The NMS (Non-Metric Multidimensional Scaling) analysis showed that the AC (aerial carbon) variable is closely associated with the species composition within the 3 levels of vegetation size. The GLM (Generalized Linear Models) showed that the basal area was significantly and positively related to the AC in the three sizes of the vegetation, while the tree density was related to the AC of the vegetation with DBH  $\geq$  5cm and  $\geq$  10 cm. Regarding the carbon in the compartments; the carbon stored in the necromass was significantly related only to the basal area. Basal area with individuals with DBH  $\geq$  2.5 cm,  $\geq$  5 cm and  $\geq$  10 cm and species richness with vegetation with DBH  $\geq$  5cm and  $\geq$  10cm were significantly and positively related to TOC in its three vegetation sizes. These results are possibly influenced by the similarity of existing species between the sites, soil factors or spatial correlation, which should be investigated in future studies.

**Key words:** Forests. Floristic composition, Floristic Diversity, Structure, Carbon Storage, Piedmont evergreen forests, Lower montane evergreen forests.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>8</b>
<b>ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA</b> .....	<b>9</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>14</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>15</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
2.1. La diversidad florística en los Andes del Ecuador .....	19
2.2. Composición florística en los Bosques montanos andinos.....	19
2.3. Estructura de los Bosques montanos andinos.....	21
2.4. La biomasa en los Bosques montanos andinos.....	22
2.5. Las reservas de carbono en los Bosques montano andinos .....	23
2.6. La diversidad florística y su relación con el almacenamiento de carbono en Bosques montanos andinos .....	25
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>27</b>
3.1. Objetivo general .....	27
3.2. Objetivos específicos .....	27
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	<b>27</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
5.1. Materiales .....	28
5.2. Área de estudio .....	28



5.3.	Instalación de parcelas y muestreo de campo.....	29
5.4.	Metodología para el objetivo específico uno.....	30
5.5.	Metodología para el objetivo específico dos: .....	35
5.6.	Análisis de datos .....	36
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
6.1.	Estimación de las reservas de carbono en los diferentes compartimientos .....	39
6.2.	Relación entre variables de la vegetación con el almacenamiento de carbono en diferentes componentes .....	44
<b>7.</b>	<b>DISCUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>64</b>



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Descripción de depósitos de carbono en un ecosistema. (FAO, 2004).....	24
<b>Tabla 2:</b> Ecuaciones utilizadas para estimar el carbono almacenado. ....	34
<b>Tabla 3:</b> Resumen de promedios del contenido de carbono almacenado $\pm$ errores estándar según la prueba T para muestras independientes ( $P < 0,05$ , en cada uno de los compartimentos, obtenidos en parcelas de 0,1 ha. ....	44
<b>Tabla 4:</b> Variables independientes significativas con la ordenación NMS: Bosques siempreverdes montanos bajos y piemontanos. ....	45
<b>Tabla 5:</b> GLM con las relaciones entre diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en los compartimentos de carbono orgánico aéreo en tres categorías de tamaño de la vegetación: $DAP \geq 2,5$ cm; 5 cm y 10 cm de la biomasa aérea. ....	47
<b>Tabla 6:</b> GLM con las relaciones entre diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en los compartimientos de: raíces, necromasa y suelo.....	47
<b>Tabla 7:</b> GLM con las relaciones entre diversidad florística y estructura con el carbono orgánico total considerando tres categorías de tamaño de la vegetación: $DAP \geq 2,5$ cm; 5 cm y 10 cm de la biomasa aérea.....	48



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de ubicación de las parcelas de los sitios de estudio de San Antonio de Chaucha y La Iberia de Molleturo.....	29
<b>Figura 2:</b> Diseño de la parcela experimental. (Arellano et al., 2016) .....	30
<b>Figura 3:</b> Diseño de la parcela con los puntos de muestreo para el levantamiento de datos en campo. (Cayuela, 2013).....	31
<b>Figura 4:</b> Promedio de carbono almacenado en la necromasa (Mg C/ha) obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano. ....	39
<b>Figura 5:</b> Promedios de carbono almacenado en la biomasa subterránea, (a) carbono almacenado en raíces finas (Mg/ha) y (b) carbono almacenado en raíces gruesas (Mg/ha) obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano. ....	40
<b>Figura 6:</b> Promedios del carbono orgánico del suelo, obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.....	41
<b>Figura 7:</b> Promedios del contenido de (CBA) carbono almacenado en la biomasa aérea (Mg C/ha), (a) carbono almacenado en la biomasa aérea en individuos con $DAP \geq 2,5$ cm, (b) carbono almacenado en la biomasa aérea en individuos con $DAP \geq 5$ cm, (c) carbono almacenado en la biomasa aérea en individuos con $DAP \geq 10$ cm, obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.....	42
<b>Figura 8:</b> Promedios del contenido de Carbono Orgánico Total (COT) (Mg C/ha), (a) COT en individuos con $DAP \geq 2,5$ cm, (b) COT en individuos con $DAP \geq 5$ cm, (c) COT en individuos con $DAP \geq 10$ cm, obtenidos en parcelas de 0,1 ha. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.....	43
<b>Figura 9:</b> Escalamiento multidimensional no métrico (NMS) para medición de similitud en la composición florística en los dos sitios de estudio: Bosque siempreverde montanos bajos (San Antonio) y Bosque siempreverde piemontano (La Iberia).....	45
<b>Figura 10:</b> Gráficos de dispersión entre la diversidad florística y estructura de la vegetación con el almacenamiento de carbono orgánico total, área basal como variable independiente con el CA (carbono aéreo) considerando los tres tamaños de la vegetación ( $DAP \geq 2,5$ cm, $\geq 5$ cm y $\geq 10$ cm), CA: Carbono aéreo (Mg C/ha).....	49



## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Total de relaciones obtenidas, se muestra las variables relacionadas .....	64
<b>Anexo 2:</b> Datos obtenidos de la variable suelo.....	65
<b>Anexo 3:</b> Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las variables de almacenamiento de carbono .....	65
<b>Anexo 4:</b> Variables de almacenamiento de carbono y sus valores medios, desviación estándar (DE), mínimo (Min), máximo (Max) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.....	66
<b>Anexo 5:</b> Bosques de estudio San Antonio (izquierda) y La Iberia (derecha). .....	67
<b>Anexo 6:</b> Cuadrante de muestreo, recolección de raíces y tomas de muestras de suelo.....	67
<b>Anexo 7:</b> selección de raíces (Gruesas y finas) y suelo tamizado. ....	67
<b>Anexo 8:</b> Determinación de densidad aparente, conductividad eléctrica, pH y materia orgánica. ....	68
<b>Anexo 9:</b> Hoja de campo para la descripción general de la parcela de 0,1 ha.....	69
<b>Anexo 10:</b> Hoja de campo para los datos del muestro de suelo. ....	70



## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

<b>DAP</b>	Diámetro a la Altura del Pecho
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<b>MAE</b>	Ministerio del Ambiente del Ecuador
<b>IAF</b>	Índice del Área Foliar
<b>IAI</b>	Índice de Valor de Importancia
<b>C</b>	Carbono
<b>Ha</b>	Hectáreas
<b>Mg</b>	Mega gramos
<b>m s.n.m.</b>	metros sobre el nivel del mar
<b>NMS</b>	Escalamiento multidimensional no métrico
<b>GLMM</b>	Modelos lineales generalizados mixtos
<b>COT</b>	Carbono orgánico total
<b>Ca</b>	Carbono aéreo



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Juan Fernando Criollo Montaleza en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Relaciones de la composición, diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en Bosques piemontanos bajos del Macizo del Cajas Azuay-Ecuador”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de noviembre del 2021

Juan Fernando Criollo Montaleza

C.I: 0105267652



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Juan Fernando Criollo Montaleza, autor/a del trabajo de titulación “Relaciones de la composición, diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en Bosques piemontanos bajos del Macizo del Cajas Azuay-Ecuador”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 24 de noviembre del 2021

Juan Fernando Criollo Montaleza

C.I: 0105267652



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Brigitte Arianna Jaramillo Gonzaga en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Relaciones de la composición, diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en Bosques piemontanos bajos del Macizo del Cajas Azuay-Ecuador”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de noviembre del 2021

Brigitte Arianna Jaramillo Gonzaga

C.I: 0106065287



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Brigitte Arianna Jaramillo Gonzaga, autor/a del trabajo de titulación “Relaciones de la composición, diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en Bosques piemontanos bajos del Macizo del Cajas Azuay-Ecuador”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 24 de noviembre del 2021

Brigitte Arianna Jaramillo Gonzaga

C.I: 0106065287



## AGRADECIMIENTOS

Hemos realizado un trabajo arduo pero gratificante, un trabajo que ha culminado gracias a la intervención de personas que nos han acompañado en el proceso de esta investigación. Es por esta razón que queremos agradecer a nuestro director de tesis, Ing. Oswaldo Jadán no solo por su orientación sino también por su confianza, paciencia, sus valiosas aportaciones y amistad brindada durante el desarrollo y culminación de esta tesis. Así mismo, agradecemos al Ing. Hugo Cedillo, Ing. Isabel Alvarado, Ing. Carlos Cobos y al Ing. Darío Gualpa por su amistad, su esfuerzo y apoyo brindado, que ha sido sumamente importante durante la fase de campo y esencial para la culminación de nuestra tesis. A la Ing. Jessica Merecé por habernos brindado su asesoría y ayuda durante las actividades realizadas en el laboratorio de suelos.

Agradecemos a Dios por habernos permitido la vida y guiarnos con sabiduría hasta este momento. Por otorgarnos la paciencia, la fortaleza y la comprensión mutua para afrontar los diferentes desafíos que se nos han presentado a lo largo de nuestra carrera.

Agradecemos a todas las personas que habitan en la zona de estudio, quienes nos facilitaron el acceso a sus propiedades para el desarrollo de nuestra investigación; por último, dar las gracias a todos los docentes de la Universidad de Cuenca quienes fueron excelentes mentores durante nuestra formación universitaria y profesional.

**Criollo Juan Fernando & Jaramillo Arianna**



## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Juan e Hilda, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional durante todo este trayecto estudiantil y de vida. A mi hermano Brian, por siempre brindarme su apoyo. De manera especial a la memoria de mi hermana Katherine Isabel, por ser mi inspiración y me motiva día a día a seguir adelante, mis triunfos van dedicados a ti. Mientras viva, tú también vivirás para siempre en mi recuerdo.*

***Juan Fernando***



## DEDICATORIA

*De manera especial, a mi hija Darlyne, por su paciencia, comprensión y su cariño infinito, por ser mi mejor persona, mi inspiración, mi compañera y mi fuerza para luchar todos los días por un futuro mejor. A mi hermana mayor Janela, por su apoyo, confianza y sabiduría cuando más lo necesitaba, por ser mi ejemplo a seguir y alentarme a ser mejor. A mis padres Julia y Rined, por su paciencia, sacrificio y trabajo por tantos años, guiarme por el camino correcto y darme la oportunidad de superarme y tener una buena educación a pesar de los infortunios. A mis hermanos Evelin y Alejandro, por brindarme su apoyo incondicional y desinteresado. A mis sobrinos Benjamín, Emma y Eduardo por ser motivo de nuevas alegrías y esperanzas y quienes serán grandes promesas futuras. A mis familiares que se involucraron positivamente en este proceso, especialmente a Joseph por su comprensión y ayuda desinteresada durante este proceso.*

***Arianna***



## 1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la cobertura de vegetación natural en el año 2 008 fue de 14 123 637 ha, que representa el 57 % del territorio nacional. De esta vegetación natural, están los bosques nativos con 12 500 000 ha (MAE, 2014). Estas cifras permiten deducir que el país posee un alto nivel de cobertura de vegetación forestal natural. Aquí sobresale el bosque montano andino que es considerado como un ecosistema de alta riqueza biológica y son fuentes primarias de servicios ecosistémicos (Granja, 2015). De estos servicios se pueden resaltar la captura y almacenamiento de carbono que en algunos contextos geográficos dentro de estos ecosistemas forestales es poco conocido, pese a que son importantes sumideros de carbono (Farinango, 2020)

En el sur del Ecuador, existen considerables remanentes de vegetación forestal natural andina en donde se han realizado diferentes investigaciones vinculadas a los beneficios ecosistémicos que poseen estas comunidades forestales (Cabrera, Fries, et al., 2019; Jadán, Toledo, et al., 2017). Los bosques tropicales andinos que almacenan hasta un 50% del carbono en la biomasa vegetal (Granja, 2015), registran las mayores cantidades de carbono en relación con otras coberturas vegetales (estratos no forestales como las praderas y sistemas agrícolas se acumulan entre el 33% y el 17% del carbono, respectivamente) (Granja, 2015). Esto ha sido explicado debido a su alta diversidad vegetal y también al efecto directo de su estructura altamente heterogénea (Granja, 2015; Jadán, Quizhpe, et al., 2017).

El Bosque montano andino juega un rol importante en el almacenamiento de carbono dentro de sus diferentes componentes. Aquí la biomasa de la vegetación aérea y el suelo intercambian aproximadamente el 80% de carbono con la atmósfera (Cruzado, 2010). Por medio de este proceso los bosques almacenan carbono en la biomasa de sus hojas, ramas, tallos y raíces, mientras liberan oxígeno hacia la atmósfera (Pardos, 2010). Los bosques en sus



diferentes compartimentos de almacenamiento permiten determinar los volúmenes de carbono como también determinar sus tasas netas de fijación (FAO, 2002). Actualmente el carbono almacenado marca una alta importancia ecológica ya que mitigan efectos negativos en el ambiente mediante la captura del CO<sub>2</sub> atmosférico (Granja, 2015). Este gas forma parte del efecto invernadero, que en cantidades elevadas es perjudicial para el trastorno ambiental climático (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

Con el fin de aportar al conocimiento sobre un servicio ecosistémico en relación con los parámetros intrínsecos de la vegetación, la presente investigación generó información sobre la composición de especies y estructura de la vegetación y su relación con el carbono almacenado en diferentes compartimentos de la vegetación (sobre: biomasa aérea, necromasa y debajo del suelo: raíces y suelo) en los tipos de bosques montanos en la provincia del Azuay.



## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. La diversidad florística en los Andes del Ecuador**

La diversidad florística es un atributo enlazado con la comprensión cuantitativa de la vegetación entre los ecosistemas o comunidades forestales (Jadan et al., 2017; Moreno et al., 2011). Dentro de esta diversidad se destaca en primer lugar la riqueza de especies, que consiste en la cantidad de especies en un lugar definido. En segundo lugar, a la equitatividad que es la relación que existe entre el número de individuos que posee cada especie (Cano & Stevenson, 2009).

Estudios realizados en los Andes tropicales han reportado sitios o regiones biogeográficas con mayor y menor diversidad. En un estudio realizado en el Chimborazo, Ecuador se mostraron en sus resultados de media a baja diversidad, comparado con otros ecosistemas tropicales de tierras bajas (Caranqui et al., 2016). En el Azuay, Ecuador se registró mayor diversidad florística en sitios ubicados a mayor altitud y en bosques de mayor edad de sucesión (Jadán, Toledo, et al., 2017). Homeier et al. (2010) documentaron menor diversidad o riqueza en sitios de menor altitud en un estudio realizado a escala local en los Andes orientales, en la misma región sur del Ecuador. Estas variaciones han permitido inferir heterogeneidad con respecto a variables de riqueza florística en los Andes tropicales en relación con las variables ambientales circundantes a nivel de hábitat y de paisaje (Cabrera, Benítez, et al., 2019).

### **2.2. Composición florística en los Bosques montanos andinos**

La composición florística representa a las especies vegetales que se encuentran en un ecosistema de bosque o sistema agroforestal (Jadán et al., 2016; Malizia et al., 2020). Es un parámetro cualitativo que se utiliza frecuentemente para hacer comparaciones entre las especies de diferentes sitios. Previo su clasificación se identifica las especies de un sitio específico lo



cual permite marcar una similitud o diferencia de la composición florística entre sitios y cuyo grado de similitud o especies compartidas se lo conoce como diversidad beta (Cano & Stevenson, 2009).

Dentro de la composición florística se destacan las especies de mayor importancia ecológica que son determinadas bajo índices convencionales como el IVI, en donde se utiliza parámetros cuantitativos como la abundancia, dominancia y frecuencia, absolutas y relativas (Curtis & McIntosh, 1951). También se destacan las especies indicadoras de variables de hábitat determinadas con base a la relación significativa entre su frecuencia y abundancia (De Cáceres et al., 2010).

En los Andes tropicales del Ecuador, existen diferentes formaciones vegetales que van desde las tierras bajas hasta los páramos (Sierra, 1999). Aquí sobresale el bosque siempreverde piemontano, que son formaciones de transición entre la vegetación de tierras bajas y las de cordillera. Sus características florísticas presentan elementos típicos de las dos floras, pero sus límites inferior y superior son también los límites de distribución de cada una de ellas (Lozada, 2007).

El Bosque siempreverde piemontano, posee un alto endemismo (aproximadamente el 10%), en donde los árboles alcanzan más de 30 m de altura, con una gran concentración de epífitas y un sotobosque arbustivo y herbáceo abundante. Se ubica en el occidente de las provincias de Cotopaxi, Los Ríos, Bolívar y Azuay-Guayas, entre 300 y 1 300 m s.n.m. (Sierra, 1999). Las especies características de este bosque son: *Carapa megistocarpa* (Meliaceae), *Erythrochiton carinatus* (Rutaceae), *Brownea coccinea* (Caesalpinaceae), *Castilla elastica* (Moraceae), *Iriartea deltoidea*, *Wettinia aequalis*, *Wettinia quinaria* (Arecaceae), *Caryodaphnopsis theobromifolia* (Moraceae), *Ocotea sodiroi* (Lauraceae) (Sierra, 1999).



Otra formación vegetal o tipo de bosque que existe en la región andina del Ecuador es el Bosque siempreverde montano bajo (Sierra, 1999). Se encuentra sobre la faja piemontana en un rango altitudinal aproximado que va desde los 1 300 a 1500 m s.n.m. en el sur de las estribaciones occidentales de los Andes. Aquí los árboles poseen un dosel entre 25 m a 30 m. (Sierra, 1999).

En el Bosque siempreverde montano bajo, las especies características son: *Anthurium ovatifolium*, *A. spp.* (Araceae); *Ceroxylon alpinum*, *Socratea exhorrida* (Arecaceae), *Buddleja americana* (Buddlejaceae), *Cecropia bullata*, *C. monostachya* y *C. spp.* (Cecropiaceae), *Cyathea spp.* (Cyatheaceae), *Heliconia spp* (Heliconiaceae), *Nectandra membranacea* (Lauraceae), *Carapa guianensis* (Meliaceae), *Siparuna guajalicensis*, *S. eggersii*, *S. laurifolia*, *S. spp.* (Monimiaceae), *Fuchsia macrostigma* (Onagraceae), *Piper spp* (Piperaceae), especies hemiepífitas de *Ficus spp.* (Moraceae) (Sierra, 1999).

### **2.3. Estructura de los Bosques montanos andinos**

Los árboles en los bosques a través de sus doseles forman la estructura y el ambiente apropiado para proveer un refugio a la biodiversidad de organismos tanto vegetales como animales (Tepán & Toledo, 2016). Esta estructura permite la entrada de la luz y condiciona procesos de regeneración natural dando como resultado interacciones naturales en la comunidad de plantas, contribuyendo a los procesos de restauración (Jadán, Toledo, et al., 2017; Palomeque et al., 2017). Las características estructurales de un bosque natural son un aspecto muy importante para conocer su dinámica y especialmente para definir su estructura y composición (Cabrera, Fries, et al., 2019; Jadán et al., 2016). Una de las características particulares de los bosques montanos es el gran número de especies representadas por pocos individuos y llevan consigo patrones complejos de tipo espacial entre el suelo y el dosel (Alvis, 2009).



La estructura de los bosques también permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque. Esta estructura puede evaluarse a través de índices que expresan la ocurrencia de las especies, como es el caso de las abundancias, frecuencias y dominancias, cuya suma relativa genera el Índice de Valor de Importancia (IVI) (Alvis, 2009). El Ecuador y la región sur del Ecuador es un país con gran diversidad natural forestal. Por lo tanto, la comprensión de sus diferentes aspectos ecológicos y estructurales, permitirá orientar de manera más eficaz el manejo exitoso de este tipo bosques (Alvis, 2009).

#### **2.4. La biomasa en los Bosques montanos andinos**

La biomasa es la cantidad de materia orgánica que se encuentra en los árboles como el elemento principal para estimar la cantidad de carbono almacenado en el bosque (González, 2008). En la mayoría de los estudios sobre almacenamiento de carbono en la biomasa en bosques naturales incluyendo los Andinos, se estima que el contenido de carbono corresponde aproximadamente al 50% de biomasa de los árboles vivos (Yepes et al., 2015). Incluye la biomasa aérea y subterránea de la masa viva, como árboles, arbustos, hierbas, raíces. También incluye la masa muerta de la hojarasca y residuos gruesos y finos asociados con el suelo (Lu, 2006).

Otro patrón importante en relación a la funcionalidad de los bosques andinos para la mitigación del cambio climático es la distribución relativa de contenidos de carbono en la biomasa aérea y en el suelo. En los amplios gradientes de elevación cubiertos en bosques montanos andinos se observa que la biomasa aérea disminuye con la elevación, pero es mayor el carbono orgánico en los suelos (Spracklen & Righelato, 2013). Se ha encontrado valores de carbono almacenado en la biomasa aérea y suelos de 130 y 200 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente (C. Girardin et al., 2014).



Un estudio realizado por Chuquimaco (2017) en el Perú, mostró que la cantidad de biomasa aérea almacenada en los Bosques andinos en altitudes de 2 900 m s.n.m.), del Santuario Nacional de Ampay, es similar a otros bosques ubicados por encima de los 3 000 m s.n.m. con 53,9 hasta 197 (Mg/ha). Sin embargo, estas cantidades difieren notablemente con los registrados en el sur del Ecuador a 2 830 m s.n.m. en donde se cuantificó más de 700 Mg/ha.

## **2.5. Las reservas de carbono en los Bosques montano andinos**

De manera general, los bosques tropicales poseen una de las mayores reservas de carbono en el planeta ya que contienen entre  $550 \pm 100$  Pg. C (1 Pg.=  $10^{15}$  g = Gt =  $10^9$  toneladas métricas) (Castañeda & Montes, 2017). Las principales reservas de carbono en estos ecosistemas son las que se encuentran en la biomasa viva de los árboles y la vegetación del sotobosque y la biomasa muerta o necromasa, desechos de madera y materia orgánica del suelo (Leuschner et al., 2013). La biomasa viva de los árboles por encima del suelo es típicamente el conjunto más grande de carbono almacenado en los bosques (Gibbs et al., 2007; Yepes et al., 2015).

La biomasa es toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta. La biomasa que se encuentra por encima del suelo es toda la biomasa viva incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas (FAO, 2004; Jadán et al., 2015). La biomasa que está por debajo del suelo es toda la biomasa viva de las raíces vivas. La biomasa muerta o necromasa es toda la biomasa leñosa muerta, ya sea en pie, sobre el suelo y dentro del suelo y la hojarasca. La madera muerta incluye la madera que yace en la superficie, las raíces muertas, los tocones de un diámetro igual o superior a 10 cm. o cualquier otro diámetro utilizado por el país, árboles muertos en pie, entre otros (Tabla 1) (FAO, 2004).

**Tabla 1:** Descripción de depósitos de carbono en un ecosistema. (FAO, 2004)

<b>Tipo de Material</b>		<b>Descripción</b>
<b>Biomasa</b>	Biomasa aérea	Toda la biomasa que se encuentra sobre el suelo incluyendo troncos, ramas, hojas, etc.
	<b>Materia orgánica viva</b>	Biomasa subterránea
<b>Necromasa</b>	Madera muerta	Troncos caídos, árboles muertos en pies, entre otros.
	<b>Materia orgánica muerta</b>	Hojarasca
<b>Suelos</b>	Materia orgánica en el suelo	Comprende el carbono orgánico en los suelos a una profundidad específica.
		Raíces finas vivas con diámetro menor a 2 mm.

Investigaciones recientes realizadas en los Andes del Ecuador y Perú dieron como resultado que las reservas de carbono totales son constantes a lo largo de diferentes gradientes altitudinales (bajo: 800 – 1 100 m s.n.m; medio: 1 900 – 2 100 m s.n.m. y alto: 2 700 – 2 900 m s.n.m.) con un stock medio de carbono total de  $244,7 \pm 80,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  en Ecuador y de  $211,5 \pm 46,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  para Perú (De la Cruz-Amo et al., 2020). Sin embargo, al estudiarlos individualmente, difieren los valores entre sitios debido a la ocurrencia de períodos más secos en el año en altitudes más altas, dando como resultado la disminución de materia orgánica en el suelo y aumentando la biomasa aérea (De la Cruz-Amo et al., 2020).

En bosques secundarios en los Andes ecuatoriales, se observa que las tasas de almacenamiento de carbono varían debido a las variables ambientales presentes en las gradientes altitudinales (3 600 – 4 350 m s.n.m.), mostrando ser predominante el carbono del suelo con  $113,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en el páramo, y en el bosque andino con  $63,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Calderón et al., 2020).



En un estudio realizado en dos parcelas permanentes en el sureste de Perú, en dos altitudes: 1 500 y 1 750 m s.n.m. se registraron 1,5 valores más altos a menor altitud con un promedio de  $11,9 \pm 0,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en comparación con la mayor altitud en donde se registró  $7,92 \pm 0,38 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Estos resultados se justifican debido a una influencia de la transición ecológica existente entre estos dos pisos florísticos, evidenciando un cambio en la productividad en la biomasa aérea y subterránea (Huasco et al., 2014).

Un estudio realizado por C. Girardin et al. (2014) en dos parcelas de bosque nuboso montañoso tropical en los Andes peruanos diferenciadas por pocos metros de altitud, mostraron pequeñas diferencias en la productividad de la biomasa neta con valores de  $7,1 \pm 0,39 \text{ Mg C ha}^{-1}$  a 2 825 m s.n.m. y de  $8,04 \pm 0,47 \text{ Mg C ha}^{-1}$  año a 3 025 m s.n.m. Esto se explicó por las diferentes edades de los rodales y también por la composición de las especies. Las variaciones del microclima no fueron determinantes. Estos valores se tornan importantes como base para comparar la producción o productividad de carbono entre ecosistemas a lo largo de los pisos florísticos estudiados.

## **2.6. La diversidad florística y su relación con el almacenamiento de carbono en Bosques montanos andinos**

La diversidad de especies en los bosques tropicales es fundamental para su funcionamiento, resiliencia y capacidad de proporcionar bienes y servicios ambientales (Cardinale et al., 2012). Las características estructurales heterogéneas de un bosque natural andino son importantes para conocer su dinámica, funcionalidad y para definir cuantitativamente su estructura y composición (Alvis, 2009). Funcionalmente las plantas juegan un papel importante en la captación y fijación del  $\text{CO}_2$  atmosférico mediante el proceso de fotosíntesis, el cual es



fundamental para mantener el equilibrio de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Granja, 2015).

Estudios han demostrado que el carbono almacenado se relaciona directamente con la composición de especies y diversidad registrada en biotipos arbóreos, arbustivos y herbáceos (Hall et al., 2012; Jadán, Quizhpe, et al., 2017). Las variables estructurales y de biomasa están íntimamente relacionados positivamente con la conservación de la biodiversidad, como otro servicio ecosistémico de los bosques montanos andinos. Basham et al. (2016) afirma que la comunidad de anfibios, aves y escarabajos peloteros se relacionan positivamente con la riqueza de especies arbóreas y la existencia de carbono almacenado.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Generar información sobre las relaciones de la composición, diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en bosques piemontano y montanos bajos del Macizo del Cajas, Azuay-Ecuador

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Estimar las reservas de carbono en diferentes compartimentos de almacenamiento sobre (biomasa aérea y necromasa) y debajo del suelo (raíces y suelo).
2. Establecer relaciones entre la composición, diversidad florística y estructura de la vegetación con el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, subterránea (raíces), suelo y necromasa, en bosques piemontanos y montanos bajos.

### **4. HIPÓTESIS**

Las reservas de carbono en la biomasa aérea, subterránea (raíces), suelo, necromasa y total, almacenado en bosques piemontanos andinos y montanos bajos aumentan conforme se incrementa la diversidad florística, composición y estructura de la vegetación.



## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

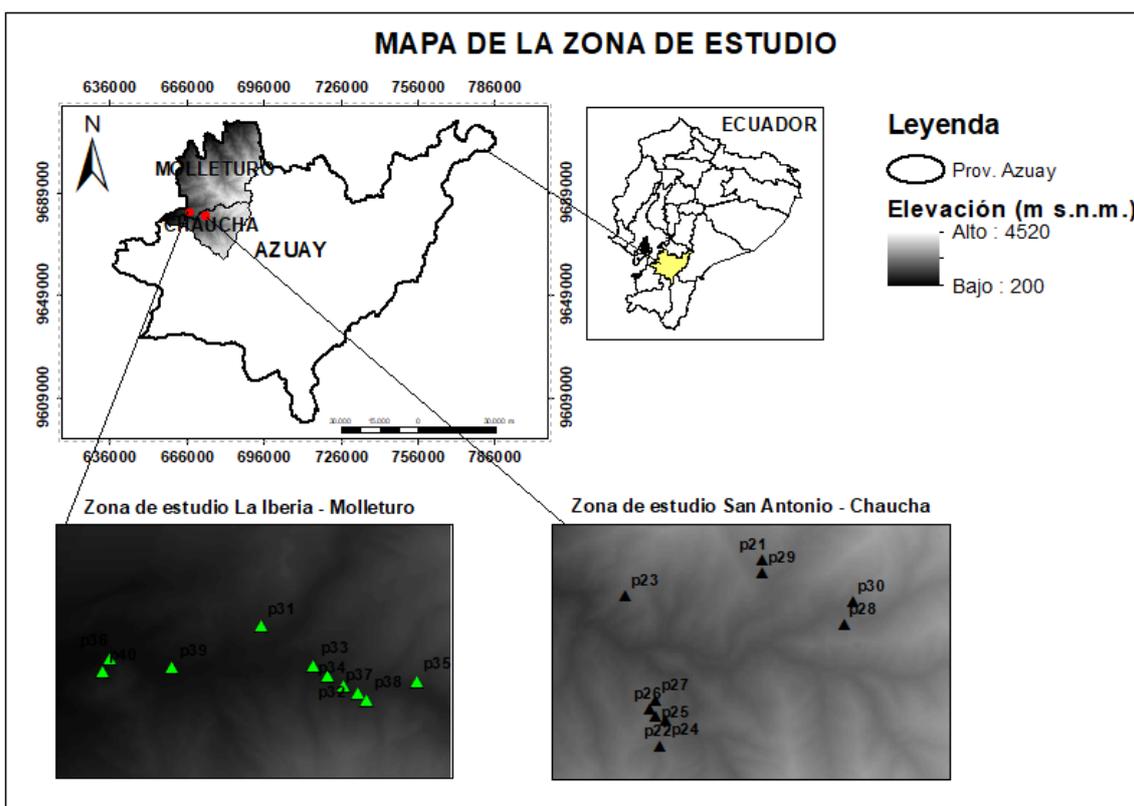
### **5.1. Materiales**

Para el levantamiento de información en las parcelas experimentales se utilizaron los siguientes materiales: cinta métrica, marco de madera (1m × 1m), machete, pala, barreta, cinta diamétrica, fundas plásticas, balanza, tijera de podar, densiómetro esférico cóncavo, piolas, brújula, sacos, sacos de plástico, cilindros (para muestras de suelo), combo, tablero y hojas de campo.

También se utilizaron los siguientes equipos: GPS y la estufa.

### **5.2. Área de estudio**

El área de estudio está localizada en los Andes Sur del Ecuador, provincia del Azuay, en las parroquias rurales de Chaucha y Molleturo perteneciente al cantón Cuenca, en los remanentes de bosques maduros nativos dentro del macizo o zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas (Figura 1). En la parte más alta (San Antonio comunidad perteneciente a la parroquia Chaucha) están los remanentes de Bosques siempreverdes montanos bajos situados entre 1 300 - 1 500 m s.n.m. En la parte más baja se encuentran los Bosques siempreverdes piemontanos (La Iberia comunidad perteneciente a la parroquia Molleturo) entre 500 – 1 000 m s.n.m. (Figura 1). Según las formaciones vegetales estos remanentes de bosques se encuentran situados en Bosques siempreverdes montanos bajos y piemontanos.



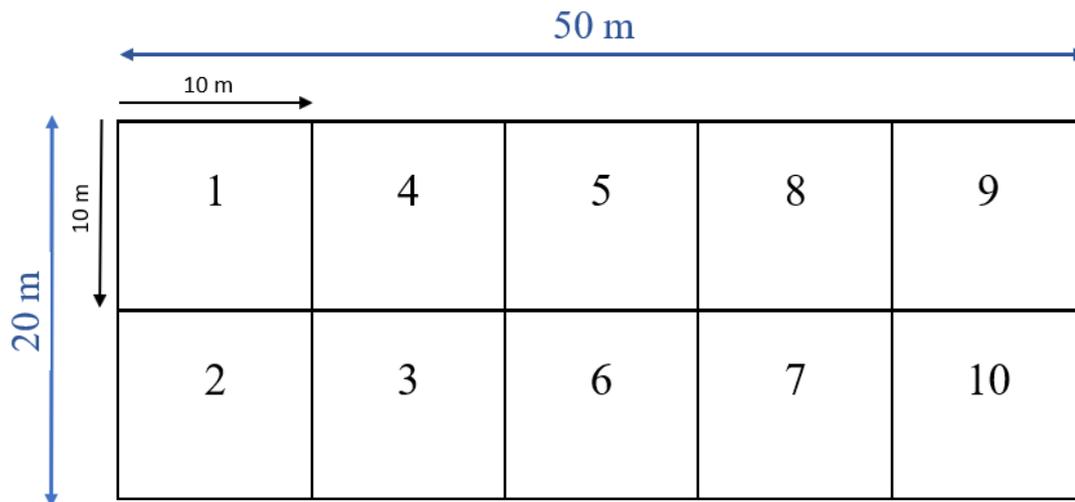
**Figura 1:** Mapa de ubicación de las parcelas de los sitios de estudio de San Antonio de Chaucha y La Iberia de Molleturo.

### 5.3. Instalación de parcelas y muestreo de campo

En el área de estudio se utilizaron un total de veinte parcelas permanentes de 20 m × 50 m (0,1 ha) instaladas bajo el proyecto de investigación denominado “*El rol de los bosques andinos frente al cambio climático con base a la diversidad taxonómica, y funcional y stock de carbono en Bosques siempreverdes montanos andinos. Azuay – Ecuador*”. Como actividades de este proyecto, previo la instalación de las parcelas se aplicó un diseño de muestreo estratificado, considerando dos altitudes de referencia: 1) 500 m s.n.m. ± 500 m y 2) 1 500 m s.n.m. ± 500 m. Se realizó este diseño por no tener bosques continuos sino parches de bosque. Estas referencias altitudinales fueron asociadas con dos tipos de bosques según las similitudes en los rangos altitudinales: 1) Bosque siempreverde pie montano y 2) Bosque montano bajos,

ubicados a menor y mayor altitud, respectivamente.

Para la toma de datos, a la parcela grande de  $50 \times 20$  m, se la dividió en 10 subparcelas de  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  para facilitar la medición de las diferentes variables planteadas en los objetivos (Figura 2) como lo recomienda Arellano et al. (2016). Estas parcelas fueron instaladas en los remanentes de bosques maduros, con al menos 300 m de distancia horizontal para tener independencia en las variables a medir. A las parcelas se las instaló en el centro de los parches de bosque, o al menos a 300 metros del límite de bosque para evitar el efecto de borde. También se consideraron parches de bosques con pendientes que no superen los 45 grados. Por último, se consideró la accesibilidad y el permiso de sus propietarios.

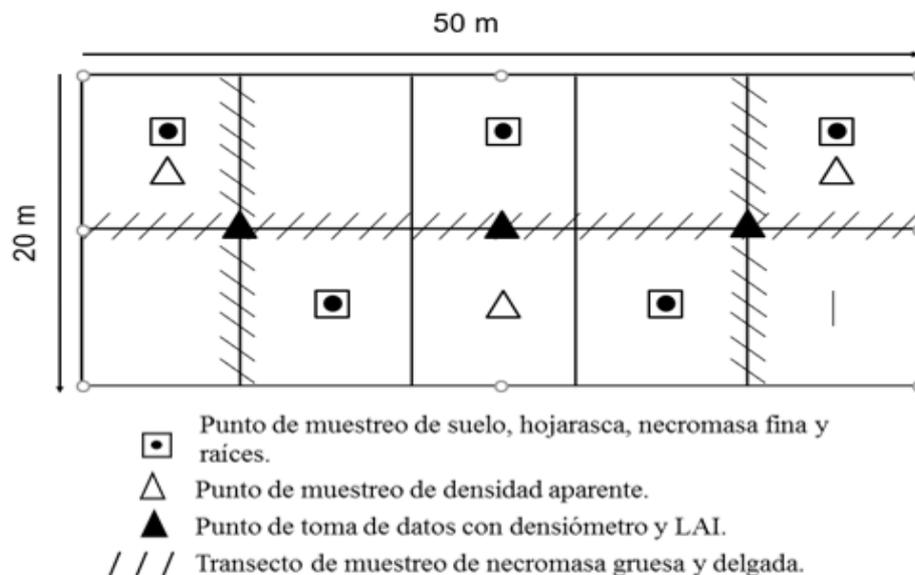


**Figura 2:** Diseño de la parcela experimental. (Arellano et al., 2016)

#### **5.4. Metodología para el objetivo específico uno** *“Estimar las reservas de carbono en diferentes compartimentos de almacenamiento sobre (biomasa aérea y necromasa) y debajo del suelo (raíces y suelo).”*

El carbono orgánico se midió en cuatro compartimentos: **1)** Necromasa: que corresponde a la hojarasca y necromasa delgada (ramas secas/descomposición con diámetro entre 2 – 10 cm). La necromasa también corresponde a la necromasa gruesa (ramas o troncos

secos/descomposición con diámetros  $\geq 10$  cm); **2)** raíces finas y gruesas ( $< 2$  mm de diámetro y  $\geq 2$  mm, respectivamente); **3)** suelo (muestras tomadas a dos profundidades, después de la capa orgánica); **4)** Biomasa aérea (árboles maderables, palmas y helechos arbóreos). El carbono aéreo fue estimado mediante la multiplicación del 0,5 (fracción de carbono en la materia seca; valor por defecto) de la biomasa seca a partir de la biomasa existente. Las mediciones de carbono orgánico en los diferentes compartimentos se realizó con metodologías recomendadas y/o aceptadas por Penman et al. (2003) (descritas a continuación). En diferentes puntos de la parcela (Figura 3).



**Figura 3:** Diseño de la parcela con los puntos de muestreo para el levantamiento de datos en campo. (Cayuela, 2013)

#### 5.4.1. Muestreo de la necromasa (hojarasca y necromasa delgada y necromasa gruesa)

Se determinó el área de muestreo de la hojarasca en cada parcela, usando un marco de  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  para su recolección y se lo colocó de forma aleatoria en cinco subparcelas (Figura 3), se pesó en fresco total (húmedo) y se obtuvo submuestras compuestas de 250 g de hojarasca de las muestras totales recolectadas, respectivamente. De estas submuestras (250g de hojarasca)



se obtuvo el peso en seco (65°C por 72 horas) y la biomasa se obtuvo aplicando la ecuación (2) (Tabla 2) (IPCC, 2013).

Para la necromasa delgada y necromasa gruesa se midieron los diámetros de las piezas muertas (ramas o troncos) en los transectos de muestreo (Figura 3). Al mismo tiempo se clasificó su densidad en sólido, intermedio, descompuesto y se asignó los valores de: 0,60; 0,42; 0,23 g/cm<sup>3</sup> respectivamente y como lo recomienda Penman et al. (2003). El volumen de la biomasa de este componente se calculó mediante la ecuación (2) y su biomasa mediante la ecuación (3) (Tabla 2).

#### **5.4.2. Biomasa subterránea (raíces finas y gruesas)**

Para el muestreo y estimación de las raíces gruesas y finas se aplicó el procedimiento desarrollado por Moser et al. (2011). Como se describe a continuación: para las raíces gruesas en cada parcela se realizaron cinco fosas de 40 cm × 40 cm × 60 cm de profundidad (Figura 3); aquí se recolectaron todas las raíces gruesas  $\geq$  a 2 mm de grosor que luego en laboratorio fueron lavadas para determinar su peso seco. Para las raíces finas  $<$  2 mm de grosor, en cada fosa se tomaron dos muestras con cilindro de volumen conocido, a 30 cm de profundidad (10 por parcela); estas últimas se escogieron en el laboratorio usando un tamiz de 2 mm, para luego conformar una sola muestra. Con las muestras de raíces gruesas y finas se determinó su peso seco en el laboratorio de Botánica a 65°C por 72 horas (MacDicken, 1997). El contenido de carbono de cada material se obtuvo multiplicando el peso seco de biomasa por la fracción de carbono y extrapolando a hectárea.



### 5.4.3. Carbono en el suelo

El muestreo de suelos se realizó a dos profundidades 0 - 15 cm y 15 - 30 cm de profundidad; para ello se obtuvo una muestra compuesta de 250 g tamizada, proveniente de cinco submuestras en los puntos específicos tomados en campo dentro de la parcela (Figura 3).

Para la densidad aparente se muestreó tres sitios de la parcela (Figura 3) con cilindros de 102 cm<sup>3</sup> de volumen a dos profundidades entre 0 – 15 cm y entre 15 - 30 cm después de la capa orgánica. A nivel de laboratorio cada submuestra fue secada a 105°C por 24 horas (Gabriels & Lobo, 2011); se dividió el peso seco entre el volumen del cilindro y luego se obtuvo un promedio de las tres muestras (Ecuación 4).

Para determinar la materia orgánica (MO) se realizó mediante el método de calcinación, y luego se multiplicó por 0,58 debido a que el factor de Van Bemmelen se basa en que el 58% de la materia orgánica es carbono, permitiéndonos calcular el porcentaje de carbono orgánico total del suelo.

El contenido de carbono del suelo por cada parcela se obtuvo multiplicando el volumen de suelo por hectárea a cada profundidad por la densidad aparente promedio y por el porcentaje de carbono orgánico (Ecuación 5; Tabla 2) (MacDicken, 1997).

### 5.4.4. Biomasa aérea (árboles maderables, palmas y helechos arbóreos)

Para estimar la biomasa aérea en el estrato arbustivo y arbóreo se midió las variables dasométricas de DAP (diámetro a la altura de 1,3 m sobre el nivel del suelo) y altura total. Aquí se consideró toda la vegetación dentro de la parcela de 50 m × 20 m, incluyendo palmas y helechos con DAP  $\geq$  a 2,5 cm. Para calcular la biomasa se aplicó un modelo alométrico utilizado para el Bosque siempreverde montano andino, generado por Chave et al. (2014) (Ecuación 6;



Tabla 2). En este modelo alométrico se utilizó la densidad de la madera la cual se calculó a partir de una muestra de una rama como lo recomiendan Swenson and Enquist (2008); a esta muestra se le calculó el volumen mediante la medición de sus áreas en dos o tres secciones y su longitud (Ecuación 7); también se calculó el peso seco colocando la muestra en una estufa a 80°C por 48 horas, para luego calcular su densidad mediante la ecuación (8) (Tabla 2).

**Tabla 2:** Ecuaciones utilizadas para estimar el carbono almacenado.

<b>Nro. formula</b>	<b>Ecuación.</b>
1)	$\text{Biomasa hojarasca} = \frac{P(h)_{\text{submuestra}}}{P(s)_{\text{submuestra}}} \times P(f)$
<p>Donde; P(h)= Peso húmedo submuestra (gramos); P(s)= Peso seco submuestra (gramos); P (f)= Peso fresco total (gramos). Unidad resultante= g (gramos)</p>	
2)	$V = \pi^2 + \frac{(D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2)}{8 \times L}$
<p>dónde: V= volumen; D= diámetro de la troza (m); L= largo del transecto (m<sup>2</sup>). Unidad resultante= m<sup>3</sup> (metro cúbico) *troza: Sección del fuste de un árbol.</p>	
3)	$\text{Biomasa necromasa} = V \times d$
<p>Donde; V= volumen (cm<sup>3</sup>); d= densidad (gramo/cm<sup>3</sup>).</p>	
4)	$D_a = \frac{P(s)_{\text{del suelo}}}{V}$
<p>Donde; D<sub>a</sub>= Densidad aparente (g/ cm<sup>3</sup>); P(s)= Peso seco del suelo (g); V= Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>). Unidad resultante= g/cm<sup>3</sup> (gramo/cm<sup>3</sup>).</p>	



---

5) Carbono en el suelo = %Carbono orgánico × densidad aparente × profundidad × Ha

---

6) Biomasa aérea =  $0,0673 \times (dm \times DAP^2 \times a)^{0.976}$

---

Donde, dm = densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); a = altura del árbol (m)

---

7) Volumen =  $\frac{(\text{Área 1} + \text{Área 2})}{2} \times \text{Largo de la rama}$

---

8) Densidad madera =  $\frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen}}$

---

**5.5. Metodología para el objetivo específico dos:** *“Establecer relaciones entre la composición, diversidad florística y estructura con el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, subterránea (raíces), suelo y necromasa, en bosques Piemontanos y Montano bajos”*

Los datos de la vegetación con respecto a su composición, diversidad florística y estructura fueron obtenidos del proyecto titulado *“El rol de los bosques andinos con base a la diversidad taxonómica, funcional y su relación con el carbono almacenado en los Andes occidentales del Azuay”*. Estas variables fueron: los individuos medidos con sus especies identificadas, DAP, altura de los árboles (dominante, promedio de la altura total, altura máxima).

Con las especies identificadas y sus abundancias se calculó la riqueza de especies y el índice de Simpson; para ello se diseñaron matrices para exportarlas al programa estadístico Past (Hammer et al., 2001). Aquí también se calculó la densidad arbórea en cada parcela. Con los datos del DAP se calculó el área basal mediante la fórmula: Área basal =  $0,7854 \times DAP^2$ .



Con las variables de carbono almacenado en los diferentes compartimentos (biomasa aérea, subterránea - raíces, suelo y necromasa) fueron considerados como variables dependientes. Las variables de composición, diversidad y estructura se establecieron relaciones de dependencia y explicación fueron consideradas como independientes.

## 5.6. Análisis de datos

Los valores de carbono almacenado en los diferentes compartimentos y el total fueron comparados mediante la prueba no paramétrica T para muestras independientes ( $p < 0,05$ ) (Balarini. MG et al., 2006). Dentro de los análisis se consideró los siguientes tamaños de la vegetación: 1) todos los individuos con  $DAP \geq 2,5$  cm; 2) todos los individuos con  $DAP \geq 5$  cm; 3) y todos con  $DAP \geq 10$  cm. Lo descrito se refiere al análisis para cumplir con el objetivo uno.

La variación en la composición florística entre los dos tipos de bosques se comparó mediante el escalamiento multidimensional no métrico (NMS). Este análisis permite representar la distribución espacial de los grupos florísticos. Este método consiste en mapear los valores de disimilitud florística entre sitios en un espacio de ordenación con un número predefinido de dimensiones (tipos de bosque) (Copete et al., 2019).

Para establecer la relación entre la composición florística y el almacenamiento de carbono se utilizaron dos matrices; una matriz con la composición de florística (variable de respuesta) y otra con las variables de carbono almacenado (variables predictoras). Luego se aplicó la función "envfit" en el paquete R "Vegan" (Oksanen et al., 2020). Esta función permite determinar cuáles de las variables predictoras se asocian con los ejes del NMS significativamente ( $p < 0,05$ ) (Cabrera, Benítez, et al., 2019; Quizhpe et al., 2019).



Estos modelos lineales permiten predecir que variables cuantitativas e independientes están explicando una variable de respuesta cuando esta tiene una distribución normal. Para calcular la normalidad de las variables de respuesta o carbono almacenado, en primer lugar, se calculó los residuos de cada variable y luego se aplicó el test de Shapiro & Wilks. En el modelo de predicción cuando no se mostró homogeneidad en la variación se corrigió con los métodos de homocedasticidad  $\text{var}(\text{Iden})$  y  $\text{var}(\text{Exp})$ .

Para establecer relaciones entre variables independientes que corresponden a la diversidad florística (riqueza de especies y el índice de diversidad alfa de Simpson) y estructura de la vegetación (DAP, área basal, alturas arbóreas) con el carbono almacenado se utilizaron modelos lineales generalizados (GLM). Estos modelos proporcionan una vía de análisis para los datos en donde no se requiere que la variable evaluada (dependiente) se distribuya normalmente. Además, permiten reducir los sesgos cuando los datos están incompletos, desbalanceados o ajustar datos dispersos. También permiten modelar la estructura de los errores en datos provenientes de mediciones longitudinales (Bandera & Pérez, 2018). En las relaciones se asumió la distribución de errores con la familia Gamma y corrección inversa o logarítmica (según los menores valores de AIC y devianza al comparar estas dos correcciones). La familia Gamma se utiliza para variables de respuesta y explicativas continuas como lo sugiere (Cayuela, 2009). Con respecto al AIC es una medida de ajuste del modelo; cuanto más pequeño es el AIC mejor es el ajuste. Con respecto a la devianza es otra medida del ajuste del modelo. Para ello, el cociente entre la devianza y los grados de libertad residuales de cada variable explicativa debería estar cerca de 1 si el ajuste es razonable. Si existe un valor grande de este cociente significa que existe sobre dispersión. Se usa un valor de hasta 2,5 para el cociente como indicador de que no hay sobre dispersión (Di Rienzo et al., 2017). Para el análisis de GLM se utilizó la función “glm” de la librería “Stats” de R. Se realizaron gráficos de dispersión entre



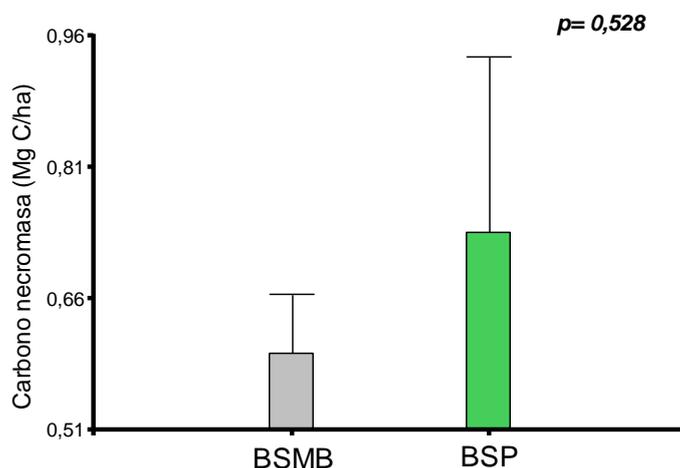
las variables de respuesta y las variables predictoras que resultaron significativas ( $p < 0,05$ ). Esos análisis fueron realizados desde el entorno virtual del programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2017).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Estimación de las reservas de carbono en los diferentes compartimientos

#### 6.1.1. Carbono almacenado en la necromasa (hojarasca y madera muerta)

El carbono almacenado en la necromasa (hojarasca y madera muerta) no presentó diferencia significativa ( $p = 0,528$ ) entre el Bosque siempreverde montano bajo y piemontano (Figura 4). El Bosque siempreverde piemontano (BSP) presentó una media de  $0,7 \pm 0,1$  Mg C/ha siendo mayor al Bosque siempreverde montano bajo (BSMB) con una media de  $0,6 \pm 0,1$  Mg C/ha.

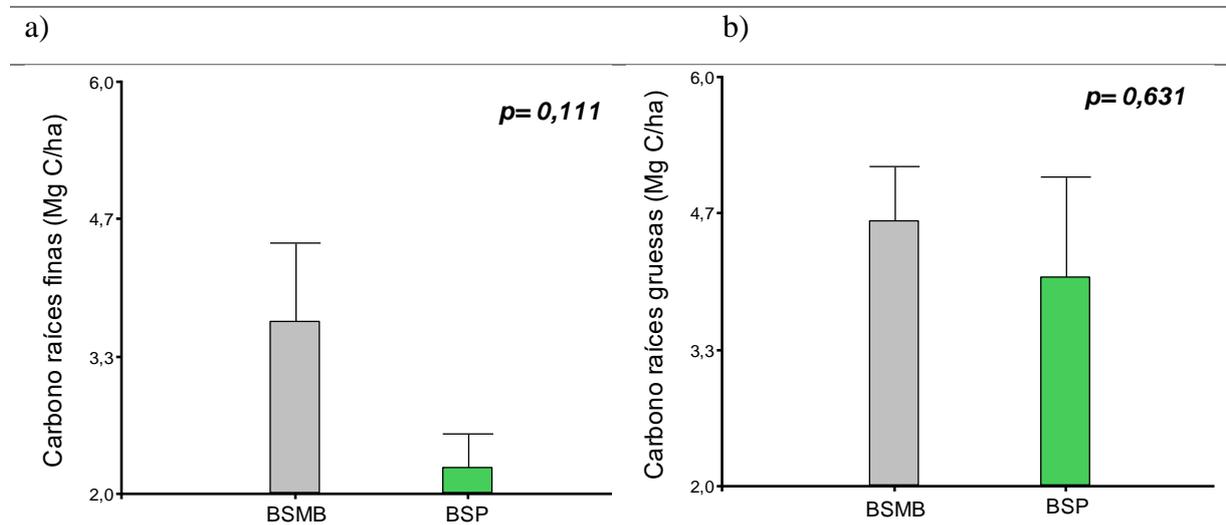


**Figura 4:** Promedio de carbono almacenado en la necromasa (Mg C/ha) obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.

#### 6.1.2. Carbono almacenado biomasa subterránea (raíces finas y gruesas)

El carbono almacenado en la biomasa subterránea no presentó diferencia significativa en las dos localidades tanto en las raíces finas ( $p = 0,111$ ) y raíces gruesas ( $p = 0,631$ ) (Figura 5). No obstante, se registró mayor carbono en el Bosque siempreverde montano bajo (BSMB) tanto en raíces gruesas ( $4,0 \pm 0,8$  Mg C/ha) (Figura 5a) como en raíces finas ( $3,6 \pm 0,5$  Mg

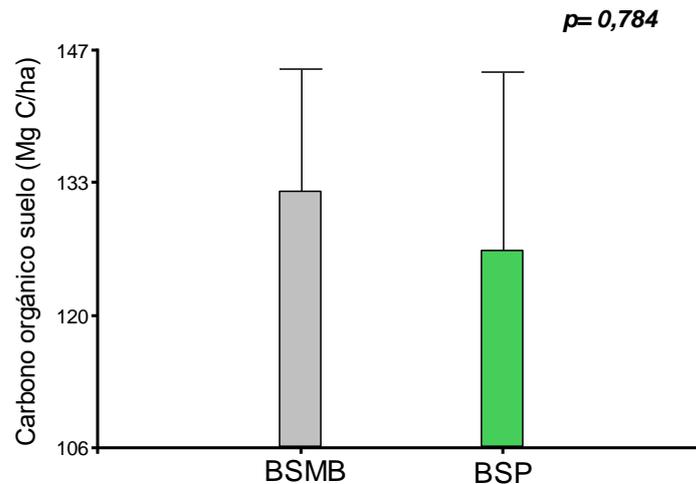
C/ha) (Figura 5b), a diferencia del Bosque siempreverde piemontano (BSP) en donde se registró para las raíces gruesas  $4,6 \pm 0,8$  Mg C/ha y en raíces finas  $2,2 \pm 0,59$  Mg C/ha.



**Figura 5:** Promedios de carbono almacenado en la biomasa subterránea, (a) carbono almacenado en raíces finas (Mg/ha) y (b) carbono almacenado en raíces gruesas (Mg/ha) obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.

### 6.1.3. Carbono almacenado en el suelo

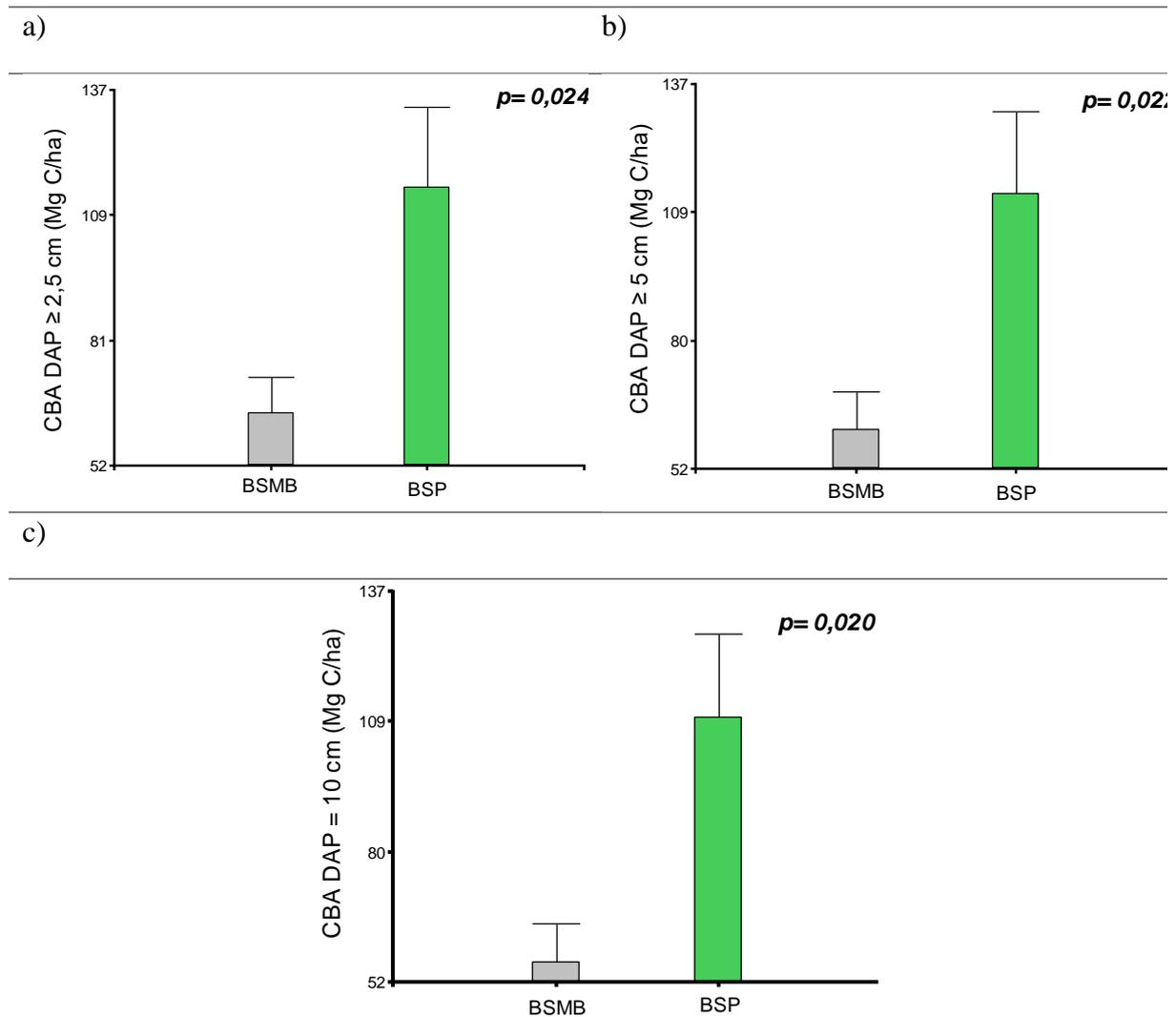
El carbono almacenado en el suelo, no presentó diferencias significativas ( $p= 0,784$ ) entre las dos localidades (Figura 6), pero en el Bosque siempreverde montano bajo (BSMB) se registró mayor valor con  $132,6 \pm 15,6$  Mg C/ha en comparación con el Bosque siempreverde piemontano (BSP) con  $126,5 \pm 15,6$  Mg C/ha. Los valores de las variables como: densidad aparente (Da), pH, materia orgánica (MO) y conductividad eléctrica (Ce) se muestran en (Anexo 1).



**Figura 6:** Promedios del carbono orgánico del suelo, obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.

#### 6.1.4. Carbono almacenado en la biomasa aérea

El carbono almacenado en la biomasa aérea mostró diferencias significativas en cada uno de los niveles de análisis según el tamaño de la vegetación. Considerando todos los biotipos leñosos  $\geq 2,5$  cm de DAP ( $p = 0,024$ ) se registró valores mayores para el Bosque siempreverde piemontano con  $115,2 \pm 14,1$  Mg C/ha, en comparación con el Bosque siempreverde montano bajo con  $64,3 \pm 14,1$  Mg C/ha (Figura 7a). Para los tamaños de la vegetación  $\geq 5$  cm de DAP ( $p = 0,022$ ) los valores más altos se presentaron en el Bosque siempreverde piemontano con  $112,7 \pm 14,2$  Mg C/ha a diferencia del Bosque siempreverde montano bajo con  $60,8 \pm 14,2$  Mg C/ha (Figura 7b). Finalmente, con los biotipos  $\geq 10$  cm de DAP, el Bosque siempreverde piemontano presentó valores superiores significativamente ( $p = 0,020$ ) con  $109,4 \pm 14,1$  Mg C/ha a diferencia del Bosque siempreverde montano bajo con  $56,3 \pm 14,1$  Mg C/ha (Figura 7c).

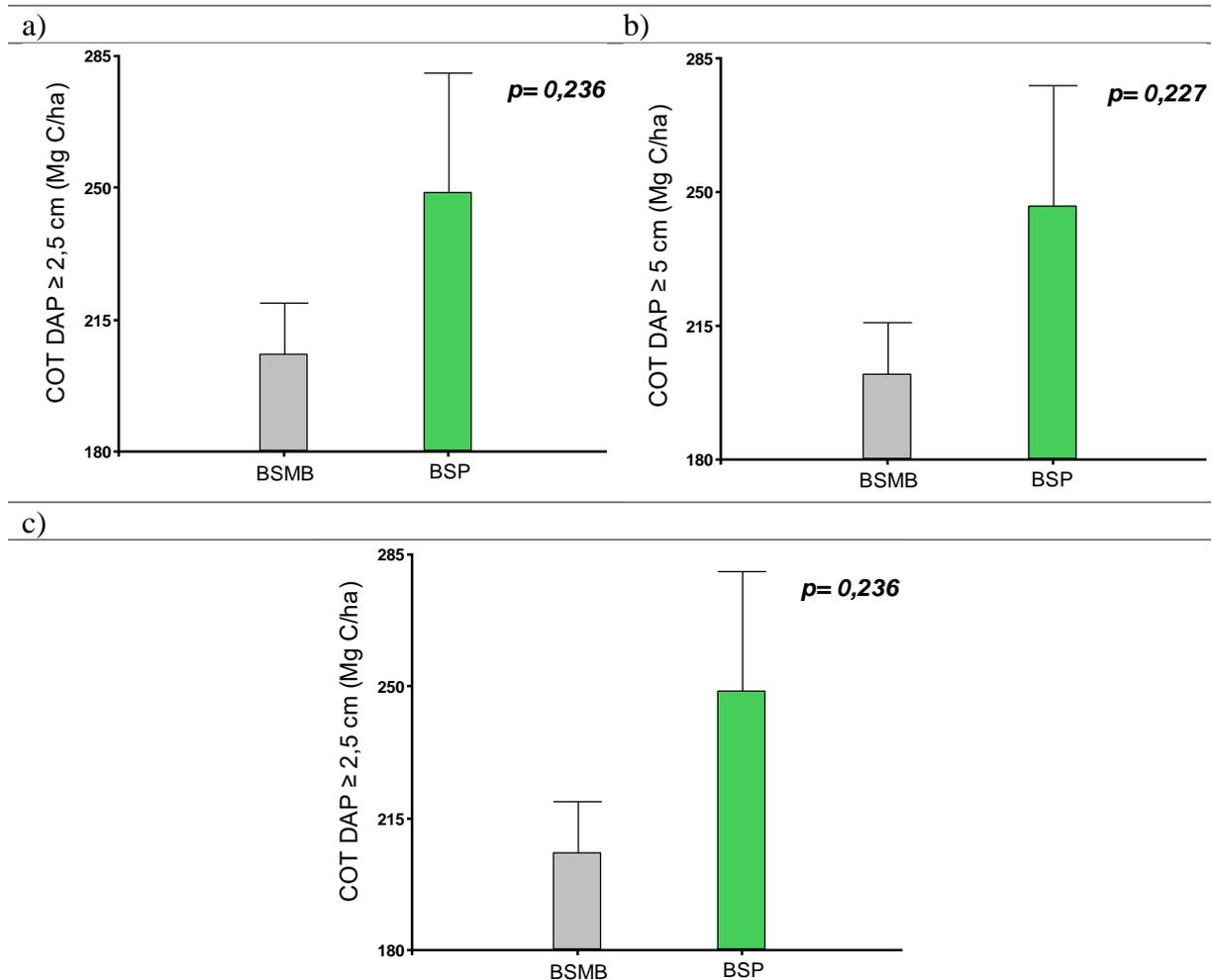


**Figura 7:** Promedios del contenido de (CBA) carbono almacenado en la biomasa aérea (Mg C/ha), (a) carbono almacenado en la biomasa aérea en individuos con  $DAP \geq 2,5$  cm, (b) carbono almacenado en la biomasa aérea en individuos con  $DAP \geq 5$  cm, (c) carbono almacenado en la biomasa aérea en individuos con  $DAP \geq 10$  cm, obtenidos en parcelas de 0,1 ha. Líneas verticales representan el error estándar. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.

### 6.1.5. Carbono orgánico total

El carbono orgánico total no presentó diferencias significativas considerando todos los tamaños de la vegetación (Figura 8). Este es el caso para individuos con  $DAP \geq 2,5$  cm para las dos localidades ( $p= 0,236$ ) (Figura 8a); no obstante, se registró valores superiores para el Bosque siempreverde piemontano con  $248,8 \pm 24,3$  Mg C/ha, en comparación con el Bosque

siempreverde montano bajo con  $205,85 \pm 24,39$  Mg C/ha. Para los tamaños  $\geq 5$  cm de DAP ( $p=0,227$ ) (Figura 8b) se registró los mayores valores para el Bosque siempreverde piemontano con  $246,2 \pm 24,4$  Mg C/ha, en comparación con el Bosque siempreverde montano bajo con  $202,3 \pm 24,4$  Mg C/ha. Finalmente, para la vegetación con  $\geq 10$  cm de DAP ( $p=0,213$ ) (Figura 8c) el Bosque siempreverde piemontano presentó valores superiores con  $243,1 \pm 24,3$  Mg C/ha a diferencia del Bosque siempreverde montano bajo con  $197,9 \pm 24,3$  Mg C/ha. El resumen de los valores obtenidos en cada compartimento y por tamaño de vegetación se muestran en la Tabla 3.



**Figura 8:** Promedios del contenido de Carbono Orgánico Total (COT) (Mg C/ha), (a) COT en individuos con DAP  $\geq 2,5$  cm, (b) COT en individuos con DAP  $\geq 5$  cm, (c) COT en individuos con DAP

≥10 cm, obtenidos en parcelas de 0,1 ha. BSMB: Bosque siempreverde montano bajo, BSP: Bosque siempreverde piemontano.

**Tabla 3:** Resumen de promedios del contenido de carbono almacenado ± errores estándar según la prueba T para muestras independientes ( $P < 0,05$ , en cada uno de los compartimentos, obtenidos en parcelas de 0,1 ha.

Compartimentos	Bosque	Bosque	<i>T</i>	<i>p</i> -valor
	siempreverde montano bajo	siempreverde piemontano		
CA ≥ a 2,5 cm DAP	64,3 ± 14,1	115,2 ± 14,1	3,06	0,0067
CA ≥ 5 a cm DAP	60,8 ± 14,2	112,7 ± 14,2	3,12	0,0059
CA ≥ a 10 cm DAP	56,3 ± 14,1	109,4 ± 14,1	3,19	0,005
C Necromasa	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,65	0,5287
C Raíces gruesas	4,0 ± 0,8	4,5 ± 0,8	-0,49	0,6311
C Raíces finas 0 – 15cm	2,4 ± 0,3	1,5 ± 0,3	-1,79	0,0901
C Raíces finas 15 – 30cm	1,1 ± 0,2	0,6 ± 0,2	-1,47	0,1729
C Total raíces finas	3,6 ± 0,5	2,2 ± 0,5	-1,37	0,1876
C Total raíces	8,2 ± 1,0	6,3 ± 1,1	-1,01	0,3251
C Suelos 0 -15cm	74,6 ± 9,4	74,4 ± 9,4	0,05	0,9635
C Suelos 15 – 30cm	58,1 ± 7,5	52,1 ± 7,5	-0,94	0,3621
C Total suelos	132,6 ± 15,6	126,5 ± 15,64	0,66	0,5156
COT ≥ a 2,5 cm DAP	205,8 ± 24,3	248, ± 24,3	0,99	0,3361
COT ≥ a 5 cm DAP	202,3 ± 24,4	246,2 ± 24,4	1,04	0,311
COT ≥ a 10 cm DAP	197,0 ± 24,3	243,0 ± 24,3	3,06	0,0067

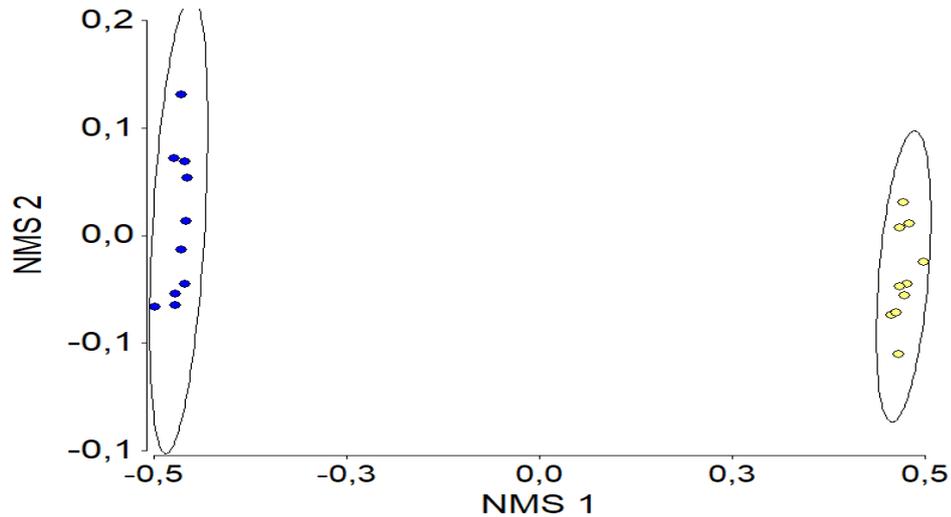
CA: Carbono aéreo (Mg C/ha), C: Carbono (Mg C/ha) y COT: Carbono orgánico total (Mg C/ha).

## 6.2. Relación entre variables de la vegetación con el almacenamiento de carbono en diferentes componentes

### 6.2.1. Relación entre la composición florística con el carbono almacenado en la biomasa aérea

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMS) mostró la siguiente

distribución espacial: el grupo de parcelas ubicadas a la izquierda representa al Bosque siempreverde montano bajo (“San Antonio”) y el grupo de la derecha a las parcelas situadas en el Bosque siempreverde piemontano (“La Iberia”) (Figura 9).



**Figura 9:** Escalamiento multidimensional no métrico (NMS) para medición de similitud en la composición florística en los dos sitios de estudio: Bosque siempreverde montanos bajos (San Antonio) y Bosque siempreverde piemontano (La Iberia).

Las variables composición florística, representada en los ejes de ordenación espacial, se relacionó significativamente con el carbono almacenado en individuos con DAP de:  $\geq 2,5$  cm ( $p= 0,031$ ),  $\geq 5$  cm ( $p= 0,031$ ) y  $\geq 10$  cm ( $p= 0,031$ ). Esto sugiere que la variable de carbono aéreo está íntimamente asociada con la composición de especies (Tabla 4).

**Tabla 4:** Variables independientes significativas con la ordenación NMS: Bosques siempreverdes montanos bajos y piemontanos.

	NMS 1	NMS 2	$r^2$	$p$ -valor
<b>CA <math>\geq</math> a 2,5 cm DAP</b>	0,0009	1	0,29	0,03*
<b>CA <math>\geq</math> 5 a cm DAP</b>	0,0008	1	0,30	0,03*
<b>CA <math>\geq</math> a 10 cm DAP</b>	0,0009	1	0,31	0,03*
<b>C Necromasa</b>	0,0003	-1	0,05	0,65



<b>C Raíces Gruesas</b>	-0,00007	-1	0,21	0,14
<b>C Raíces finas 0 – 15cm</b>	-0,0007	-1	0,12	0,18
<b>C Raíces finas 15 – 30cm</b>	-0,0003	-1	0,12	0,18
<b>C Total raíces finas</b>	-0,0002	-1	0,28	0,07
<b>C Total raíces</b>	-0,00002	-1	0,003	0,97
<b>C Suelos 0 -15cm</b>	-0,0005	-1	0,02	0,85
<b>C Suelos 15 – 30cm</b>	-0,0003	-1	0,008	0,93
<b>C Total suelos</b>	0,002	1	0,08	0,51
<b>COT <math>\geq</math> a 2,5 cm DAP</b>	0,002	1	0,09	0,49
<b>COT <math>\geq</math> a 5 cm DAP</b>	0,002	1	0,09	0,48

\*= $p \geq 0.01$

CA: Carbono aéreo (Mg C/ha), C: Carbono (Mg C/ha) y COT: Carbono orgánico total (Mg C/ha). NMS: análisis de escalamiento multidimensional no métrico.

## 6.2.2. Relación de la diversidad florística y estructura con el almacenamiento de carbono

Las regresiones múltiples realizadas a través de los GLM entre las variables de diversidad florística y estructura de la vegetación con el almacenamiento de carbono aéreo (Tabla 5, 6 y 7). El carbono aéreo (CA) se relacionó significativamente con el área basal en DAP  $\geq 2,5$ cm ( $p= 0,001$ ) (Figura 10a), DAP  $\geq 5$  cm ( $p= 0,001$ ) (Figura 10c) y DAP  $\geq 10$ cm ( $p= 0,001$ ) (Figura 10e). El carbono aéreo también se relacionó significativamente con la densidad arbórea en DAP  $\geq 5$  cm ( $p= 0,01$ ) (Figura 10b) y DAP  $\geq 10$ cm ( $p= 0,01$ ) (Figura 10d). En cuanto al almacenamiento de carbono en los compartimientos (Tabla 6) se relacionó significativamente únicamente con el carbono almacenado en la necromasa con el área basal ( $p= 0,08$ ) (Figura 11a).

En cuanto al carbono orgánico total (COT) (Tabla 7) se relacionó con: el área basal con los individuos con DAP  $\geq 2,5$  cm ( $p= < 0,02$ ) (Figura 12a), riqueza de individuos con los individuos con DAP  $\geq 5$  cm ( $p= < 0,06$ ) (Figura 12b), el área basal con los individuos con DAP  $\geq 5$  cm ( $p= < 0,09$ ) (Figura 12c), la riqueza de especies con los individuos con DAP  $\geq 10$  cm



( $p = < 0,05$ ) (Figura 12d) y el área basal con los individuos con  $DAP \geq 10$  cm ( $p = < 0,09$ ) (Figura 12e).

**Tabla 5:** GLM con las relaciones entre diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en los compartimentos de carbono orgánico aéreo en tres categorías de tamaño de la vegetación:  $DAP \geq 2,5$  cm; 5 cm y 10 cm de la biomasa aérea.

	CA $\geq 2,5$ cm		CA $\geq 5$ cm		CA $\geq 10$ cm	
	Estimador	<i>p</i> -Valor	Estimador	<i>p</i> -Valor	Estimador	<i>p</i> -Valor
<b>Intercepción</b>	3,20	0,02	2,92	0,04	2,98	0,05
<b>Riqueza</b>	0,003	0,66	0,002	0,72	0,003	0,64
<b>Índice de Simpson</b>	0,07	0,96	0,31	0,85	0,18	0,92
<b>Densidad arbórea</b> (N/ha)	-0,0001	0,25	<b>-0,0001</b>	<b>0,01</b>	<b>-0,0002</b>	<b>0,01</b>
<b>Área basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>0,024</b>	<b>0,001</b>	<b>0,025</b>	<b>0,001</b>	<b>0,03</b>	<b>0,001</b>
<b>Altura dominante (m)</b>	0,02	0,38	0,02	0,38	0,02	0,41
<b>Altura promedio (m)</b>	-0,01	0,88	-0,01	0,92	-0,01	0,89
<b>Altura máxima (m)</b>	-0,001	0,95	-0,000	0,99	-0,0004	0,99

CA: Carbono aéreo total (Mg C/ha)

**Tabla 6:** GLM con las relaciones entre diversidad florística y estructura con el carbono almacenado en los compartimentos de: raíces, necromasa y suelo.

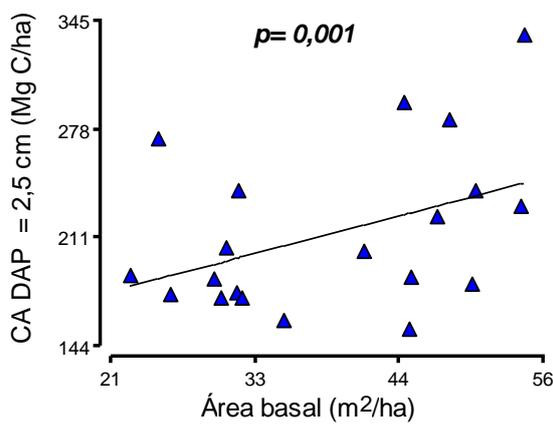
	Carbono raíces		Carbono necromasa		Carbono suelo	
	Estimador	<i>p</i> -Valor	Estimador	<i>p</i> -Valor	Estimador	<i>p</i> -Valor
<b>Intercepción</b>	3,53	0,32	0,88	0,74	7,27	0,01
<b>Riqueza</b>	-0,03	0,15	-0,01	0,43	-0,01	0,36
<b>Índice de Simpson</b>	2,11	0,65	-2,09	0,55	-1,09	0,72
<b>Densidad arbórea</b> (N/ha)	-0,0001	0,73	-0,00003	0,89	-0,0001	0,55
<b>Área basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>	0,0009	0,96	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>	0,03	0,42
<b>Altura dominante (m)</b>	0,03	0,70	-0,03	0,52	-0,03	0,58
<b>Altura promedio (m)</b>	-0,29	0,26	0,06	0,77	-0,07	0,65
<b>Altura máxima (m)</b>	-0,03	0,63	0,01	0,85	-0,04	0,38

**Tabla 7:** GLM con las relaciones entre diversidad florística y estructura con el carbono orgánico total considerando tres categorías de tamaño de la vegetación: DAP  $\geq$  2,5 cm; 5 cm y 10 cm de la biomasa aérea.

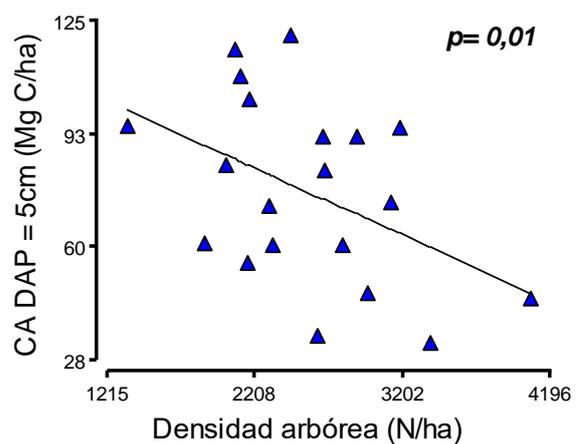
	COT $\geq$ 2,5 cm		COT $\geq$ 5 cm		COT $\geq$ 10 cm	
	Estimador	p-Valor	Estimador	p-Valor	Estimador	p-Valor
<b>Intercepción</b>	6,900	0,001	6,92	0,001	6,99	0,001
<b>Riqueza</b>	0,004	0,64	<b>0,01</b>	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>
<b>Índice de Simpson</b>	-1,83	0,36	-2,34	0,30	-2,41	0,29
<b>Densidad arbórea (N/ha)</b>	-0,00005	0,66	-0,00003	0,81	-0,00004	0,75
<b>Área basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,09</b>	<b>0,02</b>	<b>0,09</b>
<b>Altura dominante (m)</b>	-0,003	0,91	-0,004	0,90	-0,004	0,91
<b>Altura promedio (m)</b>	-0,01	0,90	0,02	0,88	0,02	0,90
<b>Altura máxima (m)</b>	-0,02	0,43	-0,02	0,58	-0,02	0,56

COT: Carbono orgánico total (Mg C/ha)

a) Área basal de los individuos con un DAP  $\geq$  2,5cm con el carbono aéreo.

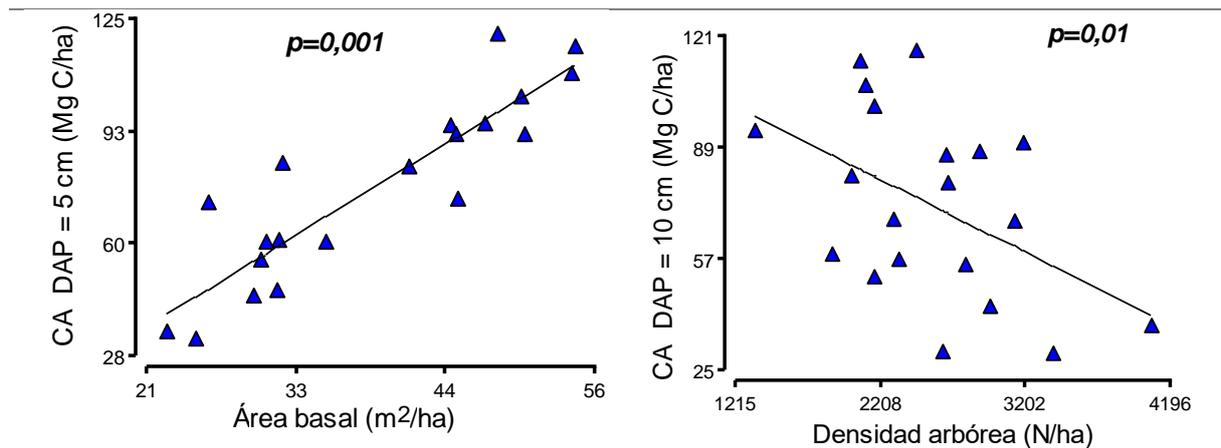


b) Densidad arbórea de los individuos con un DAP  $\geq$  5cm con el carbono aéreo.

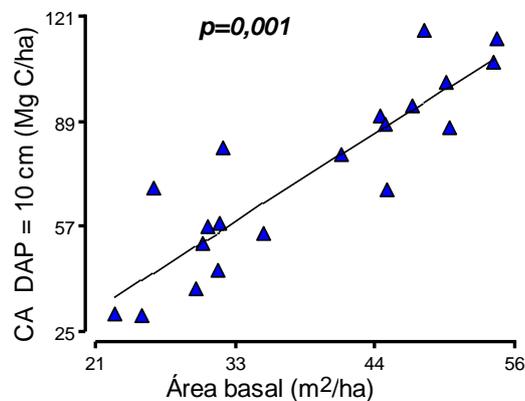


c) Área basal de los individuos con un DAP  $\geq$  5cm con el carbono aéreo.

d) Densidad arbórea de los individuos con un DAP  $\geq$  10cm con el carbono aéreo.

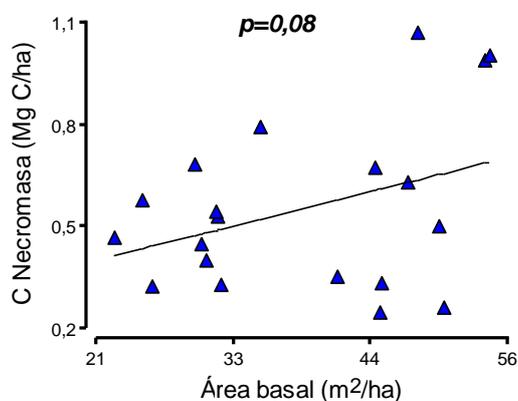


e) Área basal de los individuos con un DAP  $\geq 10$ cm con el carbono aéreo.

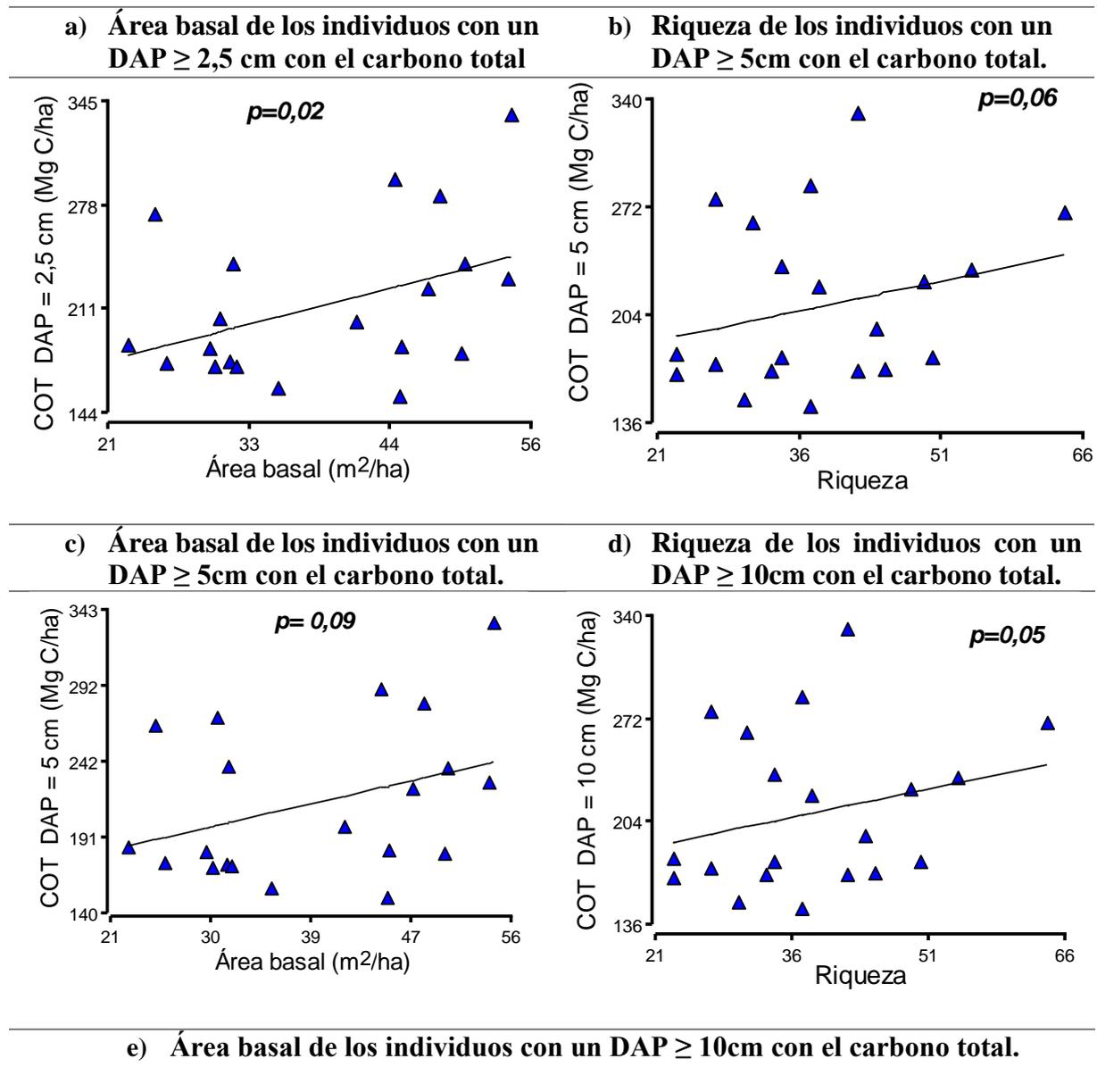


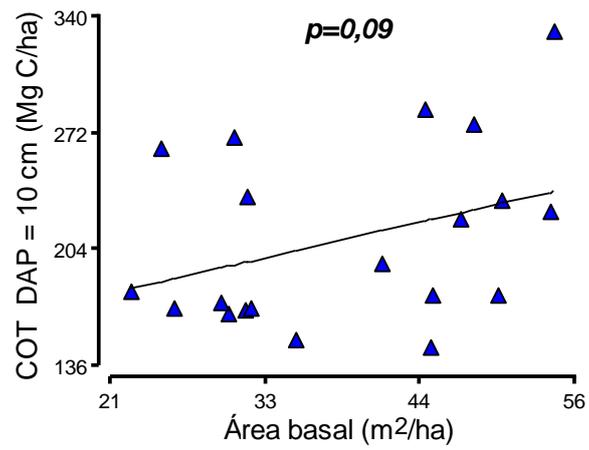
**Figura 10:** Gráficos de dispersión entre la diversidad florística y estructura de la vegetación con el almacenamiento de carbono orgánico total, área basal como variable independiente con el CA (carbono aéreo) considerando los tres tamaños de la vegetación (DAP  $\geq 2,5$ cm,  $\geq 5$ cm y  $\geq 10$ cm), CA: Carbono aéreo (Mg C/ha).

a) Área basal de los individuos con un DAP  $\geq 5$ cm con el carbono necromasa.



**Figura 11:** Gráficos de dispersión entre la diversidad florística y estructura de la vegetación con el almacenamiento de carbono orgánico total, relación entre el área basal con el carbono almacenado en la necromasa (Mg C/ha) ( $p= 0,08$ ).





**Figura 12:** Gráficos de dispersión entre la diversidad florística y estructura de la vegetación con el almacenamiento de carbono orgánico total, área basal y riqueza.



## 7. DISCUSIONES

Las siguientes discusiones se basan en la hipótesis planteada previo el desarrollo de la presente investigación.

De acuerdo a la composición en los Bosques siempreverdes piemontanos y montanos bajos (500 – 1 000 m s.n.m. y 1 300 - 1 500 m s.n.m., respectivamente) se muestra disimilitud entre estos, evidenciado dos agrupaciones separadas y que corresponden a cada tipo de bosque. Esta disimilitud en primera instancia está asociada con la altitud a la cual corresponden cada tipo de bosque. Esto se puede consolidar con los resultados registrados por Cabrera, Benítez, et al. (2019) quienes indican que la altitud es el primer factor jerárquico responsable de la división de grupos estructurales y florísticos en bosques montañosos andinos de la región sur de Ecuador, diferenciando 52 familias en 4 grupos florísticos y con un total de área basal de 157,7 m<sup>2</sup> que se distribuyen entre 2 300 y 2 900 m s.n.m. Los valores de disimilitud ( $p < 0,0001$ ) indicaron alta variabilidad de la composición, aunque existen especies que crecen indiferentemente en todos los grupos.

Con respecto a la variación en la composición en toda el área de estudio, mostró una fuerte relación significativa y positiva entre el área basal y el almacenamiento de carbono considerando todos los tamaños de vegetación, es decir que mientras mayor es el área basal, se incrementará positivamente el carbono almacenado. Los resultados obtenidos para el carbono aéreo (CA) en diferentes tamaños de la vegetación ( $DAP \geq 2,5$ ;  $\geq 5$ ;  $\geq 10$ ) fueron mayores ( $115,2 \pm 14,1$ ;  $112,7 \pm 14,2$ ;  $109,4 \pm 14,1$  Mg C/ha, respectivamente) en el Bosque siempreverde piemontano en comparación con el Bosque siempreverde montano bajo ( $64,3 \pm 14,1$ ;  $60,8 \pm 14,2$ ;  $56,3 \pm 14,1$  Mg C/ha, respectivamente) (Tabla 4). Estos resultados son consistentes con el estudio realizado por Jadán, Quizhpe, et al. (2017) en donde muestra que el carbono almacenado se relaciona directamente con la composición de biotipos arbóreos, registrando



relaciones de dependencia ( $p = < 0,0001 - r^2 \geq 0,8$ ) entre DAP y biomasa, tanto en Bosques siempreverde montano bajo (241,6 Mg C/ ha) como en Bosques siempreverde piemontano (232, 9 Mg C/ ha).

Es importante mencionar que el área basal está directamente relacionada con la biomasa ya que para calcular estos dos parámetros (área basal y biomasa) mediante los métodos indirectos o ecuaciones alométricas, se necesita inevitablemente el DAP y la altura de los árboles (Chave et al., 2014; Fonseca et al., 2009). Bajo estas relaciones el área basal tiene relación directa con la biomasa área por lo que se torna en una de las más influyentes en el carbono almacenado total independientemente del tamaño de la vegetación. Estos resultados son similares a los registrados por Cuenca et al. (2014) y Fonseca et al. (2009) en Ecuador y Costa Rica, quienes afirman que el DAP es la variable más importante para calcular la biomasa aérea en bosques tropicales. Estas variables influyen directamente en la biomasa que contiene el 50% de carbono (IPCC, 2013).

En cuanto a la relación entre diversidad mostrada a través de la riqueza de especies e índice de Simpson el almacenamiento de carbono no se registró asociaciones significativas. Esto posiblemente se debe a que existe una similar riqueza de especies entre los dos tipos de bosque, lo cual se constituye en un resultado atípico, ya que la mayor riqueza de especies se registra en sitios de menor altitud (Homeier et al., 2010). Los resultados de esta investigación concuerdan con los obtenidos de Girardin et al. (2014) donde se registraron 247 Mg/ha de carbono a una altitud de 210 m s.n.m. mientras que en una altitud de 3 450 m s.n.m. se obtuvo 86 Mg/ha de carbono en bosques andinos de Perú. Factores de suelo o correlación espacial posiblemente estén influyendo sobre estos resultados lo cual debe ser indagado en investigaciones futuras.



Para los resultados del carbono almacenado en la necromasa, no hubo diferencias significativas entre los Bosques siempreverde montano bajo y Bosque siempreverde piemontano ( $0,6 \pm 0,1$ ;  $0,7 \pm 0,1$  Mg C/ha, respectivamente), esto posiblemente sea resultado de la similitud florística existente entre las zonas de estudio. Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos por Jadán, Quizhpe, et al. (2017), con valores de 1,8 y 3,2 Mg C/ha respectivamente, en bosques tropicales amazónicos con una altitud de 1 300 – 1 800 m s.n.m. en Bosques siempreverdes montano bajo y de 300 - 1 300 m s.n.m. en Bosques siempreverdes piemontano.

Con respecto al carbono almacenado en la biomasa subterránea no presentó diferencias significativas, tanto en raíces finas como en raíces gruesas con un total de  $8,2 \pm 1,0$  Mg C/ha en Bosques siempreverdes montano bajo;  $6,3 \pm 1,1$  Mg C/ha en Bosques siempreverdes piemontano, estos resultados posiblemente se deban a la competencia de nutrientes disponibles en el suelo, factores de suelo y la altitud, esto concuerda con Moser et al. (2011), en parcelas forestales de bosques premontanos y montano bajo ubicadas entre 1 500 m s.n.m. y 3 060 m s.n.m. en el sur del Ecuador, actuando de la misma manera con respecto a la altitud, lo cual indica que a mayor altitud existe mayor producción de raíces.

El carbono en el suelo obtuvo resultados no significativos, lo cual está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica existente en los bosques, con resultados similares entre ellos, estadísticamente no son diferentes, pero, en el Bosque siempreverde montano bajo (BSMB) se registró mayor valor con  $132,6 \pm 15,6$  Mg C/ha en comparación con el Bosque siempreverde piemontano (BSP) con  $126,5 \pm 15,6$  Mg C/ha. Los resultados del carbono en el suelo del presente estudio, son similares a los presentados por Jadán, Quizhpe, et al. (2017), que registraron valores de 110,3 Mg C/ha en bosques siempre verdes piemontanos (300 - 1 300 m s.n.m.) y 150,1 Mg C/ha en Bosques siempreverdes montano bajo (1 300 – 1 800



m s.n.m.). Resultados similares fueron obtenidos por Moser et al. (2011), quienes registraron valores de 106 y 204 Mg C/ha entre altitudes de 1 050 a 3 060 m s.n.m.; estos patrones nos muestran que a medida que la altitud aumenta, la cantidad de carbono en el suelo también lo hace, debido a que la descomposición de materia orgánica es más lenta.

Los resultados obtenidos para el carbono orgánico total (COT) en diferentes tamaños de la vegetación ( $DAP \geq 2,5$ ;  $\geq 5$ ;  $\geq 10$ ) fueron mayores ( $248,8 \pm 24,3$ ;  $246,2 \pm 24,4$ ;  $243,1 \pm 24,3$  Mg C/ha, respectivamente) en el Bosque siempreverde piemontano en comparación con el Bosque siempreverde montano bajo ( $205,85 \pm 24,39$ ;  $202,3 \pm 24,4$ ;  $197,9 \pm 24,3$  Mg C/ha, respectivamente), estos resultados son similares a los obtenidos por Jadán et al. (2015), con 334 Mg C/ha a 700 m s.n.m; estos registros se han obtenido en bosques de menor altitud, lo que permite inferir que el carbono orgánico total tiene una relación significativa con biomasa área donde se mostró una relación significativa y positiva entre el área basal y el almacenamiento de carbono.



## 8. CONCLUSIONES

Los estudios sobre la cuantificación de servicios ecosistémicos como el almacenamiento de Carbono en relación con variables intrínsecas de la vegetación en bosques montanos andinos se tornan importantes para la valoración de estos ecosistemas naturales, dirigido a su conservación.

En la presente investigación, las variaciones del Carbono en los dos tipos de bosques, muy contiguos con respecto a la altitud, no mostraron diferencias significativas en la mayoría de los componentes de almacenamiento incluyendo los suelos.

La biomasa aérea proveniente del componente arbóreo en el Bosque pie montano (ubicado a menor altitud) fue superior. Estos mayores valores se asocian directamente con otras variables estructurales como el DAP y área basal que en contextos locales y regionales han sido registrados en sitios de menor altitud, algo similar con los resultados de la presente investigación.



## 9. RECOMENDACIONES

En vista de la escasa información disponible en cuanto a la dinámica del carbono en los bosques tropicales, recomendamos el desarrollo de estudios para conocer los cambios de las existencias o tasas netas de acumulación.

También se recomienda desarrollar estudios en donde se evalúe las variables ambientales tanto climáticas y de suelos en relación a las existencias de diversidad, composición florística, estructura y el almacenamiento de carbono de los bosques andinos. Esto, permitirá conocer y entender la funcionalidad y ecología de estos ecosistemas forestales nativos, en relación a la provisión de bienes y servicios ecosistémicos.

Los parámetros cuantitativos continuos como el DAP y área basal asociada con el almacenamiento de carbono nos permite emitir varias reflexiones asociadas con la valoración ecológica y conservación. Aunque se torna redundante y bastante obvio, las existencias de Carbono siempre estarán vigentes cuando existan los bosques.

Considerando estos resultados, no siempre garantizada por la deforestación constante, se puede aplicar procedimientos y técnicas debidamente validados en donde se considere parámetros fundamentales para fines investigativos específicos. Ante ello, se hace importante e imprescindible generar conocimiento que permita mantener y conservar los recursos florísticos en todos los escenarios andinos a nivel local, en donde existan iniciativas ligadas a brindar beneficios a toda la sociedad.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvis, J. (2009). Analisis estructural de un bosque natural localizado en la zona rural del municipio de Popayan. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7, 115-122.
- Arellano, G., Cala, V., Fuentes, A., Cayola, L., Jørgensen, P., & Macía, M. (2016). A standard protocol for woody plant inventories and soil characterisation using temporary 0.1-Ha plots in tropical forests. *Journal of Tropical Forest Science*, 508-516.
- Balarini, MG, Gonzalez, L, Tablada, M, Casanoves, F, Di Rienzo J.A, & Robledo C.W. (2006). Infostat. Manual del Usuario. *Editorial Brujas*. (Córdoba Argentina)
- Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Bogotá DC: nota técnica del IDEAM*.
- Bandera, E., & Pérez, L. (2018). Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. *Cultivos tropicales*, 39(1), 127-133.
- Basham, E., González del Pliego, P., Acosta-Galvis, A., Woodcock, P., Medina Uribe, C., Haugaasen, T., Gilroy, J., & Edwards, D. (2016). Quantifying carbon and amphibian co-benefits from secondary forest regeneration in the Tropical Andes. *Animal Conservation*, 19(6), 548-560.
- Cabrera, O., Benítez, Á., Cumbicus, N., Naranjo, C., Ramón, P., Tinitana, F., & Escudero, A. (2019). Geomorphology and Altitude Effects on the Diversity and Structure of the Vanishing Montane Forest of Southern Ecuador. *Diversity*, 11(3), 32.
- Cabrera, O., Fries, A., Hildebrandt, P., Günter, S., & Mosandl, R. (2019). Early growth response of nine timber species to release in a tropical mountain forest of Southern Ecuador. *Forests*, 10(3), 254.
- Calderón, M., Cuesta, F., Pinto, E., & Gosling, W. D. (2020). Carbon sequestration rates indicate ecosystem recovery following human disturbance in the equatorial Andes. *PloS one*, 15(3), e0230612.
- Cano, A., & Stevenson, P. R. (2009). Diversidad y composición florística de tres tipos de bosque en la Estación Biológica Caparú, Vaupés. *Colombia forestal*, 12(1), 63-80.
- Caranqui, J., Lozano, P., & Reyes, J. (2016). Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(1), 33-45.



- Cardinale, B., Duffy, J., Gonzalez, A., Hooper, D., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G., Tilman, D., & Wardle, D. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
- Castañeda, M. A., Efrén, & Montes, P. C., Rosa. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210-221.
- Cayuela, L. (2009). Modelos lineales generalizados (GLM). *Materiales de un curso del R del IREC*.
- Cayuela, L. (2013). Determinantes de la diversidad funcional y filogenética que explican la distribución de las plantas leñosas en los bosques andino tropicales a lo largo de gradientes altitudinales y latitudinales. *Proyecto de investigación Madrid. España*.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., & Goodman, R. C. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190.
- Chuquimaco, I. H. (2017). Diversidad y Biomasa Arbórea en los Bosques Andinos del Santuario Nacional del Ampay, Apurímac-Perú. *Q'EUÑA*, 8(1), 7-26.
- Copete, J., Cámara, R., Sanchez, M., & Balslev, H. (2019). Relación entre la composición florística y los nutrientes del suelo en comunidades de palmas del Chocó biogeográfico en Colombia y Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 67, 716-732.
- Cruzado, L. (2010). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de los bosques altoandinos de la concesión para conservación alto Huayabamba-San Martín.
- Cuenca, M., Jadán, O., Cueva, K., & Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 4(1).
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496.
- De Cáceres, M., Legendre, P., & Moretti, M. (2010). Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119(10), 1674-1684.
- De la Cruz-Amo, L., Bañares-de-Dios, G., Cala, V., Granzow-de la Cerda, Í., Espinosa, C. I., Ledo, A., Salinas, N., Macía, M. J., & Cayuela, L. (2020). Trade-Offs Among Aboveground, Belowground, and Soil Organic Carbon Stocks Along Altitudinal



- Gradients in Andean Tropical Montane Forests [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, 11(106).
- Di Rienzo, J. A., Macchiavelli, R., & Casanoves, F. (2017). Modelos lineales generalizados mixtos aplicaciones en InfoStat.
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Food & Agriculture Org.
- FAO. (2004). Actualización de la evaluación de los recursos forestales mundiales a 2005: Directrices para la elaboración de informes nacionales destinados a FRA 2005.
- Farinango, J. (2020). *Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura*
- Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque (Valdivia)*, 30, 36-47.
- Gabriels, D., & Lobo, D. (2011). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14(1), 37-48.
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental research letters*, 2(4), 045023.
- Girardin, Espejob, J., Doughty, C. E., Huasco, W. H., Metcalfe, D. B., Durand-Baca, L., Marthews, T. R., Aragao, L. E. O. C., Farfán-Rios, W., García-Cabrera, K., Halladay, K., Fisher, J. B., Galiano-Cabrera, D. F., Huaraca-Quispe, L. P., Alzamora-Taype, I., Eguiluz-Mora, L., Revilla, N. S., Silman, M. R., Meir, P., & Malhi, Y. (2014). Productivity and carbon allocation in a tropical montane cloud forest in the Peruvian Andes. *Plant Ecology & Diversity*, 7(1-2), 107-123.
- Girardin, C., Farfan, W., Garcia, K., Feeley, K. J., Jørgensen, P. M., Murakami, A. A., Cayola Pérez, L., Seidel, R., Paniagua, N., & Fuentes Claros, A. F. (2014). Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology & Diversity*, 7(1-2), 161-171.
- González, M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus masiminoi* HE Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz, y *Quercus* sp. en el norte del estado de Chiapas, México.
- Granja, C. (2015). *Comparación de los contenidos de carbono entre la Amazonía y los páramos del Ecuador* PUCE].



- Hall, J. M., Van Holt, T., Daniels, A. E., Balthazar, V., & Lambin, E. F. (2012). Trade-offs between tree cover, carbon storage and floristic biodiversity in reforesting landscapes. *Landscape Ecology*, 27(8), 1135-1147.
- Hammer, O., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Homeier, J., Breckle, S. W., Günter, S., Rollenbeck, R. T., & Leuschner, C. (2010). Tree diversity, forest structure and productivity along altitudinal and topographical gradients in a species-rich Ecuadorian montane rain forest. *Biotropica*, 42(2), 140-148.
- Huasco, W. H., Girardin, C. A. J., Doughty, C. E., Metcalfe, D. B., Baca, L. D., Silva-Espejo, J. E., Cabrera, D. G., Aragão, L. E. O. C., Davila, A. R., Marthews, T. R., Huaraca-Quispe, L. P., Alzamora-Taype, I., Mora, L. E., Farfán-Rios, W., Cabrera, K. G., Halladay, K., Salinas-Revilla, N., Silman, M. R., Meir, P., & Malhi, Y. (2014). Seasonal production, allocation and cycling of carbon in two mid-elevation tropical montane forest plots in the Peruvian Andes. *Plant Ecology & Diversity*, 7(1-2), 125-142.
- IPCC. (2013). Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change *Climate Change 2013, En I. P. CHANGE*, 978-992-9169-9138-9168.
- Jadán, O., Cifuentes, M., Torres, B., Selesi, D., Veintimilla, D., & Günter, S. (2015). Influence of tree cover on diversity, carbon sequestration and productivity of cocoa systems in the Ecuadorian Amazon. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 325, 35-47.
- Jadán, O., Quizhpe, W., Pacheco, E., Aguirre, Z., González, M., Ponce, E., & Peña, D. (2017). Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(1).
- Jadán, O., Toledo, C., Tepán, B., Cedillo, H., Peralta, Á., Zea, P., Castro, P., & Vaca, C. (2017). Forest communities in high Andean secondary forests (Azuay, Ecuador). *Bosque*, 38(1), 141-154.
- Jadán, O., Toledo, C., Tepán, B., Cedillo, H., Peralta, Á., Zea, P., Castro, P., & Vaca, C. (2017). Comunidades forestales en bosques secundarios alto-andinos (Azuay, Ecuador). *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 141-154.
- Jadán, O., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C., & Gunter, S. (2016). Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Colombia forestal*, 19(2), 121-142.



- Leuschner, C., Zach, A., Moser, G., Homeier, J., Graefe, S., Hertel, D., Wittich, B., Soethe, N., Iost, S., & Röderstein, M. (2013). The carbon balance of tropical mountain forests along an altitudinal transect. In *Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of South Ecuador* (pp. 117-139). Springer.
- Lozada, J. (2007). Situación actual y perspectivas del manejo de recursos forestales en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 51(2), 195-218.
- Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International journal of remote sensing*, 27(7), 1297-1328.
- MacDicken, K. G. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects.
- MAE. (2014). Plan nacional de restauración forestal con fines de conservación ambiental, protección de cuencas hidrográficas y beneficios alternos *Ministerio del Ambiente del Ecuador*.
- Malizia, A., Blundo, C., Carilla, J., Osinaga Acosta, O., Cuesta, F., Duque, A., Aguirre, N., Aguirre, Z., Ataroff, M., & Baez, S. (2020). Elevation and latitude drives structure and tree species composition in Andean forests: Results from a large-scale plot network. *PloS one*, 15(4), e0231553.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1249-1261.
- Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Graefe, S., Soethe, N., & Iost, S. (2011). Elevation effects on the carbon budget of tropical mountain forests (S Ecuador): the role of the belowground compartment. *Global Change Biology*, 17(6), 2211-2226.
- Oksanen, J., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, H. H., Eduard Szoecs, & Wagner, H. (2020). Community Ecology Package ‘vegan’. *Ordination methods, diversity analysis and other functions for community and vegetation ecologists*.
- Palomeque, X., Günter, S., Siddons, D., Hildebrandt, P., Stimm, B., Aguirre, N., Arias, R., & Weber, M. (2017). Natural or assisted succession as approach of forest recovery on abandoned lands with different land use history in the Andes of Southern Ecuador. *New Forests*, 48(5), 643-662.



- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global* (Vol. 20).
- Penman, G., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., & Tanabe, K. (2003). *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura* (Vol. 628).
- Quizhpe, W., Benítez, Á., Cuenca, K., Uvidia, H., Huamantupa, I., Muñoz, J., & Cabrera, O. (2019). Forest Diversity and Structure in the Amazonian Mountain Ranges of Southeastern Ecuador. *Diversity*, *11*(10), 196.
- Sierra, R. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental* *Fundamental methods of mathematical economics*. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF, Quito (Ecuador) EcoCiencia, Quito (Ecuador).
- Spracklen, D., & Righelato, R. (2013). Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences Discuss*, *10*, 18893-18924.
- Swenson, N. G., & Enquist, B. J. (2008). The relationship between stem and branch wood specific gravity and the ability of each measure to predict leaf area. *American Journal of Botany*, *95*(4), 516-519.
- Tepán, B., & Toledo, C. (2016). Diversidad y estructura en bosques secundarios andinos del cantón Cuenca, provincia del Azuay. *Cuenca: Universidad de Cuenca*.
- Yepes, A., Herrera, J., Phillips, J., Cabrera, E., Galindo, G., Granados, E., Duque, Á., Barbosa, A., Olarte, C., & Cardona, M. (2015). Contribución de los bosques tropicales de montaña en el almacenamiento de carbono en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, *63*(1), 69-82.



## 11. ANEXOS

**Anexo 1:** Total de relaciones obtenidas, se muestra las variables relacionadas

Relación entre variables	F	p
Simpson – Carbono necromasa	0,02	0,8898
Simpson – Carbono raíces	0,08	0,7804
Simpson – Carbono orgánico suelo	0,18	0,6815
Simpson – COT $\geq$ 2,5 cm	0,80	0,3878
Simpson – COT $\geq$ 5 cm	0,76	0,6843
Simpson – COT $\geq$ 10 cm	0,82	0,3839
N – Carbono necromasa	8,7E-04	0,9770
N – Carbono raíces	0,25	0,6274
N – Carbono orgánico suelo	0,13	0,7262
N – COT $\geq$ 2,5 cm	0,20	0,6628
N – COT $\geq$ 5 cm	0,28	0,6052
N – COT $\geq$ 10 cm	0,40	0,5401
G – Carbono necromasa	0,15	0,7040
G – Carbono raíces	2,74	0,1240
G – Carbono orgánico suelo	<b>6,78</b>	<b>0,0230</b>
G – COT $\geq$ 2,5 cm	<b>27,13</b>	<b>0,0002</b>
G – COT $\geq$ 5 cm	<b>26,98</b>	<b>0,0002</b>
G – COT $\geq$ 10 cm	<b>26,57</b>	<b>0,0002</b>
Alt_dom – Carbono necromasa	0,12	0,7387
Alt_dom – Carbono raíces	0,12	0,7387
Alt_dom – Carbono orgánico suelo	0,66	0,4319
Alt_dom – COT $\geq$ 2,5 cm	0,06	0,8050
Alt_dom – COT $\geq$ 5 cm	0,06	0,8053
Alt_dom – COT $\geq$ 10 cm	0,05	0,8189
Alt_prom – Carbono necromasa	0,07	0,7991
Alt_prom – Carbono raíces	0,33	0,5746
Alt_prom – Carbono orgánico suelo	2,2E-03	0,9634
Alt_prom – COT $\geq$ 2,5 cm	2,2E-05	0,9963
Alt_prom – COT $\geq$ 5 cm	2,0E-04	0,9889
Alt_prom – COT $\geq$ 10 cm	2,1E-04	0,9887
Alt_max – Carbono necromasa	0,11	0,7487
Alt_max – Carbono raíces	0,10	0,7520
Alt_max – Carbono orgánico suelo	0,16	0,6979
Alt_max – COT $\geq$ 2,5 cm	0,17	0,6863
Alt_max – COT $\geq$ 5 cm	0,17	0,6884
Alt_max – COT $\geq$ 10 cm	0,17	0,6835

**Anexo 2:** Datos obtenidos de la variable suelo.

	Sitios de investigación		<i>P</i>
	Bosque Montano	Bosque	
	bajo	Piemontano	
Da 15 cm (g cm <sup>-3</sup> )	0,8 ± 0,07 a	1,06 ± 0,07 b	0,0232
Da 30 cm (g cm <sup>-3</sup> )	0,9 ± 0,06 a	1,13 ± 0,06 a	0,0192
Ce 15 cm (S/cm)	0,1 ± 0,01 a	0,07 ± 0,01 a	0,0199
Ce 30 cm (S/cm)	0,1 ± 0,01 a	0,10 ± 0,01 a	0,0956
pH 15 cm	5,6 ± 0,2 a	6,25 ± 0,2 b	0,0015
pH 30 cm	6,4 ± 0,1 a	6,15 ± 0,1 a	0,0189
MO 15 cm %	6,7 ± 0,9 a	4,73 ± 0,9 a	0,0141
MO 30 cm %	4,8 ± 0,7 a	3,16 ± 0,7 a	0,0013

**Anexo 3:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las variables de almacenamiento de carbono

Variable	n	D.E.	W*	p(Unilateral D)
<b>CA ≥ a 2,5 cm DAP</b>	20	21,1	0,9	0,5089
<b>CA ≥ 5 a cm DAP</b>	20	21,4	0,9	0,4398
<b>CA ≥ a 10 cm DAP</b>	20	21,7	0,9	0,5024
<b>C Necromasa</b>	20	0,5	0,8	<0,0001
<b>C Raíces Gruesas</b>	20	2,5	0,9	0,018
<b>C Raíces finas 0 – 15cm</b>	20	1,1	0,9	0,0305
<b>C Raíces finas 15 – 30cm</b>	20	0,8	0,9	0,1196
<b>C Total raíces</b>	20	3,4	0,9	0,0729
<b>C Suelos 0 -15cm</b>	20	28,7	1	0,7732
<b>C Suelos 15 – 30cm</b>	20	29,4	0,9	0,0368
<b>C Total suelos</b>	20	45,6	0,9	0,0406
<b>COT ≥ a 2,5 cm DAP</b>	20	49,4	0,9	0,0847
<b>COT ≥ a 5 cm DAP</b>	20	50,4	0,9	0,2982
<b>COT ≥ a 10 cm DAP</b>	20	50,6	0,9	0,2975

C: Carbono, CA: Carbono aéreo (Mg C/ha), C: Carbono (Mg C/ha) y COT: Carbono orgánico total (Mg C/ha). \*W: resultado del estadístico de Shapiro Wilks.



**Anexo 4:** Variables de almacenamiento de carbono y sus valores medios, desviación estándar (DE), mínimo (Min), máximo (Max) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

		N	Media	D.E.	Min.	Max.	Mediana
CA $\geq$ a 2,5 cm DAP	BSMB	10	93,97	16,64	62,82	118,50	95,33
	BSP	10	64,31	25,71	37,23	123,20	60,10
CA $\geq$ a 5 cm DAP	BSMB	10	91,41	16,63	60,45	116,58	92,68
	BSP	10	60,82	26,20	32,00	120,57	57,73
CA $\geq$ a 10 cm DAP	BSMB	10	88,15	17,13	56,24	113,49	88,67
	BSP	10	56,37	26,40	28,93	116,48	52,78
C Necromasa	BSMB	10	0,74	0,64	0,27	2,01	0,47
	BSP	10	0,60	0,22	0,36	1,08	0,56
C Raíces gruesas	BSMB	10	4,04	3,13	1,24	9,53	2,50
	BSP	10	4,59	1,71	2,25	7,79	4,21
C Raíces finas 0 – 15cm	BSMB	10	1,59	0,80	0,63	3,40	1,41
	BSP	10	2,49	1,38	1,21	5,53	1,99
C Raíces finas 15 – 30cm	BSMB	10	0,67	0,31	0,35	1,27	0,55
	BSP	10	1,19	1,08	0,17	3,46	0,72
C Total raíces	BSMB	10	8,27	3,10	4,62	14,01	7,69
	BSP	10	6,15	3,81	1,73	14,20	4,66
C Suelos 0 -15cm	BSMB	10	74,62	22,38	45,25	113,06	67,24
	BSP	10	61,27	35,22	3,28	117,30	62,55
C Suelos 15 – 30cm	BSMB	10	58,05	23,94	34,59	106,48	50,55
	BSP	10	58,67	35,33	24,20	134,68	44,96
C Total suelos	BSMB	10	132,66	39,50	86,07	219,54	118,71
	BSP	10	113,06	53,22	53,94	210,40	99,77
COT $\geq$ a 2,5 cm DAP	BSMB	10	205,85	43,01	159,19	282,64	185,97
	BSP	10	220,89	57,38	153,40	335,63	213,43
COT $\geq$ a 5 cm DAP	BSMB	10	202,35	42,93	156,26	280,01	182,70
	BSP	10	225,21	59,24	149,45	333,70	224,69
COT $\geq$ a 10 cm DAP	BSMB	10	197,90	43,64	150,51	275,92	177,70
	BSP	10	222,14	59,19	145,58	330,61	222,79

C: Carbono, CA: Carbono aéreo (Mg C/ha), C: Carbono (Mg C/ha), COT: Carbono orgánico total (Mg C/ha), Bosque siempreverde montano bajo (BSMB y Bosque siempreverde piemontano (BSP).

**Anexo 5:** Bosques de estudio San Antonio (izquierda) y La Iberia (derecha).



**Anexo 6:** Cuadrante de muestreo, recolección de raíces y tomas de muestras de suelo.



**Anexo 7:** selección de raíces (Gruesas y finas) y suelo tamizado.



**Anexo 8:** Determinación de densidad aparente, conductividad eléctrica, pH y materia orgánica.





**Anexo 9:** Hoja de campo para la descripción general de la parcela de 0,1 ha.

### **FICHA GENERAL DE PARCELA**

**NOMBRE DE LA PARCELA:**

**RESPONSABLE:**

**FECHA DE INICIO:**

**FECHA DE FINALIZACIÓN:**

**PERSONAS IMPLICADAS:**

**COORDENADAS EN PUNTO 1:**

**COORDENADAS EN PUNTO 7:**

**ALTITUD:**

**PENDIENTE:**

**ORIENTACIÓN EJE LARGO (50 m):**

**ORIENTACIÓN EJE CORTO (20 m):**

**POSICIÓN TOPOGRÁFICA:**

### **DESCRIPCIÓN GENERAL**

- esquema de la parcela y alrededores (subparcelas, orientación, y cualquier heterogeneidad)
- tipo de bosque
- instrucciones exactas de cómo llegar
- tipo de cobertura vegetal (ej. suelo desnudo, mucha hojarasca, mucho arbusto...)
- distancia a carreteras / caminos
- particularidades de la vegetación (presencia de árboles / lianas gruesas, helechos, ...)
- otras particularidades (sendas cercanas, arroyos, árboles caídos, etc)
- frecuencia y tipo de disturbancias comunes
- influencia humana (visible, posible, cercanía potreros, uso de tierra, etc)
- información sobre la matriz en la que se enclava la parcela



**Anexo 10:** Hoja de campo para los datos del muestro de suelo.

**MUESTREO DE SUELO (0-15 cm)**

NOMBRE DE LA PARCELA:

RESPONSABLE:

FECHA:

**1) ANÁLISIS QUÍMICOS (5 sub- muestras)**

*		*		*
	*		*	

Profundidad del horizonte orgánico (cm) en

Sub-muestra 1:

sub- muestra 2:

sub- muestra 3: promedio:

sub- muestra 4:

sub- muestra 5:

Color del suelo en fresco de la muestra total :

**2) DENSIDAD APARENTE (3 sub- muestras)**

*				*
		*		

Volumen del cilindro utilizado: