



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

Dinámica del almacenamiento de carbono en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal

AUTORA:

Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez

DIRECTORA:

Ing. Deicy Carolina Lozano Sivisaca., PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 31 de agosto de 2023

Ing. Deicy Carolina Lozano Sivisaca., PhD

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

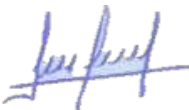
Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Dinámica del almacenamiento de carbono en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Forestal**, de la autoría de la estudiante **Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez**, con **cédula de identidad Nro.1150097275**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Deicy Carolina Lozano Sivisaca., PhD

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional- Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1150097275

Fecha: Loja, 09 de febrero del 2024

Correo electrónico: jennifer.valdiviezo@unl.edu.ec

Teléfono: 0982847067

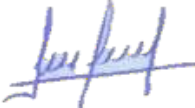
Carta de autorización por parte de la autora, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Dinámica del almacenamiento de carbono en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador**, como requisito para obtener el título de **Ingeniera Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los nueve días del mes de febrero del dos mil veinticuatro.

Firma: 

Autora: Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez

Cédula: 1150097275

Dirección: Catamayo, Loja

Correo electrónico: jennifer.valdiviezo@unl.edu.ec

Teléfono: 0982847067

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del Trabajo de Titulación: Ing. Deicy Carolina Lozano Sivisaca., PhD.

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación con mucho amor a mi hija Fernanda Sarai quien es mi principal motivación para esforzarme cada día; a mis padres Richard Valdiviezo y Rosita Ramirez por apoyarme y guiarme en cada una de las decisiones que he tomado; a mis hermanos Nayely y Joan por acompañarme en este proceso.

Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios y a la Virgen, que con su bendición me han permitido cumplir una meta más en mi vida.

A mis padres Richard y Rosita por todo su esfuerzo, consejos y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, quienes me guiaron por el camino del respeto y me han enseñado a luchar para conseguir con esfuerzo cada uno de los objetivos que me proponga en mi vida.

Agradezco a mi hija Fernanda por su compañía en aquellas desveladas, que con sus pequeñas muestras de cariño me daba fuerzas para continuar y quien a su corta edad ha logrado comprenderme.

A mis tíos Manuel y Kid Ramirez que a pesar de la distancia me han motivado a salir adelante y han confiado en mí desde un inicio.

Agradezco a la Ing. Deicy Lozano quien, con su conocimiento, experiencia y su tiempo me supo orientar en el desarrollo del trabajo de titulación.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Forestal por acogerme en sus aulas, a los docentes por compartir sus conocimientos, así mismo, al personal técnico-administrativo por contribuir en mi formación académica.

A mis amigas Fanny, Anita, Erika, Yessica, Merly, Ligia y Joselin M., con las que compartí gratos momentos y me brindaron su amistad incondicional. De la misma manera agradezco Ronny Loján y Bryan Merino por su ayuda y palabras de apoyo brindadas.

Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract.....	4
3. Introducción	6
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos.....	8
4. Marco teórico	9
4.1. Bosques andinos.....	9
4.2. Bosque montano de los Andes.....	9
4.3. Formación vegetal del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”	9
4.3.1. Bosque Natural dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”	9
4.3.2. Matorral Alto dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”	10
4.3.3. Matorral Bajo dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”.....	10
4.3.4. Páramo Antrópico dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”	10
4.3.5. Pastizales dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”	10

4.3.6. Plantaciones forestales dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”	10
4.4. Estructura del bosque.....	11
4.4.1. Estructura de especies o diversidad de especies.....	11
4.4.2. Estructura espacial o estructura horizontal.....	11
4.4.3. Estructura Dimensional o Estructura Vertical.....	11
4.5. Composición florística.....	12
4.5.1. Factores que influyen la vegetación	12
4.6. Cambio climático.....	12
4.7. El efecto invernadero.....	13
4.7.1. Incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.....	13
4.8. Ciclo del carbono.....	13
4.9. Dinámica forestal.....	14
4.10. Biomasa en los bosques.....	16
4.10.1. Biomasa forestal y su relación con el cambio climático	16
4.10.2. Métodos de cálculo de la biomasa.....	17
4.11. Captura y almacenamiento de carbono.....	18
4.12. Aplicaciones de la captura y almacenamiento de carbono.....	18
4.13. Estudios relacionados.....	18
5. Metodología.....	22
5.1. Características del área de estudio.....	22
5.2. Metodología para cuantificar la biomasa y carbono.....	23
5.3. Metodología para analizar la relación del almacenamiento de carbono.....	25
6. Resultados	29
6.1. Biomasa y carbono en una parcela permanente.....	29
6.2. Carbono por especie arbórea.....	33
6.3. Análisis de la relación del almacenamiento de carbono.....	34

6.3.1. Cambios en la estructura y composición de las comunidades.....	34
6.3.2. Parámetros cuantitativos de las especies en la parcela permanente del bosque andino del PUFVC, inventario entre 2017 a 2022	35
6.4. Dinámica forestal.....	37
6.5. Relación del carbono con crecimiento y mortalidad.....	40
7. Discusión	42
8. Conclusiones	48
9. Recomendaciones	50
10. Bibliografía	51
11. Anexos	61

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de la media de las variables estructurales del bosque andino en la parcela permanente del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja. Valores en paréntesis es el error estándar.	29
Tabla 2. Promedio, total y porcentaje de biomasa y carbono por especie de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), en los años 2017 y 2022.	33
Tabla 3. Cambios en abundancia, área basal y riqueza, en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), durante un período de observación de 5 años.	34
Tabla 4. Parámetros cuantitativos de las especies en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja. N = número de individuos, D = diámetro en cm, AB = área basal en m ² , P = número de subparcelas (20 x 20 cm) con ocurrencia de la especie, subíndices 17 y 22 corresponden a los años de levantamiento de la información.	35
Tabla 5. Parámetros dinámicos del bosque andino en la parcela permanente del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), en el período de observación de 5 años.	37
Tabla 6. Dinámica de las especies arbóreas en los años 2017 y 2022 del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja. N= número de individuos, M= muertos, R=reclutas, $\bar{X}C$ = promedio de carbono, PC+=número de subparcelas con incremento en carbono, PC-=número de subparcelas donde el carbono disminuye.	38
Tabla 7. Correlación de Spearman entre el almacenamiento de carbono con el crecimiento, la tasa de reclutamiento y la tasa de mortalidad. Incremento medio anual (IMA), Balance de carbono (CN_carbono), Almacenamiento de carbono en los árboles vivo + reclutas en el 2022 (C_vivo), Almacenamiento de carbono de los árboles sobrevivientes en el 2022.	40

Índice de figuras

Figura 1. Interacciones en torno al carbono.	14
Figura 2. Mapa de ubicación espacial de la parcela permanente en el bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja.....	23
Figura 3. a) Biomasa, b) carbono, c) área basal, d) abundancia y e) mortalidad por clase diamétrica en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja.....	31
Figura 4. Comparación estructural de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja: a) biomasa, b) carbono, c) área basal, d) abundancia, e) diámetro a la altura del pecho (DAP) y f) altura de los árboles.....	32
Figura 5. Curvas de la relación entre las variables de: a) almacenamiento de carbono neto con el crecimiento (IMA), b) carbono los arboles vivos 2022 – IMA, c) carbono los arboles sobrevivientes – IMA, d) carbono neto - tasa de reclutamiento, e) carbono de los arboles sobrevivientes – tasa de reclutamiento, f) carbono de árboles vivos 2022 – tasa de mortalidad y g) carbono de los arboles sobrevivientes – tasa de mortalidad en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC),	41

Índice de anexos

Anexo 1. Registro de la composición florística de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” Loja (PUFVC) registrada en los años 2017 y 2022.	61
Anexo 2. Variables estructurales de las subparcelas del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC) en el año 2022.	63
Anexo 3. Registro fotográfico de recorrido y toma de coordenadas de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja.	64
Anexo 4. Certificado de traducción del Resumen/abstract.	65

1. Título

Dinámica del almacenamiento de carbono en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador

2. Resumen

Los bosques son uno de los recursos naturales más valiosos para la humanidad, porque proporcionan bienes y servicios ecosistémicos, entre estos el almacenamiento de carbono que contribuye a disminuir los efectos del cambio climático. El objetivo del estudio fue cuantificar la biomasa y carbono, y analizar la relación que existe entre el almacenamiento de carbono con el crecimiento y mortalidad de las especies del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC). En el área de estudio fue demarcada una parcela permanente de 100 m × 100 m, subdividida en 25 subparcelas de 400 m² (20 × 20 m). Dentro de cada subparcela, fueron medidos los árboles ≥ 5 cm de DAP en un primer inventario realizado por Reyes (2017) y el segundo inventario realizado por Merchan Granda (2022). Para cuantificar la biomasa y carbono se aplicó una ecuación alométrica que incluye el DAP y la densidad de las especies. Además, se utilizó histogramas para verificar en que clase diamétrica se acumuló mayor cantidad de biomasa y carbono. Se usaron análisis no paramétricos con el test Kruskal-Wallis y se verificó la correlación de biomasa, crecimiento y mortalidad aplicando la correlación de Spearman. Los cambios temporales de la estructura del bosque se calcularon con la tasa de incremento anual, tasa de incremento anual en el área basal, tasa de mortalidad y reclutamiento y la vida media del bosque. En total se registraron 1 370 individuos para el 2017 y 1 214 individuo en el año 2022 en el bosque andino del PUFVC, correspondientes a 45 especies, 38 géneros 29 familias botánicas. En el bosque andino se cuantificó 105,68 Mg ha⁻¹ y 49,66 Mg ha⁻¹ de biomasa y carbono, respectivamente y presenta una tasa de mortalidad de 4,68%, con una tasa de reclutamiento de 1,81%. Se evidenció mayor acumulación de carbono en la segunda clase diamétrica (10-20 cm DAP) con 15,45 Mg ha⁻¹. Los árboles almacenan en promedio 4,03 Mg de biomasa por individuo y presentan una abundancia de 51 individuos por subparcela. *Alnus acuminata* fue la especie que almacena mayor cantidad de carbono con 14,26 Mg ha⁻¹. Las especies con mayor mortalidad fueron *Palicourea amethystina*, *Phenax laevigatus*, y *Oreopanax rosei*, mientras que, *Phenax laevigatus*, *Palicourea amethystina* y *Palicourea heterochroma* fueron aquellas con mayor número de especies reclutas. Por otra parte, *Axinaea macrophylla*, *Guettarda hirsuta*, *Alnus acuminata*, *Vismia baccifera* y *Oreopanax rosei* fueron las especies que presentaron incremento en el almacenamiento de carbono en cinco años. Se evidenció una correlación positiva y significativa (p=0,002) de 59% entre el almacenamiento de carbono con el reclutamiento de árboles. El almacenamiento de carbono presentó una correlación negativa significativa (p=0,03) de -45% con respecto al crecimiento; así mismo, el almacenamiento de carbono presentó una correlación negativa

significativa ($p=0,04$) de -40% con la tasa de mortalidad. El almacenamiento de carbono en el bosque andino y su relación con la dinámica forestal (crecimiento, mortalidad y reclutamiento) es fundamental para contribuir a la mitigación del cambio climático y a la conservación de estos ecosistemas.

Palabras claves: Bosque andino, almacenamiento de carbono, biomasa.

Abstract

Forests are one of the most valuable natural resources for humanity, because they provide ecosystem goods and services, including carbon storage, which contributes to reducing the effects of climate change. The aim of the study was to quantify biomass and carbon, and to analyse the relationship between carbon storage and the growth and mortality of Andean forest species in the "Francisco Vivar Castro" University Park (PUFVC). A permanent plot of 100 m × 100 m was demarcated in the study area, subdivided into 25 subplots of 400 m² (20 × 20 m). Within each subplot, trees ≥ 5 cm DBH were measured in a first inventory conducted by Reyes (2017) and the second inventory conducted by Merchan Granda (2022). An allometric equation including DBH and species density was applied to quantify biomass and carbon. In addition, histograms were used to verify in which diameter class the greatest amount of biomass and carbon accumulated. Non-parametric analyses were used with the Kruskal-Wallis test and the correlation of biomass, growth and mortality was verified by applying Spearman's correlation. Temporal changes in forest structure were calculated with annual increment rate, annual increment rate in basal area, mortality and recruitment rate and forest half-life. In total, 1 370 individuals were recorded for 2017 and 1 214 individuals in 2022 in the Andean forest of the PUFVC, corresponding to 45 species, 38 genera and 29 botanical families. In the Andean forest, 105.68 Mg ha⁻¹ and 49.66 Mg ha⁻¹ of biomass and carbon were quantified, respectively, with a mortality rate of 4.68% and a recruitment rate of 1.81%. Carbon accumulation was highest in the second diameter class (10-20 cm DBH) with 15.45 Mg ha⁻¹. Trees stored an average of 4.03 Mg biomass per individual and had an abundance of 51 individuals per subplot. *Alnus acuminata* was the species that stored the most carbon with 14.26 Mg ha⁻¹. The species with the highest mortality were *Palicourea amethystina*, *Phenax laevigatus*, and *Oreopanax rosei*, while *Phenax laevigatus*, *Palicourea amethystina* and *Palicourea heterochroma* were those with the highest number of recruits. On the other hand, *Axinaea macrophylla*, *Guettarda hirsuta*, *Alnus acuminata*, *Vismia baccifera* and *Oreopanax rosei* were the species that showed an increase in carbon storage in five years. There was a positive and significant correlation (p=0.002) of 59% between carbon storage and tree recruitment. Carbon storage presented a significant negative correlation (p=0.03) of -45% with respect to growth; likewise, carbon storage presented a significant negative correlation (p=0.04) of -40% with the mortality rate. Carbon storage in the Andean forest and its relationship with forest dynamics (growth, mortality and recruitment) is fundamental to contribute to the mitigation of climate change and the conservation of these ecosystems.

Keywords: Andean forest, carbon storage, biomass.

3. Introducción

Los bosques son uno de los recursos naturales más valiosos para la humanidad, porque proporcionan bienes y servicios ecosistémicos a la sociedad y al equilibrio del Planeta (Sanquetta et al., 2002). Entre los servicios ecosistémicos que brinda los bosques se encuentran: la regulación del clima, el control de la erosión, el ciclo de nutrientes, la provisión de recursos hídricos en cantidad y calidad, la protección de la biodiversidad, entre muchos otros (MEA, 2005).

En el año 2014 se registró 30,67 millones de hectáreas de este ecosistema a nivel mundial (Ruiz, 2021). En el Ecuador se registran 82 ecosistemas existentes, distribuidos en la región andina, costa y amazonia (MAE, 2012), que históricamente han aportado con bienes y servicios ecosistémicos, entre estos los bosques andinos. Específicamente, los bosques andinos han perdido una décima de su extensión original. En el Ecuador estos bosques cubren solamente un área de 21 576 km² el rango de elevación de estos ecosistemas para el sur del Ecuador es de 1 000 a 3 000 m s.n.m (Bokkestijn, 2017; Ruiz, 2021). A pesar de su importancia ecológica y de su alta diversidad su extensión ha disminuido notablemente en los últimos años (Bokkestijn, 2017). Dentro de la región sur del país, se puede localizar este ecosistema en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, situado en la provincia de Loja, cantón Loja. Además, este ecosistema se encuentra presente en Cajanuma, dentro del Parque Nacional Podocarpus, mismo que está ubicado entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe (Eras et al., 2021).

Los ecosistemas andinos son importantes por su alta diversidad; pero se han visto afectados por causas directas e indirectas que contribuyen a la fragmentación de los mismos (Bokkestijn, 2017; Lozano et al., 2018). Las principales causas directas de la disminución de vegetación de estos ecosistemas son el cambio de uso de suelo para actividades agrícolas y pecuarias, y la extracción de madera de alto valor comercial. Mientras que la principal causa indirecta que afecta al bosque andino es la implementación de infraestructura física debido a la creciente demanda de la población por tierras para viviendas. Estas causas conllevan a la pérdida de funciones ecológicas para generar bienes y servicios ecosistémicos (García, 2010; Kinoshita et al., 2006), uno de estos servicios es el almacenamiento de carbono el cual es importante para la regulación del clima.

La emisión de gases de efecto invernadero tiene una relación directa con el cambio climático, y los bosques son importantes sumideros para mitigar los efectos de estos fenómenos.

El CO₂ en conjunto con otros gases presentes en el entorno como el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) afectan de manera directa a los procesos biológicos en los ecosistemas forestales. Además, las actividades relacionadas con la energía representaron el 26% de las emisiones, seguidas del sector industrial (19%), forestal (17%), la agricultura (14%), la vivienda y los negocios (8%) y la gestión de residuos (3%) (Santillán et al., 2016).

Los bosques maduros son los principales en contrarrestar el aumento de la emisión de CO₂ a la atmósfera, almacenando el 50% del CO₂ en el planeta (Connolly y Corea, 2007; Jiménez, 2021), por lo que la disminución de la cobertura forestal reduce las fuentes potenciales de almacenamiento de carbono. Bajo este contexto, los bosques contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático debido a que los árboles presentan una alta capacidad para lograr absorber CO₂ y a la vez almacenar en su tejido leñoso grandes cantidades de carbono, que son liberados a la atmósfera producto de actividades como la industria, transporte, incendios forestales, entre otras (Chávez, 2018; Rosas, 2011). Este proceso biológico de almacenamiento de carbono se produce a través de la fotosíntesis, mediante la cual el dióxido de carbono se transfiere de la atmósfera al tejido vegetal (Escalona et al., 2007). Cuando el tiempo promedio de residencia del carbono en el tejido vegetal es largo (60 años o incluso más), lo llamamos secuestro biológico de carbono, un proceso que ayuda a la ralentización de los efectos del calentamiento global (Escalona et al., 2007; Luza, 2015).

Adicionalmente, el secuestro de carbono como un servicio ecosistémico permite generar ingresos por la venta de bonos de carbono en el mercado voluntario y contribuye a la conservación de la biodiversidad a largo plazo (Castro et al., 2023). Según Sedjo (2001), los bosques intercambian CO₂ con el medio ambiente a través de procesos como la fotosíntesis, la respiración, la descomposición y las emisiones asociadas a perturbaciones como incendios, defoliación por diversas causas y explotación forestal. Los cambios en las reservas netas de carbono determinan si un ecosistema forestal será una fuente de almacenamiento o un sumidero de carbono atmosférico (Ciesla, 1996).

Al estudiar los bosques los procesos más importantes que se puede evidenciar en ellos son el crecimiento, reclutamiento y mortalidad. La importancia de este radica en que estos son sistemas dinámicos, que además presentan constantemente otros procesos como polinización, diseminación y germinación, que constituyen en conjunto la dinámica de los bosques manteniendo la densidad de árboles en el bosque (Quinto Mosquera et al., 2009). El estudio de la dinámica forestal se realiza en base a censos, los cuales permiten conocer directamente las

tasas de crecimiento y mortalidad de las especies y los cambios que se han generado en la estructura y composición de un bosque durante un determinado tiempo (Rozas, 2001). La mortalidad hace referencia a la cantidad de árboles que mueren en un periodo de tiempo, los cuales pueden darse por factores endógenos y disturbios exógenos; mientras que el crecimiento es la capacidad con la que un bosque cuenta para incrementar la cantidad de árboles y el reclutamiento (Quinto Mosquera et al., 2009).

Es de vital importancia la conservación de los bosques y su dinámica, para la permanencia de los bosques a largo plazo (Jiménez, 2021). Sin embargo, la sociedad ha generado grandes transformaciones en los ecosistemas para implementar sus medios de vida, lo cual ha causado degradación en los ecosistemas, así como, pérdida de servicios ecosistémicos. Bussmann (2005) indica que para garantizar la sobrevivencia de los bosques andinos en el tiempo se debe estudiar los procesos de dinámica forestal.

Con este contexto, para contribuir a la generación de información sobre la dinámica forestal en los bosques andinos, fue realizado el presente trabajo de investigación y para su desarrollo fueron planteados los siguientes objetivos:

Objetivo General

Generar información del balance de almacenamiento de biomasa y carbono para contribuir al conocimiento de la dinámica forestal que aporte a la conservación del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador

Objetivos Específicos

- Cuantificar la biomasa y carbono en una parcela permanente de bosque andino, en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador.
- Analizar la relación del almacenamiento de carbono con el crecimiento y mortalidad de las especies del estrato arbóreo en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja.

4. Marco teórico

4.1. Bosques andinos

Ecosistemas boscosos de montaña con un rango de elevación de 1 000 m s.n.m a la línea superior del bosque. Están caracterizados por su alta diversidad y endemismo y parte de su importancia radica en los servicios ecosistémicos que prestan (Bokkestijn, 2017).

Se denomina bosque andino, bosque nuboso o bosque de niebla por su alta incidencia de nubosidad superficial. Se localizan alrededor de montañas donde se reserva de manera más efectiva la humedad de las nubes en formación. La niebla influye de una manera sustancial tanto en el régimen hídrico como en el balance de radiación y también en los demás parámetros tanto edáficos, climáticos y ecológicos (Briceño, 2013).

4.2. Bosque montano de los Andes

Los Bosques Montanos son ecosistemas que comprenden un subconjunto de bosques por encima de los 1 500 m s.n.m., y cerca de las costas hasta 500-800 m s.n.m. estos bosques albergan un alto nivel de biodiversidad debido a un conjunto de factores ambientales. La elevación, fisiografía y los nutrientes del suelo permiten que exista un alto nivel de endemismo y diversidad beta, debido al recambio de especies a lo largo de los gradientes ambientales, a esto se suma la cantidad y la frecuencia de las precipitaciones que se producen en este ecosistema (Valarezo y Romero, 2020).

4.3. Formación vegetal del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

El Parque Universitario Francisco Vivar Castro (PUFVC), con rango altitudinal de 2 130 a 2 520 m s.n.m. y una superficie total de 96 ha donde se encuentra una gran diversidad de ecosistemas, caracterizados por la estructura, composición y función de cada uno, mismas que serán detalladas a continuación:

4.3.1. Bosque Natural dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

El bosque natural posee 2,93 hectáreas, lo que representa el 13,46 % del total del área del PUFVC. Se encuentra situado a una altitud de 2 250 m s.n.m y alberga una gran diversidad florística, incluyendo árboles, arbustos, hierbas, parásitas y plantas epífitas. Dos tipos de bosques sobresalen en esta área: uno predomina *Juglans neotropica* (nogal), que cubre 2,91 ha

(3,03%); y otro con abundancia de *Alnus acuminata* (aliso), extendiéndose sobre 2,45 hectáreas (2,55%)." (Aguirre y Yaguana, 2014).

4.3.2. Matorral Alto dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

Posee un área de 28,4 ha del área total de PUFVC, donde se encuentran dos estratos: arbustivo y herbáceo, mismos que están conformados por especies secundarias. (Aguirre y Yaguana, 2014).

4.3.3. Matorral Bajo dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

Constituye el 14,86% (14,27 ha) del área total del PUFVC, está ubicada en las partes altas, es importante para la protección del suelo y del nacimiento de las quebradas. Está conformada por arbustos, hierbas y una gran cantidad de plantas inferiores (Aguirre y Yaguana, 2014).

4.3.4. Páramo Antrópico dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

Ocupa 20,58 ha (21,44%) dentro del PUFVC, sus pendientes son mayores a 35 %, en un rango altitudinal entre 2 380 a 2 468 m s.n.m. Presenta formación herbácea perenne, donde predomina *Calamagrostis intermedia* y *Puya eryngioides*. En esta cobertura vegetal se ha evidenciado alteraciones en la estructura y composición de su vegetación, lo que ha dado paso a la degradación de los suelos, principalmente por el proceso de lixiviación (Aguirre y Yaguana, 2014).

4.3.5. Pastizales dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

Se los encuentra en los alrededores de la casa de visitantes, ocupan el 0,68% (0.65 ha) del área del PUFVC. Donde se han inventariado 40 especies entre forestales y frutales, siendo este un muestrario de la flora útil de la hoya de Loja. (Aguirre y Yaguana, 2014).

4.3.6. Plantaciones forestales dentro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

Tiene un área de 14,4% (13,83 ha) del PUFVC, donde se han encontrado 12 especies de *Eucalyptus spp.* y 11 especies de Pino. Bajo el dosel de las plantaciones se observa un

sotobosque el cual está conformado por especies nativas (20 especies que corresponden a 14 familias) (Aguirre y Yaguana, 2014).

4.4. Estructura del bosque

La estructura de un bosque indica la distribución de las características arbóreas en el espacio, enfatizando la importancia de la distribución de las diferentes especies y la distribución de las mismas por clases de dimensión (Aguirre, 2013).

4.4.1. Estructura de especies o diversidad de especies

La cantidad de especies es la medida más utilizada para evidenciar la riqueza biológica que posee una zona, por varias razones:

- Los distintos aspectos de la biodiversidad están reflejados en la riqueza de especies,
- Se cuenta con aproximaciones para dar el concepto de especie, pero su significado es ampliamente entendido,
- Las especies son detectables y cuantificables para ciertos grupos,
- Para hongos, insectos y otros invertebrados de zonas tropicales no se cuenta con un completo conocimiento taxonómico sin embargo, existen datos sobre el número de especies (Aguirre, 2013).

4.4.2. Estructura espacial o estructura horizontal

Para determinar la estructura horizontal es decir la cobertura del estrato leñoso, se deben tener en cuenta características de suelo, clima, estrategias de las especies y los efectos de distribución sobre la dinámica del bosque, esta cuantificación es reflejada por la distribución de individuos por clases diamétricas (Aguirre, 2013).

4.4.3. Estructura Dimensional o Estructura Vertical

La estructura vertical se debe a efectos que son producidos tanto por la luz como el aumento de la humedad hacia abajo, se debe tener en cuenta características como las especies que lo componen y las condiciones microclimáticas presentes en las diferentes alturas del perfil para determinar la estructura vertical de la comunidad vegetal; ya que este tipo de estructura hace referencia a la disposición de las plantas de acuerdo a la forma de vida que corresponden a los diferentes estratos arbóreos. (Aguirre, 2013).

4.5. Composición florística

En el mundo, se estima que existen alrededor de 300 000 especies de plantas, de estas aproximadamente 18 600 especies de plantas vasculares se registran en el Ecuador, de las cuales 3 642 especímenes fueron documentados entre los años 2015-2017 en los inventarios florísticos llevados a cabo por el Herbario QCA de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Romoleroux, 2022). El área total del PUFVC cuenta con 137 especies de 109 géneros en 50 familias. Cuenta con elementos arbóreos, arbustivos, herbáceos, trepadores y rosetas, de éstos, 92 géneros contienen una sola especie, nueve géneros están representados por dos especies cada uno, cinco géneros tienen tres especies y, tres géneros poseen cuatro especies (Aguirre y Yaguana, 2014).

La composición florística se refiere a las especies de plantas presentes en un lugar, teniendo en cuenta su la densidad, su distribución y su biomasa (Cano y Stevenson, 2009). La dinámica del bosque ofrece un gran potencial de investigación: su estructura y densidad varía con la edad, dependiendo de las especies que la constituyan, presentan un gran valor en cuanto a la protección y conservación de su biodiversidad vegetal (Ramírez, 2016).

4.5.1. Factores que influyen la vegetación

La diversidad de un bosque depende del número de especies que lo componen, mayor será la diversidad; los factores que influyen en la diversidad de un bosque dependerá del clima, tipo de suelo, competencia intra e inter específica de individuos, claros presentes dentro del bosque, y capacidad que posee el bosque para regenerarse (García, 2014).

4.6. Cambio climático

El cambio climático se debe a procesos naturales e incluso a fuerzas externas como erupciones volcánicas, modulación del ciclo solar, o causas antropogénicas en la composición de la atmósfera o uso actual del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el artículo 1 lo define como "cambio climático causado directa o indirectamente por la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables. La CMNUCC menciona que el cambio climático se debe a actividades antropogénicas las cuales logran alterar tanto la composición de la atmósfera como la variabilidad climática debido a causas naturales internas (Guillen y Rojas, 2019).

4.7. El efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno natural que ocurre en la Tierra, el vapor de agua y los gases como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarbonos (CFC) son transparentes a la radiación solar de onda corta que ingresa a la atmósfera, pero absorben la radiación de onda larga de la atmósfera en la superficie de la Tierra. La absorción de esta energía en la troposfera atrapa el calor que, de otro modo, se irradiaría al espacio. El efecto neto es bueno para la vida en la Tierra, porque sin este efecto aislante, las temperaturas promedio podrían ser 30 grados más bajas de lo normal (Morales, 2017).

4.7.1. Incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera

Debido a que los gases de efecto invernadero tienen diferentes capacidades para atrapar la radiación térmica en la atmósfera, se desarrolló el concepto de potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) para calcular la contribución de un gas al calentamiento global. GWP es un índice que aproxima el efecto de calentamiento actual de un gas de efecto invernadero dado por unidad de masa en la atmósfera en relación con el CO₂ a lo largo del tiempo (Morales, 2017).

4.8. Ciclo del carbono

La microbiota del suelo a través de la oxidación-reducción logra la descomposición de la materia orgánica. Así, en los ciclos biogeoquímicos básicos de los organismos vivos entran los elementos que componen esta sustancia. Se han identificado 27 elementos básicos, como los ciclos de carbono, azufre, nitrógeno, etc. El carbono, por otro lado, está presente en la atmósfera y la corteza, y también se disuelve en la hidrosfera (Figura 1). En este sentido, el dióxido de carbono se convierte en azúcares y aminoácidos con la ayuda del plancton y la fotosíntesis de las plantas. Una vez que el carbono ingresa a una cadena alimentaria, el consumo de energía dependerá de la respiración celular, el diezmo ecológico y el tamaño de la cadena o parcela (Chávez, 2018).

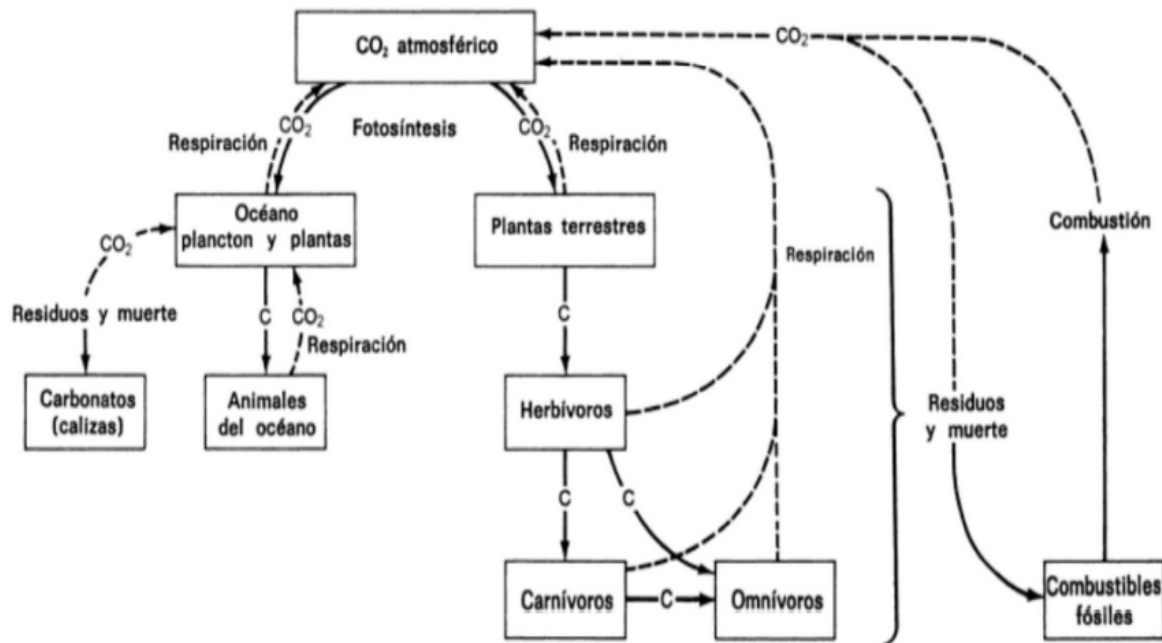


Figura 1. Interacciones en torno al carbono.

Fuente: Armstrong y Bennet 1982.

4.9. Dinámica forestal

Los bosques son considerados mosaicos dinámicos de vegetación de distintas edades, los cuales están influidos por condiciones ambientales abióticas y bióticas. En este se presentan cambios a lo largo del tiempo que logran alterar la estructura, la florística y los procesos ecológicos de la comunidad forestal a través de sustituciones de una comunidad a otra. Las interacciones bióticas y la heterogeneidad ambiental, con la disponibilidad de agua, luz y nutrientes forman parte de la dinámica de los árboles en los bosques tropicales, se debe considerar las escalas temporales y espaciales en los procesos dinámicos de las comunidades vegetales y de la respuesta que presentan ante las perturbaciones (Renó, 2015).

Los cambios estructurales en los procesos poblacionales son dependientes de la densidad y las perturbaciones adicionales. La dinámica es importante al momento de buscar la conservación de la diversidad biológica, ya que en los bosques tropicales el historial de perturbaciones son los principales factores que determinan los procesos de dinámica y los cambios en la estructura de las comunidades de especies arbóreas. Las perturbaciones naturales provocan modificaciones en varios aspectos del entorno físico del bosque, como la intensidad y la calidad de la luz, la temperatura y la humedad, y las perturbaciones causadas por la caída de árboles (Renó, 2015).

Tasas vitales de la dinámica forestales

La mortalidad, la supervivencia y el crecimiento de los árboles son los principales factores que afectan la vitalidad de un bosque. Estos son eventos que afectan la dinámica de la vegetación, el recambio de biomasa y el desarrollo de la calidad del bosque, ya que determinan el número de individuos y la demografía de los árboles. Estos efectos también producen cambios en la distribución diamétrica y en la distribución espacial de las especies (Iturre et al., 2021).

Mortalidad

Se refiere al porcentaje de árboles que mueren en un periodo de tiempo dado; la mortalidad de árboles en bosques naturales se genera por factores endógenos y disturbios exógenos que afectan a las comunidades vegetales. Esta mortalidad a menudo es causada por procesos como el envejecimiento o factores exógenos como sustancias tóxicas, patógenos, parásitos y consumidores. También actividades intensas como incendios, deslizamientos de tierra, etc. (Quinto et al., 2009).

Reclutamiento

El reclutamiento determina la capacidad del puesto para aumentar el número; es una expresión de la fecundidad y el crecimiento y la supervivencia de las larvas de una especie y es uno de los aspectos más importantes de la dinámica de la población. Para determinar el reclutamiento se considera el número de árboles que alcanzaron el DAP mínimo de 10 cm entre dos mediciones; el porcentaje de reclutamiento por periodo se calcula por la proporción entre el número de árboles reclutados y el número de árboles en el inicio del periodo (Buttgenbach, 2012).

Quinto et al. (2009) menciona que el reclutamiento es la capacidad que tiene el bosque para incrementar el número de árboles, como manifestación de la fecundidad de las especies, lo mismo que del crecimiento y supervivencia de los individuos arbóreos.

Tasa de rotación (turnover)

La rotación forestal, es decir, el reemplazo y los cambios de individuos o especies a lo largo del tiempo, se estima a través de la tasa promedio de mortalidad y reclutamiento, expresada por la tasa de rotación (Phillips et al., 2004). Esta tasa refleja cambios en la

comunidad, en relación con el tamaño original, y en los bosques estos cambios pueden aplicarse a individuos y especies. En los bosques tropicales maduros, debido a factores ambientales restrictivos, la dinámica del ecosistema se ve más afectada por las tasas de rotación y crecimiento que por la productividad, lo que influye en el mantenimiento de la riqueza de especies a través de perturbaciones impredecibles a pequeña escala (Phillips et al., 1994).

Tasa de crecimiento

El crecimiento de un árbol se define como su aumento de tamaño en el tiempo, puede expresarse en altura, superficie o volumen. La cantidad de aumento se llama ganancia. Todo crecimiento implica un estado inicial medible y cómo ese estado cambia con el tiempo. Así podemos decir crecimiento total (la diferencia entre el estado en un momento dado y el estado inicial), crecimiento anual actual (crecimiento último año, ICA), crecimiento medio anual (promedio anual desde el año 0, IMA) o periódico anual (promedio para un año en un período determinado, IPA) o crecimiento relativo (como porcentaje del total promedio entre el inicio y el final del período de medición del crecimiento del IR) (Buttgenbach, 2012).

4.10. Biomasa en los bosques

La biomasa se refiere a la cantidad total de biomasa presente en un sistema biológico en un momento dado, expresada en unidades de peso seco por unidad de área, y puede usarse para determinar la cantidad de biomasa disponible en un momento y ambiente dados a través de un inventario; y determinar la distribución de la materia orgánica en el sistema (Durán, 2005).

4.10.1. Biomasa forestal y su relación con el cambio climático

Comprender la biomasa en los ecosistemas forestales permite estimar el almacenamiento de carbono y las tasas anuales de fijación. Este tema es muy importante porque está directamente relacionado con el calentamiento global. El almacenamiento de carbono es un servicio ecosistémico ampliamente reconocido porque está estrechamente relacionado con la productividad y la capacidad de regulación climática de los ecosistemas terrestres (Urgilés, 2019).

La biomasa forestal juega un papel clave en el balance de carbono debido a su secuestro. Aunque su descomposición puede dar lugar a un aumento del dióxido de carbono en la atmósfera, lo que puede dar lugar al cambio climático, debido a la disminución de la cubierta vegetal que puede fijar el carbono atmosférico. A ello se suma la liberación a la atmósfera de

CO₂, proveniente de la quema y descomposición de biomasa, incluida la materia orgánica del suelo (Urgilés, 2019).

4.10.2. Métodos de cálculo de la biomasa

Diversos son los métodos que se han desarrollado para estimar la biomasa de un individuo. Sin duda, el método más preciso corresponde a la destrucción completa del individuo, obteniendo el peso seco de cada componente del árbol; sin embargo, este es un proceso que conlleva mucho tiempo y recursos económicos. Debido a esto, son utilizados mayoritariamente el método del árbol medio y el método regresional (Durán, 2005).

El método directo

Este método es utilizado principalmente en bosques homogéneos como las plantaciones, consiste en la búsqueda del árbol que presente el promedio aritmético del DAP para el rodal en cuestión u otra variable de estado. Una vez encontrado este individuo, es volteado para luego determinar su peso seco. Sobre esto, se calcula la biomasa total acumulada para la superficie, dado un número de árboles y el valor obtenido del árbol medio (Durán, 2005).

Método indirecto

Es utilizado para poblaciones muy heterogéneas, consiste en voltear árboles pertenecientes a diferentes clases de DAP u otra variable de estado considerada en el estudio, para luego extraer submuestras. Estas últimas deben ser secadas y pesadas obteniendo valores que con proyectados sobre los árboles volteados. A partir de los individuos obtenidos se determinó y aplicó una función empírica de estimación de biomasa a cada árbol del rodal para obtener la biomasa total como la suma de la biomasa individual. Al respecto, lo define como análisis dimensional, debido a que en base a pocos individuos cosechados, se establece un análisis regresional para estimar la biomasa de los individuos restantes (Durán, 2005).

Para expresar las relaciones entre el peso seco y las dimensiones de los árboles muestra, los modelos más utilizados empleando las variables independientes combinadas o transformadas (ln) son:

$$\text{Lineal } y = a + b_i x_i$$

$$\text{Exponencial } y = a * e^{bx}$$

$$\text{Potencial } y = a * x_i^{bi}$$

Elementos estadísticos como el Coeficiente de Determinación o Correlación (R^2), Error Cuadrático Medio (ECM) y la Proporción de Observaciones con Errores Menores al 10, 15 y 20%, pueden condicionar la selección de las mejores funciones (Durán, 2005).

4.11. Captura y almacenamiento de carbono

La captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CO_2) es un proceso que consiste en secuestrar este compuesto de la industria y la energía, transportarlo a un lugar donde debe almacenarse y secuestrarlo a largo plazo (Ramos, 2005). Desde un punto de vista económico y ambiental, esta es una tecnología que requiere muchos desafíos para lograrse. Por otro lado, sólo se puede considerar como paliativa, en el sentido de que no pretende reducir nuestra producción de CO_2 (Cedeño y Loor, 2018).

4.12. Aplicaciones de la captura y almacenamiento de carbono

La captura y almacenamiento de carbono (CAC) está pensada para su uso en nuevos proyectos de grandes centrales térmicas de carbón y gas natural, aunque también puede aplicarse a plantas existentes. Se vende como una forma "limpia" de generación de electricidad y es una buena excusa para promover y expandir la minería del carbón, uno de los combustibles más sucios y contaminantes (Cedeño y Loor, 2018).

El uso generalizado de CAC dependerá de la madurez de la tecnología, el costo, el potencial global, la difusión y transferencia de tecnología a los países en desarrollo y su capacidad para usar la tecnología, los aspectos regulatorios, las preocupaciones ambientales y las percepciones (Cedeño y Loor, 2018).

4.13. Estudios relacionados a la cuantificación de carbono en la Región Sur de Ecuador

Aguirre et al. (2018), realizó la estimación del carbono acumulado en una parcela permanente de bosque andino en el parque universitario Francisco Vivar Castro, con el objetivo de determinar la composición florística y la estimación de carbono acumulado en los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo y necromasa. Donde se determinó el carbono total fijado en una hectárea del bosque andino del PUFVC, considerando los cuatro compartimentos: es de $42,29 \text{ Mg ha}^{-1}$. El bosque andino del PUFVC, esto considerado en el total del área de bosque existente ($12,93 \text{ ha}$) dando un valor de $546,86 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Pérez y Díaz (2010), desarrollo un estudio sobre la estimación del carbono contenido en la biomasa forestal aérea de dos bosques andinos en los departamentos de Santander y Cundinamarca, con el fin de estimar la cantidad de biomasa/carbono contenido en la biomasa forestal aérea de las reservas biológicas de Cachalú y Encenillo, donde se evidencio que la biomasa fustal fue en promedio 103,217 ton ha⁻¹ para el bosque dominado por *Quercus humboldtii* y 113,036 ton ha⁻¹ en el bosque dominado por *Weinmannia tomentosa*, esto fue de vital importancia para un aporte metodológico de estimaciones de captura de CO₂ en aquellas zonas que destinan a conservación en los bosques andinos.

En el estudio de las características morfológico-funcionales, diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de *Polylepis* del sur de Ecuador realizado por Montalvo et al. (2017), mismo que fue desarrollado con el objetivo de estimar el crecimiento y la tasa de secuestro de carbono en un bosque de *P. reticulata*, donde determinaron que la diversidad arbórea disminuye de forma no lineal con el incremento de la densidad de *Polylepis*, mayor a 400 ind. ha⁻¹ y con una frecuencia mayor a 1 000 ind. ha⁻¹. La biomasa aérea fue muy variable, y notable en algún caso con alrededor de 200 Mg ha⁻¹, y la tasa de crecimiento diametral de *P. reticulata* luego de siete años es 1,2 mm/año y tasa de secuestro de carbono promedio es 2,6±0,3 Mg ha⁻¹.año⁻¹, importante para un género de lento crecimiento.

Luna et al. (2021) en el estudio realizado en la Reserva Ecológica Arenillas situada al sur de la costa ecuatoriana, cuyo objetivo fue evaluar la biomasa forestal y captura de carbono de especies forestales características del ecosistema de la Reserva Ecológica que tiene una mezcla entre matorral desértico, bosques secos y manglares, aquí fueron implementados tres cuadrantes de 1000 m². Donde se midieron los árboles con más de 10 cm de diámetro a la altura del pecho (1,30 m DAP) para obtener el área basal, volumen de los fustes, biomasa y carbono almacenado. Los resultados obtenidos mostraron que la biomasa total de las 21 especies encontradas fue de 752,8 t ha⁻¹. *Ceiba trichistandra* presentó la mayor biomasa leñosa total y máximo potencial de almacenamiento de carbono con 219,39 t ha⁻¹ que otras especies, seguidas de *Cochlospermum vitifolium* y *Eriotheca ruizii* con 34,78 y 30,40 t ha⁻¹, correspondiendo a las familias Malvaceae, Bixaceae las que potencialmente retienen más carbono.

En otro estudio, se determinó el carbono fijado en la biomasa forestal de la Reserva de Biosfera Bosque Seco, con el objetivo de determinar el contenido de carbono en el compartimiento leñoso del bosque seco de la provincia de Loja, para lo cual se realizó mediante

el inventario de las especies leñosas \geq a 5 cm de DAP evaluándose 150 parcelas encontrando 62 especies leñosas, correspondientes a 51 géneros y 29 familias consideraron distintos componentes como fustes, raíces, copas; dando como resultado la acumulación de 32,90 toneladas de CO₂ por hectárea (Aguirre y Erazo, 2017).

En el estudio de Eguiguren et al. (2019a) se evaluó los servicios ecosistémicos (reservas de carbono, volumen de madera) y la riqueza de especies en paisajes con y sin incentivos para la conservación de los bosques (IFC), donde se realizaron inventarios forestales en 72 parcelas en ocho países de la Amazonía ecuatoriana central con una selección aleatoria de 3 tipos de bosques (maduros, cortados y sucesivos) midiendo todos los individuos $>$ 10 cm. Los bosques talados cerca de la región de IFC (Socio Bosque) tenían cantidades más altas de AGC (125 Mg ha⁻¹) que los bosques talados en paisajes no IFC (101 Mg ha⁻¹). Los bosques sucesivos cerca de paisajes IFC y no IFC tuvieron el AGC más bajo entre 95 y 91 Mg ha⁻¹. Los bosques primarios tenían reservas totales de carbono similares de 228 Mg ha⁻¹ en paisajes IFC y 246 Mg ha⁻¹ en paisajes no IFC; sin embargo, fueron mucho más altos en comparación con otros tipos de bosques. Los bosques explotados cerca de la IFC almacenaron 190 Mg ha⁻¹ y 163 Mg ha⁻¹ en el área sin IFC; los bosques sucesionales tenían 157 Mg ha⁻¹ y 149 Mg ha⁻¹.

Jadán et al. (2017) evaluó la riqueza de especies de árboles, arbustos y hierbas y la acumulación de carbono se evaluaron en tres niveles de elevación: estribaciones, tierras bajas y montañas. Se instalaron parcelas en áreas variables en las que se evaluó la riqueza de flora y especies de importancia ecológica donde se estimó el carbono almacenado mediante métodos directos y modelos alométricos para bosques tropicales. La biomasa aérea y carbono almacenado fue 4 a 5 veces superior en el piso altitudinal Piemontano con 199,4 t ha⁻¹ de biomasa y 99,7 t ha⁻¹ de carbono en comparación con el Montano bajo donde se evidencio 43,7 t ha⁻¹ de biomasa y 21,8 t ha⁻¹ de carbono. En el estrato arbustivo el piso altitudinal Montano registró aproximadamente dos veces más biomasa y Carbono almacenado que en Piemontano y Montano bajo. Respecto al estrato herbáceo, el piso Montano registró los mayores valores al igual que en la necromasa.

Lozano et al. (2018) desarrollaron una investigación que permitió elaborar modelos alométricos para la cuantificación de carbono en el bosque montano bajo. Para lo cual, se estableció una parcela permanente de una hectárea y fueron medidos todos los individuos con diámetro a la altura del pecho \geq 5 cm donde la biomasa arbórea fue de 322,37 t ha⁻¹ y el carbono total estimado de 161,07 t ha⁻¹. La familia Moraceae presenta mayor biomasa con 69,95 t ha⁻¹

y 34,98 t ha⁻¹ de carbono, en conjunto con la Familia Lauraceae, Myristicaceae y Rubiaceae con un almacenamiento de carbono del 91,55 t ha⁻¹ representando el 57 % del bosque montano bajo. *Pseudolmedia laevigata*, *Nectandra reticulata*, *Otoba parvifolia*, *Vochysia paraensis*, *Ficus sp.* y *Elaeagia obovata* son las principales de las 179 especies botánicas registradas que almacenan el 51% (81 t ha⁻¹) del carbono total estimado.

5. Metodología

5.1. Características del área de estudio

La presente investigación fue desarrollada en un bosque andino secundario maduro del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC) perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, ubicado en la parroquia de San Sebastián del cantón y provincia de Loja (Reyes, 2017). Dentro del área de estudio se instaló una parcela permanente de una hectárea, la cual se encuentra localizada en las siguientes coordenadas UTM: 700 928 – 9 553 612N, 700 901 – 9 553 478S – 700 980 – 9 553 535E, 700 844 – 9 553 563W (Figura 2). El PUFVC tiene una superficie total de 96 ha, cuyo rango altitudinal esta entre 2 130 a 2 520 m s.n.m, con una temperatura media anual de 16,6°C y registra una precipitación anual de 955 mm (Aguirre y Yaguana, 2014).

La vegetación de la parcela permanente corresponde al bosque andino, en el perfil horizontal del bosque se observa una distribución de especies agrupada formada por *Palicourea amethystina* y *Clethra revoluta*; y, esparcida por todas las demás especies, en el perfil vertical se registraron tres estratos bien definidos: dominantes, codominantes y dominados. Se registran cinco especies endémicas, *Oreopanax andreanus*, *Oreopanax rosei*, *Ageratina dendroides*, *Myrsine sodiroana* y *Zinowiewia madsenii* (Reyes, 2017).

El suelo está compuesto por material parental de roca metamórfica, baja fertilidad, profundidad moderada (60 cm), estructuras franco-arenosas, franco-arenosas y franco-arenosas, pH ácido, bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. Son suelos coluviales, donde siempre ha habido una continuación del fenómeno geomorfológico. El terreno es accidentado y la pendiente media varía del 40-90% (Reyes, 2017).

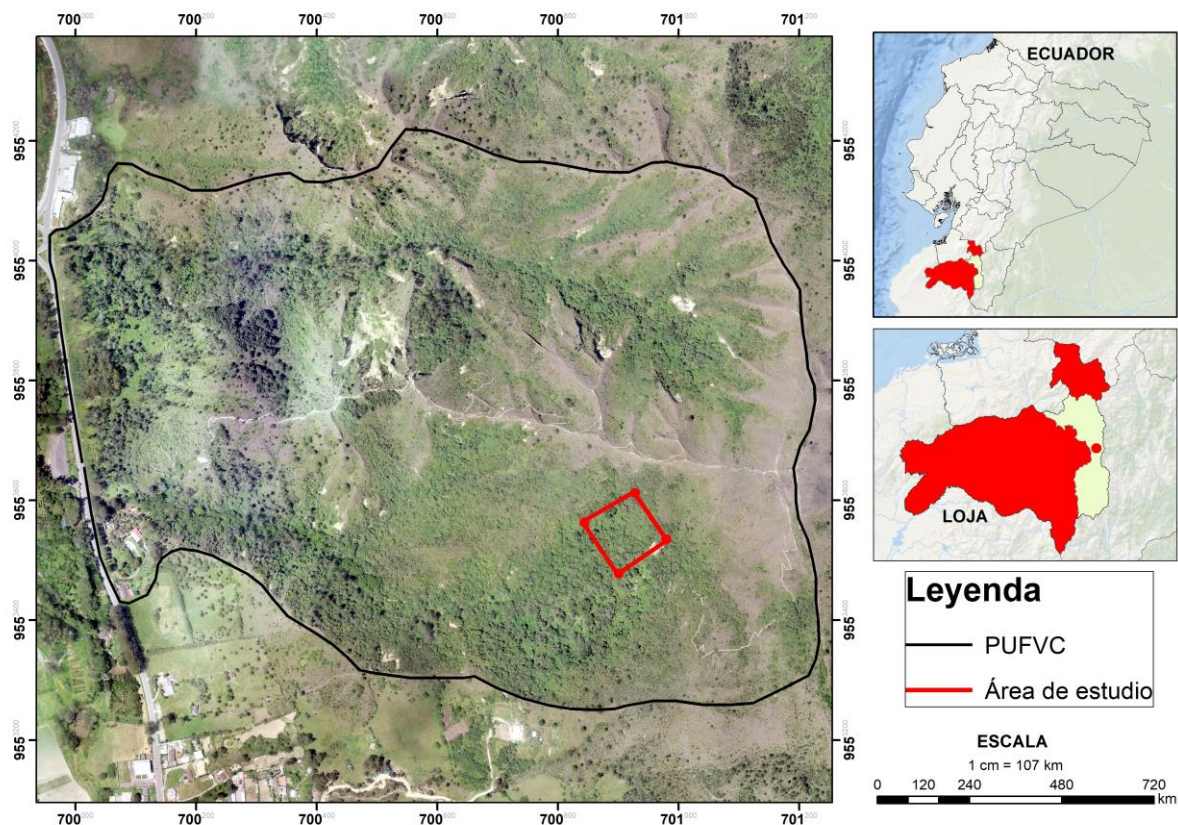


Figura 2. Mapa de ubicación espacial de la parcela permanente en el bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja.

5.2. Metodología para cuantificar la biomasa y carbono en una parcela permanente de bosque andino, en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador

Unidad de muestreo

En el área de estudio fue demarcada una parcela cuadrada de $100\text{ m} \times 100\text{ m}$, subdividida en 25 subparcelas de 400 m^2 ($20 \times 20\text{ m}$). Dentro de cada subparcela, fueron medidos los árboles $\geq 5\text{ cm}$ de diámetro a la altura del pecho (DAP) en un primer inventario realizado por Reyes (2017) y el segundo inventario realizado por Merchan Granda (2022). Para la medición en campo fue medida la Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP) para posteriormente realizar la debida transformación de los valores dividiendo para π (3,1416) y de esta manera obtener el DAP. Las especies inventariadas fueron identificadas, marcadas, y etiquetadas con placas de aluminio con un código alfabético y numérico a 1,45 m de altura desde el suelo. La identificación taxonómica de las especies fue realizada en el Herbario “Reinaldo Espinosa” de la Universidad Nacional de Loja. La denominación de especies y familias botánicas fue según la convención del *Angiosperm Plant Group* publicadas en 2016

(APG IV 2009), apoyadas por la actualización de flora de Ecuador y la página Missouri Botanical Garden - MOBOT TROPICOS (www.tropicos.org) (Merchan, 2022; Reyes, 2017).

Cuantificación de la biomasa y carbono

Para calcular la biomasa viva aérea dentro de la parcela fue utilizada la ecuación alométrica pantropical propuesta por Chave et al. (2014). Para calcular la biomasa fueron utilizadas las variables DAP y densidad de la madera. Los datos de DAP fueron obtenidos del inventario realizado por Merchan (2022) y Reyes (2017), mientras que la densidad de la madera de los árboles inventariados se obtuvo de la base de datos de Zanne et al. (2009) y del estudio realizado por Cartuche (2022).

$$AGB = \exp[-1,803 - 0,976E + 0,976 \ln(\rho) + 2,673 \ln(D) - 0,0299 \ln(D)^2]$$

Donde:

AGB = biomasa (Mg ha⁻¹)

D= diámetro a la altura de pecho (cm)

ρ= densidad de la madera (Kg/m³)

E= factor de estrés ambiental

Para calcular el carbono fue necesario usar el factor de conversión de carbono de 0,47 propuesta por (IPCC, 2013), con los cálculos que se determinaron de biomasa (Mg ha⁻¹) dentro de la parcela permanente. Este factor de conversión del carbono puede variar entre 0,46 a 0,52 en bosques tropicales (Lozano, 2020).

Análisis de datos

Caracterización estructural del bosque

Las variables utilizadas en las comparaciones estructurales fueron: biomasa, carbono, área basal, abundancia, DAP promedio, altura promedio. Además, con el fin de verificar qué clase diamétrica está acumulando la mayor cantidad de biomasa y carbono a lo largo del tiempo fueron realizados histogramas con la distribución de la biomasa y carbono entre las clases diamétricas. Para comparar las variables estructurales se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) no paramétricos con el test de Kruskal-Wallis una vez que se verificó que los datos

de las variables estructurales no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Para verificar la correlación entre las existencias de biomasa y las clases diamétricas (DAP) en el bosque andino, fue utilizado el coeficiente de Correlación de Spearman. Los análisis estadísticos fueron realizados en el software estadístico InfoStat y R (Di Rienzo et al., 2010; R Core Team, 2016).

5.3. Metodología para analizar la relación del almacenamiento de carbono con el crecimiento y mortalidad de las especies del estrato arbóreo en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja

Cambios temporales en la estructura del bosque andino

Los cambios estructurales de las especies forestales en el bosque andino fueron evaluados mediante la: tasa de cambio líquida de densidad, tasa de cambio líquida de área basal, tasa de mortalidad, tasa de reclutamiento e incremento medio anual de especies durante cinco años de monitoreo en el área de estudio (Yaguana, 2020). Para el análisis de las variables estructurales fueron utilizados los datos de las 25 subparcelas de 20 × 20 m.

Además, según Korning y Balslev (1994), la tasa de cambio anual se calculó asumiendo que la mortalidad y el reclutamiento de árboles constituyen una proporción constante de la población inicial por intervalo de tiempo.

Tasa de incremento anual de abundancia

Para calcular el cambio en el número de árboles (1) y en el área basal (2) (Ch_N y Ch_{Ab} , respectivamente) fueron utilizadas las fórmulas descritas por Korning y Balslev (1994) que se presenta a continuación:

$$Ch_N = \left[\left(\frac{N_f}{N_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] \times 100$$

Dónde:

Ch_N = Cambio en la Densidad

N_0 = número de individuos en el inventario inicial

Nf = número de individuos en el inventario final

t = Tiempo de período de observación 5 años

Tasa de incremento anual en el área basal:

$$Ch_{Ab} = \left[\left(\frac{AB_f}{AB_o} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] \times 100$$

Dónde:

ChAb = cambio en el área basal

AB0 = área basal en el inventario inicial

ABf = área basal en el inventario final

t = Tiempo de período de observación 5 años

Mortalidad y reclutamiento

Para calcular las tasas de mortalidad y las tasas de reclutamiento dentro de cada subparcela fueron utilizadas las fórmulas que se presentan a continuación, propuestas por (Condit et al., 1999) y aplicadas para monitorear la dinámica forestal.

Mortalidad

$$m = \frac{\ln n_o - \ln S_t}{t}$$

Dónde:

m = tasa de mortalidad anual

ln = logaritmo en base neperiana

no = número de individuos en la medición inicial

St = número de sobrevivientes en la medición final

t = intervalo de tiempo entre las dos mediciones (años)

Reclutamiento

$$r = \frac{\ln n_t - \ln S_t}{t}$$

Dónde:

r = tasa de reclutamiento anual

ln = logaritmo en base neperiana

nt = número de individuos en el inventario final

St = número de individuos muestreados en ambos inventarios (sobrevivientes)

t = intervalo de tiempo (años) entre los dos inventarios.

La vida media del bosque

Para calcular la vida media anual del bosque se utilizó la tasa anual de mortalidad, de esta manera se define el tiempo estimado en la que se reducirá a la mitad la población que se encontró inicialmente, para lo cual fue aplicada la siguiente fórmula descrita por (Mosquera et al., 2009):

$$t_{0,5} = \frac{\text{Ln } 0,5}{\text{Ln}(1 - M)}$$

Dónde:

T_{0,5}= Vida media del bosque;

Ln= Logaritmo neperiano;

M= Tasa anual de mortalidad

Crecimiento

Para evaluar el crecimiento de los árboles en el período de estudio fue calculado el incremento medio anual (IMA) de la parcela y dentro de cada una de las subparcelas, para lo cual se utilizó las medidas de DAP de los árboles que están presentes en las dos ocasiones de muestreo, para lo cual fue aplicada la siguiente fórmula propuesta por Renó, (2015):

$$IMA = \frac{(DAP t2 - DAP t1)}{\Delta t}$$

Dónde:

IMA= incremento medio anual

DAP t1= diámetro a 1,30 m promedio medido en el primer año

DAP t2= diámetro a 1,30 m promedio medido en el segundo año

Δt = intervalo de tiempo

Cambios netos en la biomasa aérea

El cambio neto en la biomasa aérea del bosque andino fue determinado a partir de las estimaciones de biomasa en la parcela permanente para lo cual fue utilizada la siguiente fórmula propuesta por Porto (2015):

$$CN.B = B (\text{incremento}) - B (\text{mortalidad})$$

Dónde:

CN. B= cambio neto en la biomasa aérea ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$),

B (incremento)= acumulación de biomasa ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) de individuos vivos + reclutas;

B (mortalidad)= pérdida de biomasa ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) por mortalidad.

Análisis de datos

Las variables de la dinámica estructural analizadas fueron: tasa de incremento anual promedio de biomasa y carbono, tasa de incremento anual promedio en densidad, tasa de incremento anual promedio en área basal, tasa de mortalidad, tasa de reclutamiento e incremento anual promedio en diámetro que fueron presentadas en gráficos en barra.

Para evaluar la correlación entre el almacenamiento de biomasa y carbono y las tasas de crecimiento y mortalidad fue efectuado un análisis de correlación de Spearman. Además se realizaron curvas de relación y los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software estadístico InfoStat y R (Di Rienzo et al., 2010; R Core Team, 2016).

6. Resultados

6.1. Biomasa y carbono en una parcela permanente de bosque andino, en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador

En el bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), los resultados obtenidos en base a los inventarios realizados en el año 2017 y el año 2022, muestran un incremento de biomasa de 9,87 Mg ha⁻¹ en cinco años. La abundancia fue de 1 370 individuos para el 2017 y 1 214 individuos para el año 2022 se evidencia una reducción de 156 individuos (Anexo 1). El área basal de los individuos para el año 2017 fue de 16,88 m² y 18,02 m² para el año 2022 (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de la media de las variables estructurales del bosque andino en la parcela permanente del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja. Valores en paréntesis es el error estándar.

VARIABLES ESTRUCTURALES	2017	2022
Biomasa (Mg ha ⁻¹)	95,81 (0,05)	105,68 (0,06)
Carbono (Mg ha ⁻¹)	45,03 (0,34)	49,66 (0,41)
Área basal (m ²)	16,88 (0,20)	18,02 (0,25)
Abundancia (N. ind.)	1370 (3,38)	1214 (3,15)
DAP promedio (cm)	10,34 (0,10)	11,59 (0,13)
Altura promedio (m)	5,18 (0,16)	6,04 (0,19)

En el análisis por clase diamétrica se determinó que la biomasa y el carbono se concentran en la segunda clase diamétrica (10-20 cm) evidenciando un incremento de biomasa de 28,16 Mg ha⁻¹ y de carbono 13,24 Mg ha⁻¹ en el 2017, se estimó 32,87 Mg ha⁻¹ de biomasa y 15,45 Mg ha⁻¹ de carbono para el 2022. Así mismo, se observa un incremento en la acumulación de carbono y biomasa conforme aumenta el diámetro en la tercera y quinta clase diamétrica (20-30 cm y 40-50 cm respectivamente), sin embargo, en la última clase diamétrica (>50 cm DAP) se observa que existe una disminución de la acumulación de la biomasa de 2,59 Mg ha⁻¹ y carbono de 1,22 Mg ha⁻¹ (Figura 3a y 3b). Además, se determinó que el 64,4% de

total de la biomasa y carbono estimados están acumulados en las tres primeras clases diamétricas.

Con respecto al área basal se evidencio que la segunda clase diamétrica presento el mayor incremento, siendo que, existía $5,07 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para el año 2017 con un incremento para el año 2022 de $5,91 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. También, en el análisis se determinó que la primera clase diamétrica (5-10 cm) presenta un decrecimiento de $0,33 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, lo mismo ocurrió en la sexta clase diamétrica (>50 cm) con $0,41 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. El incremento de área basal en la parcela permanente en el periodo de cinco años fue de $1,14 \text{ m}^2$ (Figura 3c).

La abundancia almacenada por clase diamétrica está representada por 1 370 individuos para el año 2017 y 1 214 individuos para el 2022. La mayor cantidad de individuos fue registrada en la primera clase diamétrica (5-10 cm) con 914 en el primer inventario, sin embargo, en cinco años se observa la disminución de 211 individuos. La disminución con respecto a esta variable se da por clase diamétrica, siendo la sexta clase diamétrica (>50 cm) clase que posee la menor cantidad de individuos con cuatro para el 2022. (Figura 3d). Se registró la mayor cantidad de individuos muertos en la primera clase diamétrica (5-10 cm), con un total de 215 (Figura 3e).

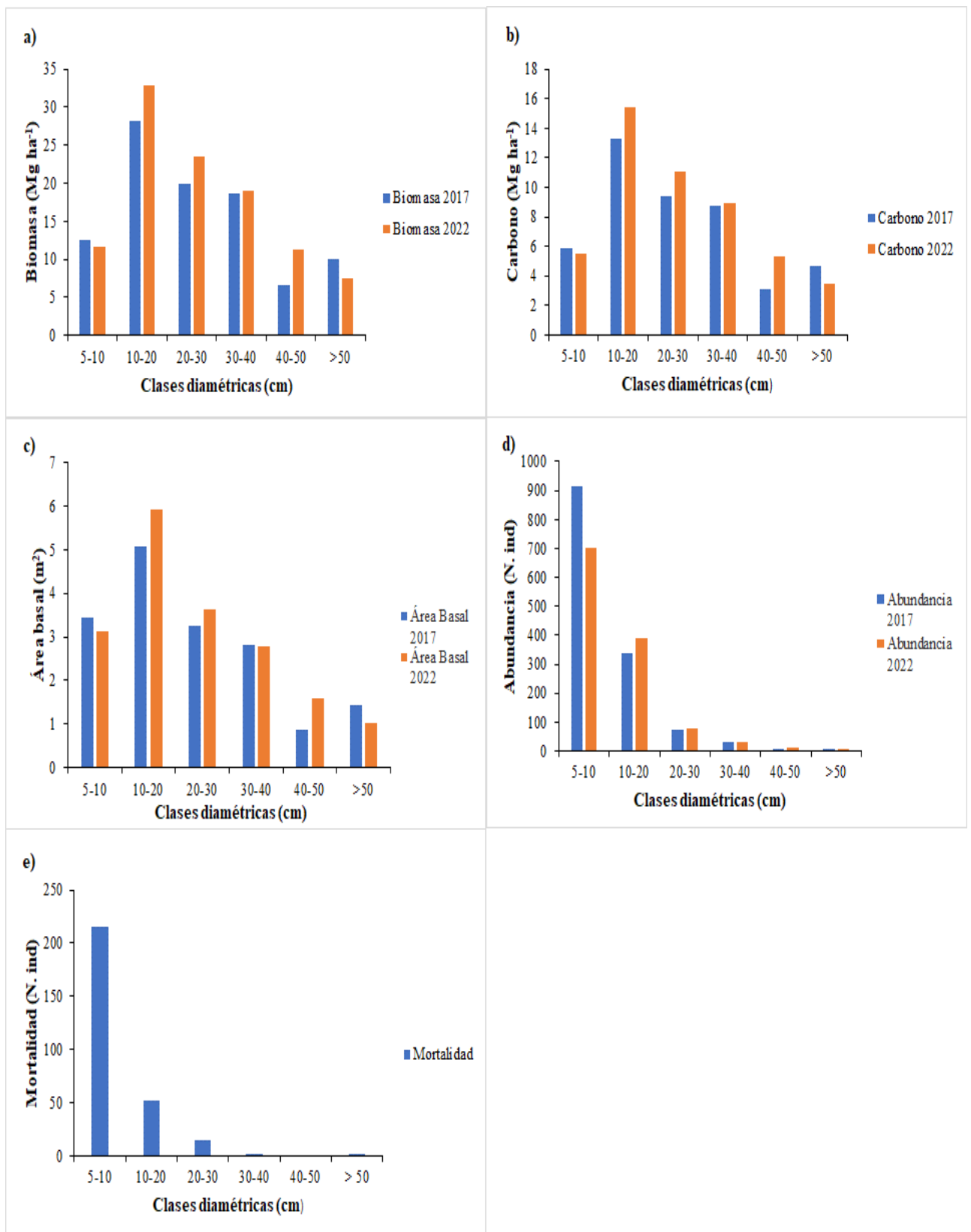


Figura 3. a) Biomasa, b) carbono, c) área basal, d) abundancia y e) mortalidad por clase diamétrica en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja.

Al realizar la comparación de la estructura de la parcela del PUFVC entre el año 2017 y 2022 se determinó que no existe diferencia estadística significativa en la acumulación de biomasa, carbono, área basal y abundancia en el bosque andino evaluado (Figura 4). La biomasa por árbol estimada fue en media 4,03 Mg (Figura 4a), el carbono almacenado por árbol fue en media 1,89 Mg (Figura 4b), con respecto al área basal la media fue 0,69 m² por individuo (Figura 4c), la abundancia fue de 51 individuos por subparcela (Figura 4d), el diámetro medio de los árboles fue de 10,95 cm (Figura 4e) y la altura media fue de 5,52 m (Figura 4f).

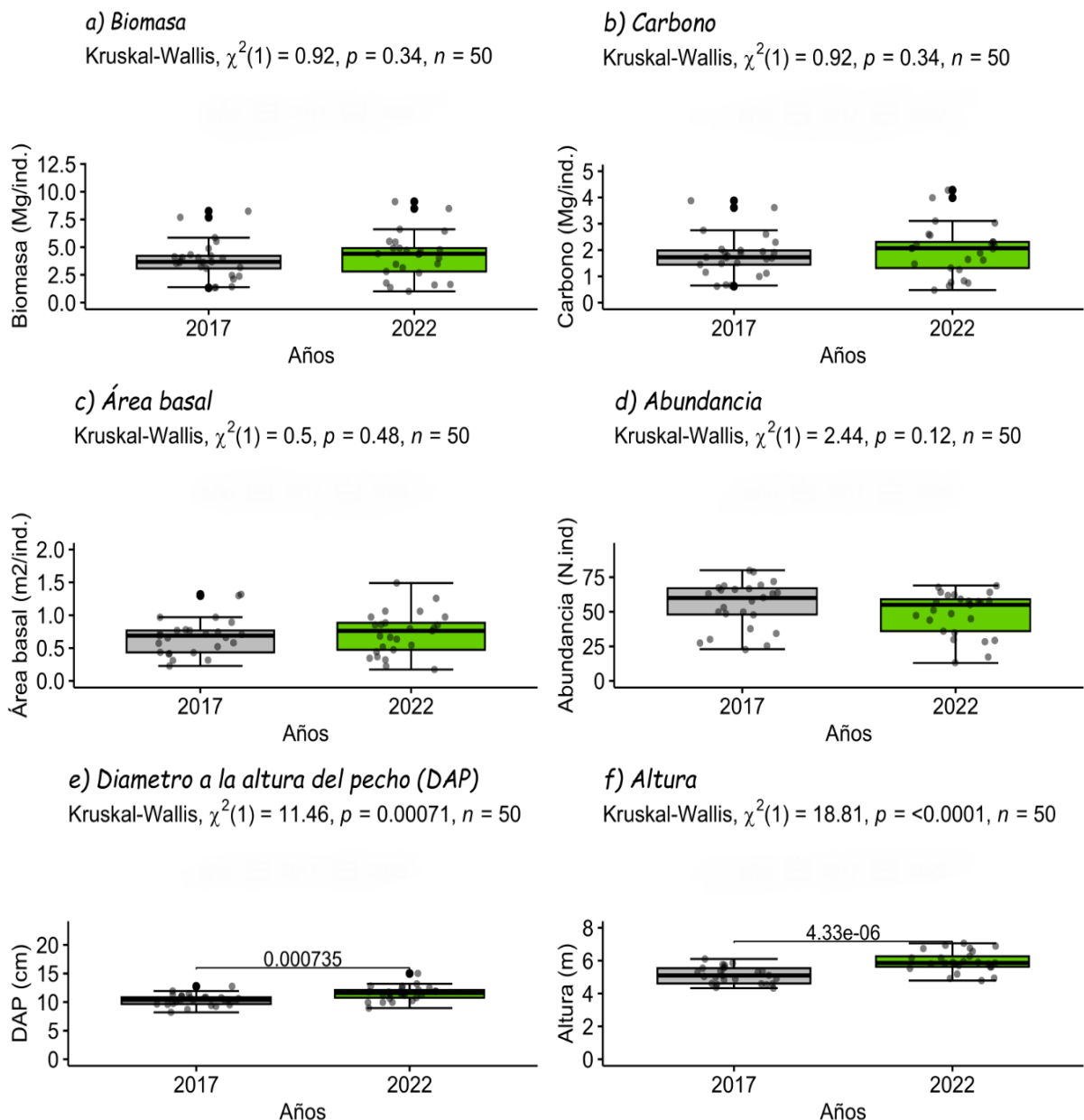


Figura 4. Comparación estructural de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja: a) biomasa, b) carbono, c) área basal, d) abundancia, e) diámetro a la altura del pecho (DAP) y f) altura de los árboles.

6.2. Carbono por especie arbórea

Alnus acuminata de la familia Betulaceae fue la especie con mayor almacenamiento de carbono en la parcela permanente de PUFVC para el año 2017, presentando un total de 31,70 Mg ha⁻¹ de biomasa y un total de 14,90 Mg ha⁻¹ de carbono, que representa el 33,08% del total. Para el año 2022 se evidencia que la misma especie *Alnus acuminata* acumuló la mayor cantidad de carbono con 14,26 Mg ha⁻¹ y 30,35 Mg ha⁻¹ de biomasa (Tabla 2). En general, las diez especies arbóreas que se presentan en la Tabla 2, representan el 75% de acumulación de biomasa y carbono para el año 2017 y 2022 en bosque andino de la PUFVC.

Tabla 2. Promedio, total y porcentaje de biomasa y carbono por especie de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), en los años 2017 y 2022.

N°	Familia	Especie	N° ind	Biomasa (Mg ha ⁻¹)		Carbono (Mg ha ⁻¹)		%
				Media	Total	Media	Total	
2017								
1	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	63	0,50	31,70	0,24	14,90	33,08
2	Clethraceae	<i>Clethra revoluta</i>	93	0,10	9,32	0,05	4,38	9,72
3	Rosaceae	<i>Prunus opaca</i>	55	0,09	5,34	0,04	2,51	5,58
4	Siparunaceae	<i>Siparuna muricata</i>	85	0,06	5,17	0,03	2,43	5,40
5	Moraceae	<i>Morus insignis</i>	46	0,08	4,04	0,04	1,90	4,22
6	Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>	26	0,15	3,98	0,07	1,87	4,16
7	Meliaceae	<i>Cedrela montana</i>	11	0,32	3,50	0,15	1,64	3,65
8	Araliaceae	<i>Oreopanax rosei</i>	38	0,09	3,42	0,04	1,61	3,57
9	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>	79	0,04	3,41	0,02	1,60	3,56
10	Rosaceae	<i>Palicourea amethystina</i>	165	0,02	287	0,01	1,35	3,00
	Otras especies		709	0,03	23,06	0,02	10,84	24,07
2022								
1	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	54	0,56	30,35	0,26	14,26	28,72
2	Clethraceae	<i>Clethra revoluta</i>	82	0,12	10,06	0,06	4,73	9,52
3	Siparunaceae	<i>Siparuna muricata</i>	72	0,09	6,44	0,04	3,03	6,09
4	Rosaceae	<i>Prunus opaca</i>	45	0,14	6,15	0,06	2,89	5,82
5	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>	80	0,06	4,93	0,03	2,32	4,67
6	Moraceae	<i>Morus insignis</i>	40	0,11	4,45	0,05	2,09	4,21
7	Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>	22	0,18	4,06	0,09	1,91	3,85
8	Meliaceae	<i>Cedrela montana</i>	13	0,30	3,91	0,14	1,84	3,70
9	Rubiaceae	<i>Palicourea amethystina</i>	148	0,03	3,85	0,01	1,81	3,64
10	Araliaceae	<i>Oreopanax rosei</i>	30	0,13	3,82	0,06	1,79	3,61
	Otras especies		628	0,04	27,66	0,02	13,00	26,18

6.3. Análisis de la relación del almacenamiento de carbono con el crecimiento y mortalidad de las especies del estrato arbóreo en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja

6.3.1. Cambios en la estructura y composición de las comunidades

En base al análisis realizado se verificó que se redujo 156 individuos ha^{-1} con respecto a la densidad en la parcela permanente del bosque andino del PUFVC en un periodo de cinco años (2017-2022). Por otro lado, el área basal mostro un incremento de $1,14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en este intervalo de tiempo. La riqueza presente en la parcela estuvo representada por 45 especies, 39 géneros de 29 familias para el año 2017, en comparación con el 2022 que se registró 44 especies, 38 generos de 29 familias, esto evidencia la migración de una especie, la cual fue *Ageratina dendroides* de la familia Asteraceae que ya no fue registrada dentro de la parcela en el año 2022 (Tabla 3).

Tabla 3. Cambios en abundancia, área basal y riqueza, en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), durante un período de observación de 5 años.

Periodo de observación (años)	Valores
	5
Abundancia	
N° individuos iniciales (ind. ha^{-1})	1370
N° individuos finales (ind ha^{-1})	1214
N° individuos en el intervalo de tiempo	-156
Área Basal	
Área Basal inicial ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	16,88
Área Basal final ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	18,02
Área Basal en el intervalo de tiempo	+1,14
Número de especies	
N° total de especies inicial	45
N° total de especies final	44
N° de especies en el intervalo de tiempo	-1

6.3.2. Parámetros cuantitativos de las especies en la parcela permanente del bosque andino del PUFVC, inventario entre 2017 a 2022

En la Tabla 4 se presenta el orden jerárquico de las especies dentro de la parcela, las cuales no presentan cambios significativos en la abundancia (test $G=12,81$; $p>0,05$) en un periodo de cinco años. Adicionalmente, se determinó que las 10 especies con mayor abundancia registraron una disminución en un total de 92 individuos, siendo *Hedyosmum scabrum* la especie con mayor reducción de individuos, seguida de *Palicourea amethystina* y *Siparuna muricata*. En cuanto al incremento de individuos por especies se observó que *Palicourea heterochroma* y *Nectandra laurel* fueron las especie que presentaron un aumento de 4 y 1 individuos, respectivamente. *Nectandra laurel* fue la especie que presento mayor incremento en área basal, mientras que, *Alnus acuminata* fue la especie que perdió más área basal durante el período de observación de 5 años.

Tabla 4. Parámetros cuantitativos de las especies en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja. N = número de individuos, D = diámetro en cm, AB = área basal en m², P = número de subparcelas (20 x 20 cm) con ocurrencia de la especie, subíndices 17 y 22 corresponden a los años de levantamiento de la información (2017 y 2022 respectivamente).

No.	Especie	N ₁₇	N ₂₂	AB ₁₇	AB ₂₂	D ₁₇	D ₂₂	P ₁₇	P ₂₂
1	<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	165	148	0,74	0,91	6,52	6,83	24	22
2	<i>Phenax laevigatus</i> Wedd.	142	136	0,57	0,76	5,86	6,54	20	20
3	<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	93	82	1,64	1,72	13,00	12,72	14	13
4	<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & Pav.) Solms	93	74	0,46	0,50	6,82	6,33	18	15
5	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	85	72	0,66	0,77	8,70	8,66	22	23
6	<i>Nectandra laurel</i> Klotzsch ex Nees	79	80	0,65	0,88	8,78	10,27	19	18
7	<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	69	73	0,22	0,29	5,13	6,04	13	14
8	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	63	54	5,09	4,76	29,29	25,96	14	13
9	<i>Clusia alata</i> Planch. & Triana	55	48	0,24	0,28	6,37	6,42	19	16
10	<i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp.	55	45	0,91	0,98	13,29	12,49	20	19
11	<i>Clusia elliptica</i> Kunth	48	33	0,18	0,17	5,82	4,58	15	12
12	<i>Morus insignis</i> Bureau	46	40	0,61	0,64	11,24	10,83	20	20
13	<i>Schefflera acuminata</i> (Ruiz & Pav.) Harms	39	38	0,37	0,49	9,59	10,90	14	14
14	<i>Oreopanax rosei</i> Harms	38	30	0,51	0,54	11,46	10,65	16	13
15	<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	29	25	0,18	0,21	7,73	7,77	14	12

No.	Especie	N ₁₇	N ₂₂	AB ₁₇	AB ₂₂	D ₁₇	D ₂₂	P ₁₇	P ₂₂
16	<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (Pers.) Lindl.	27	20	0,40	0,40	12,80	11,10	13	10
17	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	26	22	0,76	0,75	17,58	16,18	10	18
18	<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	22	25	0,12	0,16	5,05	6,31	10	10
19	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	21	16	0,07	0,08	5,80	5,31	14	10
20	<i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Weberb. ex M.C. Johnst.	20	17	0,09	0,11	7,12	7,51	10	9
21	<i>Saurauia bullosa</i> Wawra	20	14	0,28	0,26	12,63	10,37	11	10
22	<i>Roupala loxensis</i> I.M. Johnst.	19	19	0,28	0,31	12,67	13,53	12	12
23	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	15	16	0,07	0,10	6,55	8,04	8	9
24	<i>Axinaea macrophylla</i> (Naudin) Triana	13	8	0,34	0,32	16,40	12,45	10	7
25	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	11	13	0,62	0,70	16,82	19,77	6	8
26	<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold	8	6	0,09	0,09	11,46	10,04	4	4
27	<i>Guettarda hirsuta</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	8	8	0,24	0,29	18,15	20,11	5	5
28	<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	8	7	0,04	0,04	7,63	7,25	5	4
29	<i>Oreopanax andreanus</i> Marchal	8	7	0,08	0,09	10,16	9,50	3	3
30	<i>Piper barbatum</i> Kunth	8	4	0,02	0,01	5,79	3,22	6	3
31	<i>Weinmannia glabra</i> L. f.	7	6	0,06	0,06	10,11	9,06	5	4
32	<i>Critoniopsis pycnantha</i> (Benth.) H. Rob.	6	7	0,12	0,17	12,24	16,24	2	2
33	<i>Verbesina lloensis</i> Hieron.	4	3	0,03	0,01	7,26	4,72	4	3
34	<i>Eugenia orthostemon</i> O. Berg	3	3	0,02	0,02	8,22	9,28	3	3
35	<i>Ageratina dendroides</i> (Spreng.) R.M. King & H. Rob.	2	0	0,00	0,00	5,40	0,00	2	0
36	<i>Cinchona officinalis</i> L.	2	1	0,01	0,01	7,70	5,25	1	1
37	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	2	2	0,02	0,02	10,41	11,87	2	2
38	<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	2	2	0,01	0,01	5,68	5,52	1	2
39	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	2	2	0,01	0,01	6,41	8,83	2	2
40	<i>Zinowiewia madsenii</i> C. Ulloa & P. Jørg.	2	2	0,04	0,04	14,09	14,61	2	2
41	<i>Meriania tomentosa</i> (Cogn.) Wurdack	1	2	0,00	0,01	3,71	6,75	1	1
42	<i>Monnina hirta</i> (Bonpl.) B. Eriksen	1	1	0,00	0,00	5,03	5,51	1	1
43	<i>Morella interrupta</i> (Benth.) Lægaard	1	1	0,01	0,02	13,05	15,63	1	1
44	<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	1	1	0,00	0,00	5,83	6,53	1	1
45	<i>Persea brevipes</i> Meisn.	1	1	0,00	0,01	6,97	11,05	1	1

6.4. Dinámica forestal del bosque andino en la parcela permanente del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja

De acuerdo a lo resultados, se encontró que la tasa anual de mortalidad luego de 5 años fue de 4,68%. La tasa de reclutamiento anual fue 1,81%. Además, se determinó que el número de individuos muertos fue el doble de los reclutas. En el área basal se puede observar que existe mayor ganancia en este parámetro en el bosque andino del PUFVC (Tabla 5); la vida media estimada del bosque andino del PUFVC fue de 14,45 años. Cabe mencionar que la disimilaridad entre la tasa de mortalidad y de reclutamiento en términos de la cantidad de individuos, así como, la ganancia y pérdida de área basal, muestra un posible desequilibrio dinámico en el bosque andino del PUFVC (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros dinámicos del bosque andino en la parcela permanente del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), en el período de observación de 5 años.

Abundancia (número de árboles)	Valor
Inicial (ind. ha ⁻¹)	1370
Final (ind. ha ⁻¹)	1214
Cambio neto	2,38
Sobrevivientes (ind. ha ⁻¹)	1084
Mortalidad (ind. ha ⁻¹)	286
Reclutas (ind. ha ⁻¹)	130
Tasa de mortalidad (% año ⁻¹)	4,68
Tasa de reclutamiento (% año ⁻¹)	1,81
Área Basal	
Inicial (m ² ha ⁻¹)	16,88
Final (m ² ha ⁻¹)	18,02
Cambio neto	1,14
Sobrevivientes (m ² ha ⁻¹)	3,41
Mortalidad (m ² ha ⁻¹)	2,74
Reclutas (m ² ha ⁻¹)	0,47
Vida media del bosque (años)	14,45

Al analizar la dinámica de las especies se observó que existe mayor número de individuos muertos en comparación con los reclutas, teniendo que; las especies con mayor número de muertos fueron: *Palicourea amethystina*, *Phenax laevigatus*, y *Oreopanax rosei*, mientras que, las especies con mayor individuos reclutas fueron: *Phenax laevigatus*, *Palicourea amethystina* y *Palicourea heterochroma* (Tabla 6).

El mayor incremento de almacenamiento de carbono promedio de las especies en el periodo de observación de los cinco años, fue determinado en: *Axinaea macrophylla*, *Guettarda hirsuta*, *Alnus acuminata*, *Vismia baccifera* y *Oreopanax rosei*. Así mismo, se determinó que cinco especies presentaron disminución en el almacenamiento de carbono, las cuales fueron: *Palicourea amethystina*, *Palicourea heterochroma*, *Cedrela montana*, *Verbesina lloensis*, *Meriania tomentosa*. (Tabla 6).

Tabla 6. Dinámica de las especies arbóreas en los años 2017 y 2022 del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja. N= número de individuos, M= muertos, R=reclutas, $\bar{X}C$ = promedio de carbono, PC+=número de subparcelas con incremento en carbono, PC-=número de subparcelas donde el carbono disminuye.

No.	Especie	N ₁₇	N ₂₂	M	R	$\bar{X}C_{17}$ (Mg)	$\bar{X}C_{22}$ (Mg)	PC+	PC-
1	<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	165	148	37	20	0,004	0,01	14	10
2	<i>Phenax laevigatus</i> Wedd.	142	136	33	27	0,005	0,007	16	4
3	<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	93	82	13	2	0,05	0,06	12	2
4	<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & Pav.) Solms	93	74	29	10	0,01	0,01	11	7
5	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	85	72	19	6	0,03	0,04	16	7
6	<i>Nectandra laurel</i> Klotzsch ex Nees	79	80	6	7	0,02	0,03	17	2
7	<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	69	73	10	14	0,01	0,007	14	1
8	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	63	54	12	3	0,24	0,26	11	4
9	<i>Clusia alata</i> Planch. & Triana	55	48	14	7	0,01	0,01	13	6
10	<i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp.	55	45	11	1	0,05	0,06	16	4
11	<i>Clusia elliptica</i> Kunth	48	33	22	7	0,01	0,01	7	9
12	<i>Morus insignis</i> Bureau	46	40	7	1	0,04	0,05	16	5
13	<i>Schefflera acuminata</i> (Ruiz & Pav.) Harms	39	38	3	2	0,02	0,03	13	1
14	<i>Oreopanax rosei</i> Harms	38	30	38	0	0,04	0,06	12	4
15	<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	29	25	6	2	0,02	0,03	10	4
16	<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (Pers.) Lindl.	27	20	8	1	0,04	0,06	9	4

No.	Especie	N ₁₇	N ₂₂	M	R	$\bar{X}C_{17}$ (Mg)	$\bar{X}C_{22}$ (Mg)	PC+	PC-
17	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	26	22	4	0	0,07	0,09	7	3
18	<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	22	25	7	10	0,01	0,02	10	2
19	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	21	16	7	2	0,005	0,008	8	6
20	<i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Weberb. ex M.C. Johnst.	20	17	3	0	0,01	0,01	9	1
21	<i>Saurauia bullosa</i> Wawra	20	14	6	0	0,03	0,04	7	4
22	<i>Roupala loxensis</i> I.M. Johnst.	19	19	0	0	0,06	0,07	12	0
23	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	15	16	1	2	0,01	0,01	9	0
24	<i>Axinaea macrophylla</i> (Naudin) Triana	13	8	5	0	0,10	0,16	6	4
25	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	11	13	0	2	0,15	0,14	8	0
26	<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold	8	6	2	0	0,03	0,04	3	1
27	<i>Guettarda hirsuta</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	8	8	0	0	0,12	0,15	5	0
28	<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	8	7	1	0	0,01	0,01	4	1
29	<i>Oreopanax andreanus</i> Marchal	8	7	1	0	0,02	0,03	2	1
30	<i>Piper barbatum</i> Kunth	8	4	4	0	0,003	0,004	3	3
31	<i>Weinmannia glabra</i> L. f.	7	6	1	0	0,02	0,02	4	1
32	<i>Critoniopsis pycnantha</i> (Benth.) H. Rob.	6	7	0	1	0,06	0,08	2	0
33	<i>Verbesina lloensis</i> Hieron.	4	3	2	1	0,02	0,01	3	2
34	<i>Eugenia orthostemon</i> O. Berg	3	3	0	0	0,02	0,02	3	0
35	<i>Ageratina dendroides</i> (Spreng.) R.M. King & H. Rob.	2	0	2	0	0,00	0,00	0	2
36	<i>Cinchona officinalis</i> L.	2	1	1	0	0,01	0,03	0	1
37	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	2	2	0	0	0,02	0,02	2	0
38	<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	2	2	1	1	0,02	0,02	1	1
39	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	2	2	0	0	0,01	0,01	2	0
40	<i>Zinowiewia madsenii</i> C. Ulloa & P. Jørg.	2	2	0	0	0,06	0,06	2	0
41	<i>Meriania tomentosa</i> (Cogn.) Wurdack	1	2	0	1	0,01	0,005	1	0
42	<i>Monnina hirta</i> (Bonpl.) B. Eriksen	1	1	0	0	0,003	0,004	1	0
43	<i>Morella interrupta</i> (Benth.) Lægaard	1	1	0	0	0,03	0,05	1	0
44	<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	1	1	0	0	0,01	0,007	1	0
45	<i>Persea brevipes</i> Meisn.	1	1	0	0	0,01	0,02	1	0

Nota: Especies con presencia de un individuo el valor de carbono almacenado corresponde al total.

6.5. Relación del carbono con crecimiento y mortalidad

El balance de carbono tuvo una relación positiva y significativa ($p=0,001$) con el crecimiento de los árboles en 62%. Así mismo, al almacenamiento de carbono actual (año 2022) con el crecimiento mostró una correlación positiva y significativa ($p=0,002$) de 59%. También, el almacenamiento de carbono de los árboles sobrevivientes (año 2022) presentó una correlación positiva y significativa ($p= 0,002$) de 59% (Tabla 7, Figura 5a, 5b, 5c).

La tasa de reclutamiento (Anexo 2) con respecto al balance de carbono presentó una correlación negativa y significativa ($p= 0,05$) de -41% (Figura 5d). También, el almacenamiento de carbono (año 2022) mostró una correlación negativa y significativa ($p= 0,03$) con la tasa de reclutamiento de -45% (Tabla 7, Figura 5e).

En cuanto a la tasa de mortalidad (Anexo 2) se obtuvo una correlación negativa y significativa ($p=0,05$) con respecto al almacenamiento de carbono (año 2022) de -40% (Figura 5f). Así mismo, la tasa de mortalidad presentó una correlación negativa y significativa ($p=0,05$) con el almacenamiento de carbono de los individuos sobrevivientes (año 2022) de -41% (Tabla 7, Figura 5g).

Tabla 7. Correlación de Spearman entre el almacenamiento de carbono con el crecimiento, la tasa de reclutamiento y la tasa de mortalidad. Incremento medio anual (IMA), balance de carbono (CN_carbono), almacenamiento de carbono en los árboles vivo + reclutas en el 2022 (C_vivo), Almacenamiento de carbono de los árboles sobrevivientes en el 2022.

Variables	IMA	Tasa de reclutamiento	Tasa de Mortalidad	CN Carbono	C (Mg) vivos 2022	C (Mg) sobrevivientes 2022
IMA	1	0,03	0,72	0,001	0,002	0,002
Tasa de reclutamiento	-0,44	1	0,73	0,05	0,03	0,03
Tasa de Mortalidad	-0,08	0,07	1	0,04	0,05	0,05
CN_carbono (Mg)	0,62	-0,41	-0,42	1	0,00	0,0
C _vivos (Mg)	0,59	-0,44	-0,40	0,98	1	0,00
C_sobrevivientes (Mg)	0,59	-0,46	-0,41	0,99	1	1

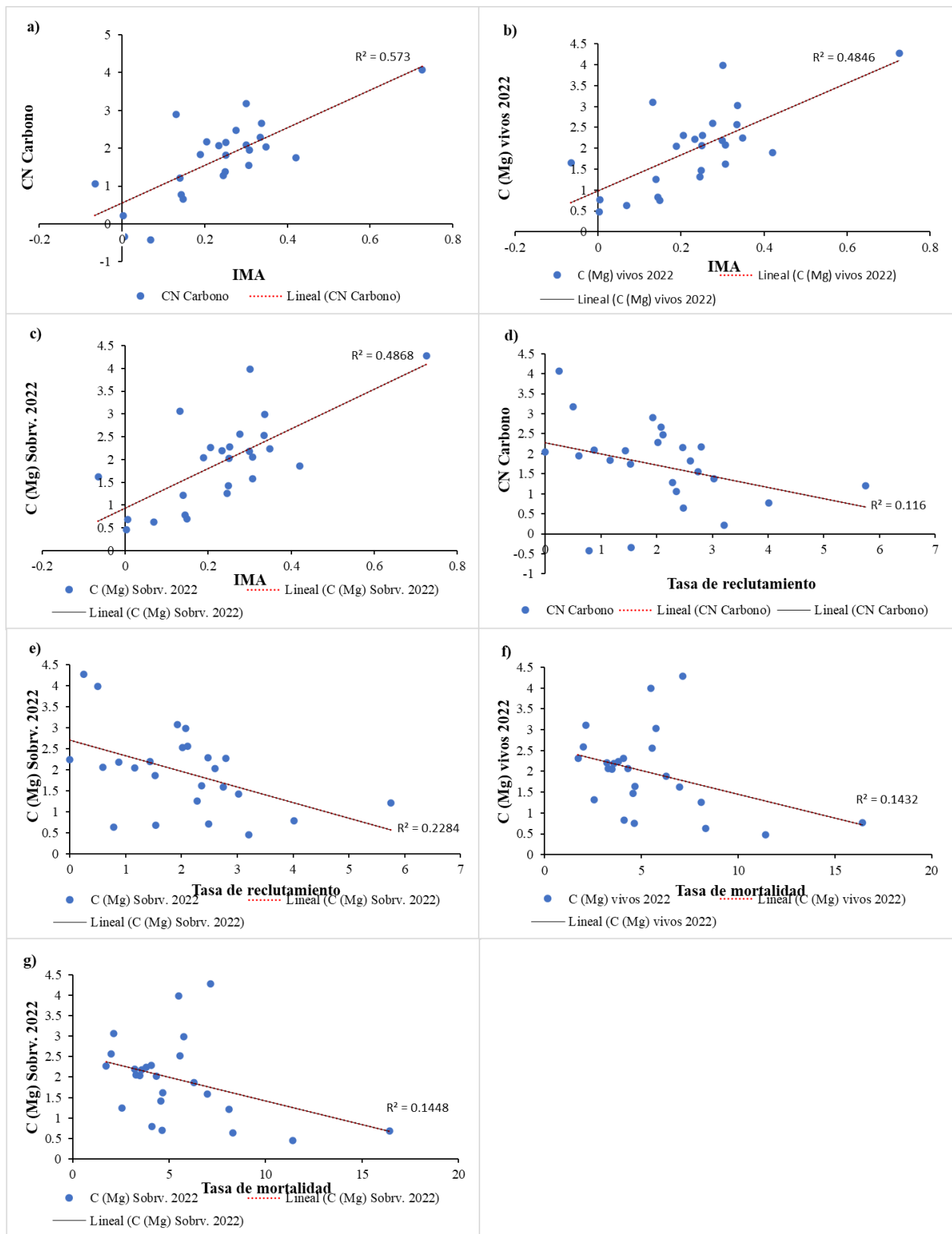


Figura 5. Curvas de la relación entre las variables de: a) almacenamiento de carbono neto con el crecimiento (IMA), b) carbono los arboles vivos 2022 – IMA, c) carbono los arboles sobrevivientes – IMA, d) carbono neto - tasa de reclutamiento, e) carbono de los arboles sobrevivientes – tasa de reclutamiento, f) carbono de árboles vivos 2022 – tasa de mortalidad y g) carbono de los arboles sobrevivientes – tasa de mortalidad en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC),

7. Discusión

Cambios temporales en el almacenamiento de biomasa y carbono en el bosque andino

En el bosque andino secundario maduro del Parque Universitario Francisco Vivar Castro en el año 2022 se registró 1214 individuos ≥ 5 cm $D_{1,30\text{ m}}$, correspondientes a 45 especies, 38 géneros 29 familias botánicas. Además, se cuantificó 105,68 Mg ha⁻¹ y 49,66 Mg ha⁻¹ de biomasa y carbono, respectivamente. En termino florístico, los resultados del presente estudio fueron menores a los reportados por Aguirre et al. (2021) en una parcela permanente de una hectárea, en el ecosistema andino del bosque de Huashapamba del cantón Saraguro que se encuentra entre los 2 800 a 3 000 m s.n.m, donde se registraron 54 especies, 39 géneros de 27 familias con 6 especies endémicas. Sin embargo, los resultados encontrados fueron mayores a los reportados en otro estudio, por Aguirre et al. (2018) en una parcela permanente de una hectárea del PUFVC donde se registró 33 especies de 28 géneros y 21 familias, con un almacenamiento de carbono por hectárea de 26,56 Mg ha⁻¹. En cambio, lo reportado por Yepes et al. (2014) en los bosques tropicales andinos en Colombia en el Parque Natural Regional Corredor Biológico, Parque Nacional Natural Puracé y el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos en donde se registró 68 especies, 64 géneros y 35 familias con un promedio de 448,09 \pm 183,57 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea, estos resultados difieren con los estimados en el presente estudio. Así mismo, los resultados de almacenamiento de carbono del presente estudio difieren con lo reportado por Cartuche (2021) en un bosque andino de Cajanuma, dentro del Parque Nacional Podocarpus donde se midieron individuos con >10 cm de DAP, registrando 1 506 individuos pertenecientes a 85 especies, 36 géneros y 31 familias, con 154,05 Mg ha⁻¹ de biomasa almacenada y 77,023 Mg ha⁻¹ de carbono. Palacios et al. (2019) dentro de un bosque nativo andino en la ciudad de Loja donde determino que el almacenamiento de biomasa en esta área es de 151,91 ton ha⁻¹ y 75,96 ton ha⁻¹ de carbono almacenado. La cantidad de almacenamiento de carbono está relacionado con la capacidad de los ecosistemas para almacenar el carbono en función de la densidad de la población, la edad y la composición florística presente dentro del área (Rodríguez-Laguna et al., 2008). Contrastando con nuestro estudio donde los resultados evidencian la importancia de identificar las características del ecosistema ya que registra abundancia de 51 individuos por subparcela, es decir, menor cantidad de individuos en comparación con otros estudios, con un promedio de 10,95 cm de diámetro y alturas promedio de 5.52 m.

En la parcela permanente del PUFVC se evidenció mayor acumulación de carbono en la segunda clase diamétrica con $15,45 \text{ Mg ha}^{-1}$, donde se encuentran mayor área basal de los individuos, así mismo, puede indicar que la acumulación de carbono en los bosques andinos es mayor en las primeras clases diamétricas y disminuye en las últimas, esto debido a que el crecimiento del bosque sigue un patrón exponencial negativo, ya que el área basal se encuentra en desarrollo y la productividad, lo cual indica que aquellos individuos jóvenes llegaran a suceder a los individuos adultos (Imaña et al., 2010). En cambio, este resultado de acumulación de biomasa y carbono en las clases diamétricas menores fue diferente a lo reportado por Yepes et al. (2015) en el bosque tropical andino en el sur de la región Andina colombiana, donde en las clases diamétricas con altos valores de biomasa son las clases diamétricas mayores de 60-80 cm DAP que registran $69,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, en las clases de 90-100cm y $\geq 100 \text{ cm}$, con valores de biomasa aérea de $93,64 \text{ Mg ha}^{-1}$ y $159,06 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, y a lo reportado por Huamantupa et al. (2019) en su estudio dentro de un bosque altimontano pluviestacional de las Yungas del sur peruano, donde la biomasa se concentró en la última clase diamétrica (45 a más), donde predomina *Podocarpus glomeratus* con alto valor de DAP. Esto se contrasta con la observación de menor cantidad de individuos de mayor diámetro en el PUFVC, coincidiendo con los hallazgos de Reyes (2017) en la misma parcela permanente utilizada en nuestro estudio, en mencionada investigación se registró mayor concentración de individuos en la primera clase diamétrica, mientras que en las clases diamétricas altas se reportaron 9 ind. ha^{-1} , compuestos ejemplares maduros de *Alnus acuminata* y *Cedrela montana*, este patrón se tribuye a la intervención antrópica dentro del área del PUFVC, según lo señalado por Aguirre et al. (2022). En este estudio, se observó mayor mortalidad dentro de la primera clase diamétrica (5-10 cm) con 215 individuos muertos en el periodo de observación de 5 años. Este fenómeno puede atribuirse principalmente a condiciones naturales dentro del área, como la caída de árboles.

La acumulación de carbono en el bosque andino estudiado en el intervalo de cinco años no mostro diferencia significativa, se estimó en media $4,03 \text{ Mg}$ de biomasa almacenado por árbol. En el estudio de Huamantupa et al. (2019) realizado en un bosque altimontano pluviestacional de las Yungas del sur peruano, mismo que esta caracterizado por la presencia de bosques húmedos andinos a partir de la aplicación de dos ecuaciones alométricas, se determinó $1,44 \text{ t ha}^{-1}$ de carbono aplicando la ecuación de Chave et al. (2005) y $1,44 \text{ t ha}^{-1}$ con la ecuación Chave et al. (2014). Estos resultados difieren con el estudio esto se debe a que el

stock de carbono se relaciona con variables climáticas y estructurales de cada bosque (Eyzaguirre, 2015).

Alnus acuminata de la familia Betulaceae fue la especie con mayor cantidad de carbono almacenado con 14,26 Mg ha⁻¹, seguida de *Clethra revoluta* de la familia Clethraceae con almacenamiento de 4,73 Mg ha⁻¹ dentro de la parcela permanente del PUFVC, estos resultados difieren a los determinados en otros estudios. Jumbo-Salazar et al. (2017) en su estudio desarrollado bosque natural Tinajillas-Limón Indanza en la provincia de Morona Santiago, mismo que posee ecosistemas como lo son el bosque siempreverde montano y bosque siempre verde montano bajo, aquí se determinó que la familia Melastomataceae almacena mayor cantidad de carbono con 13 t ha⁻¹ y la especie con mayor cantidad de carbono es *Miconia sp.* con un valor total de 8 t ha⁻¹ de carbono En el estudio, realizado por Vásquez y Arellano (2012), en los bosques andinos de sur y noroccidente de Córdoba mencionan que los bosques de las asociaciones *Protio aracouchini*, - *Violetum elongatae* y *Tovomito weddelliana* - *Quercetum humboldtii*, acumulan valores altos de biomasa de 30,01 y 34,33 Mg/0,05 ha y de carbono almacenado de 13,78 y 15,76 Mg/0,05 ha, siendo estos resultados diferentes a los estimados en el bosque andino del PUFVC, la variación en las estimaciones puede estar relacionada al crecimiento del área basal y altura de los individuos (Yepes et al., 2015).

Relación del almacenamiento de carbono con el crecimiento y la mortalidad de las especies arbóreas en el bosque andino

La dinámica forestal de la parcela permanente del bosque andino en el PUFVC mostró una tasa de mortalidad de 4,68% y una tasa de reclutamiento de 1,81% en un periodo de cinco años de monitoreo, por lo cual se determinó una vida media del bosque de 14,45 años, siendo que la tasa de mortalidad fue alta en comparación con la tasa de reclutamiento. Estos datos son similares con los registrados por Aguirre et al. (2022) en el bosque andino del PUFVC donde la tasa de mortalidad es de 4,68% y una tasa de reclutamiento 0,13%. Por otra parte, estos resultados difieren con los de Mosquera et al. (2009) en el estudio realizado en el bosque pluvial tropical de Chocó en Colombia donde se instaló una parcela permanente de 1 ha, reportando una tasa de mortalidad de 1,39% y una tasa de reclutamiento de 1,2 y la vida media estimada de 58,6 años. Ramírez et al. (2002) evaluó un bosque húmedo montano bajo situado entre 2 200 y 2 500 m s.n.m. donde registro una tasa de mortalidad de 1,59% y una tasa de reclutamiento de 1,65% en un periodo de 32 años, determinando de esta manera que la vida media del bosque es de 43,21 años, lo cual difiere con nuestros resultados ya que se evidencia una tasa de

mortalidad alta por lo tanto la vida media del bosque fue menor. La mortalidad de los individuos en los bosques se debe a factores ambientales, topográficos y antrópicos (Quinto et al., 2009). En el área de estudio la alta tasa de mortalidad puede ser debido a la matriz de la vegetación compuesta por pastizales, cultivos e infraestructura, además de heterogeneidad ambiental, con la disponibilidad de agua, luz y nutrientes que forman parte de la dinámica de los árboles en los bosques tropicales andinos, y la respuesta que presentan ante las perturbaciones (Renó, 2015).

En el estudio realizado inicialmente se inventariaron 1 370 individuos, para el 2022 se contabilizaron 1 214 individuos registrando 1 084 individuos sobrevivientes y 286 muertos, estos datos fueron similares a los registrados por Ramírez et al.(2002) donde inicialmente se evaluó 1 076 individuos en un periodo de 32 años se registraron 644 individuos sobrevivientes y 432 individuos muertos. Sin embargo, difieren con los resultados reportados por Aguilar y Reynel (2011), en el que evaluó 694 individuos en el 2003 de los cuales para el 2006 se registró 26 muertos, dando 668 individuos sobrevivientes y 74 individuos reclutas. El crecimiento y sobrevivencia de los individuos arbóreos depende de la fecundidad de las especies para garantizar el incremento de número de arboles (Quinto et al., 2009), sin embargo, con los resultados de la presente investigación, se evidencia una disminución alta de individuos y pocos reclutamiento, este fenómeno puede ser debido a la falta de nutrientes en el suelo, floración y fructificación para garantizar la sobrevivencia de las especies en el bosque andino del PUFVC. La sobrevivencia de las especies esta ligada a características como la reproducción sexual y vegetativa, floración y fructificación de los individuos, ya que aunque se presente un limitado éxito reproductivo, se puede mantener las poblaciones asegurando el reclutamiento de nuevos individuos (Moreno y Cuartas, 2022).

Palicourea amethystina, *Phenax laevigatus* y *Oreopanax rosei* fueron las especies con mayor número de individuos muertos, mientras que, *Phenax laevigatus*, *Palicourea amethystina* y *Palicourea heterochroma* fueron aquellas que presentaron mayor individuos reclutas. Por su parte, *Axinaea macrophylla*, *Guettarda hirsuta*, *Alnus acuminata*, *Vismia baccifera* y *Oreopanax rosei* fueron aquellas especies que presentaron mayor incremento de carbono en los cinco años de monitoreo de la parcela permanente del PUFVC, las especies que presentan mayor mortalidad se debe a que estas son de tallos pequeños como el caso de *Palicourea amethystina* y *Phenax laevigatus* son especies de porte pequeño que pueden alcanzar hasta 5 a 7 metros de altura, mientras que *Oreopanax rosei* es una especie que se encuentra suprimida por especies heliófitas dominantes (Aguirre et al., 2021; Pinto et al., 2018). Aguilar y Reynel (2011) en su estudio realizado en un bosque montano nublado registran cinco

familias que presentan altas tasas de mortalidad anual, son la Melastomataceae (2,83%), Piperaceae (2,66%), Rubiaceae (2,02%) y Burseraceae (1,24%), mientras que las familias que presentan mayor tasa de reclutamiento son Piperaceae (8.38%), Rubiaceae (7.33%), Melastomataceae (3.80%), Cecropiaceae (3.57%) y Burseraceae (2.43%). Hernández et al. (2022) registra en su estudio realizado en un bosque tropical andino con la implementación de tres módulos, donde en el módulo I las especies con mayor valor de carbono son *Bucida buceras*, *Haematoxylum campechianum* y *Eugenia ibarrae*, en el módulo II se registra una especie con mayor incremento de carbono *Krugiodendron ferreum*, y en el módulo III *Thouinia paucidentata*, *M. zapota* y *K. ferreum*, son las especies con mayor concentración de carbono, estas especies presentan mayor acumulación de carbono debido a que se evidencia alto valor de área basal, siendo mayor en el tercer módulo, de la misma manera se implementaron actividades productivas como los sistemas agroforestales, y silvopastoriles permitiendo la producción de alimentos, aprovechamiento de recursos forestales mejorar los medios de vida de las localidades y así mismo permitir la regeneración de la vegetación aledaña. Por lo tanto, la mortalidad y reclutamiento de las especies depende de factores como: edad, enfermedades, competencia, incendios forestales, plagas y así como de procesos ambientales y fisiológicos (Mosquera et al., 2009).

El almacenamiento de carbono actual en la parcela permanente del PUFVC mostró una correlación positiva y significativa de 59% con el reclutamiento de árboles, ya que a mayor densidad de árboles mayor almacenamiento de carbono (Luza, 2015), de la misma manera se registró una correlación negativa con -45% y significativa $p=0,03$ con una tasa de 1,81% en relación al crecimiento, con respecto a la tasa de mortalidad fue de 4,68% disminuyendo el almacenamiento de carbono, ya que presenta una correlación negativa de -40% y siendo significativa en $p=0,04$. Estos datos difieren con los reportados por Ramírez et al. (2002) en su estudio desarrollado sobre la mortalidad y reclutamiento, que la tasa de mortalidad es de 1,59%, no es significativamente diferente ($p= 0,434$), y para las especies se observa una correlación no significativa ($p=0,855$), la correlación entre la mortalidad y reclutamiento es de 0,05 y $p=0,92$.

El reclutamiento está relacionado con el almacenamiento de carbono como lo menciona Velásquez et al. (2012) en su estudio donde la cantidad de biomasa fue alta por la diversidad de especies que se registraron en el área. Así mismo en un estudio realizado en dos parcelas, la tasa de reclutamiento que se evidencio en la parcela Intipunku tuvo mayor acumulación, la variación de acumulación de carbono está relacionada con los cambios biofísicos a la estructura, gradiente altitudinal y a la diferente composición florística que se presentó en cada una y al tipo

de bosque donde se encuentra establecida cada una (Alfaro et al., 2018). Por otra parte Yepes et al. (2010) menciona que la tasa de mortalidad en un bosque predomina como fenómeno demográfico ya que continuamente los individuos aumentan en tamaño, pero no permiten el reclutamiento, como lo es en este caso en su estudio dentro de un bosque secundario el cual ha requerido de 43 años de sucesión para recuperar el 47% del área basal, el 41% de la biomasa aérea y el 44% de la riqueza de especies, respecto a los valores presentados por los bosques primarios, siendo así la capacidad de captura de carbono de los bosques secundarios, no cumplirían con las expectativas que se tiene actualmente para ayudar a mitigar los efectos del cambio climático global debido a que las tasas de acumulación de biomasa son inferiores a lo esperado. Adicionalmente, Alfaro et al. (2018) menciona que a mayor altitud existe menor cantidad de biomasa aérea como es en el caso de la parcela Intipunku que se encuentra a 2 653 m y registró mayor biomasa aérea y carbono acumulado ya que el dosel es más bajo y de menor densidad poblacional, lo que permite mayor incidencia de la luz por presentar más claros y genera mayor competencia en el crecimiento, en comparación con la parcela Kantupata la cual se encuentra a 3 200 m, donde ocurre lo contrario evidenciándose un crecimiento lento de los individuos y a la vez está condicionado por los factores y condiciones ambientales del bosque, generando una tasa de reclutamiento baja, esto se debe, a la dinámica y a la composición florística que presentan cada una de ellas. El almacenamiento de carbono en el bosque andino y su relación con la dinámica forestal (crecimiento, mortalidad y reclutamiento) es fundamental para contribuir a la mitigación del cambio climático y a la conservación de estos ecosistemas.

8. Conclusiones

En el bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” se reportan 45 especies, 38 géneros 29 familias, y se cuantificó 105,68 Mg ha⁻¹ y 49,66 Mg ha⁻¹ de biomasa y carbono, respectivamente para el año 2022.

La mayor acumulación de carbono se registró en la segunda clase diamétrica con 15,45 Mg/ha de carbono y 32,87 Mg/ha de biomasa, respectivamente, presentando un aumento en comparación con el año 2017, esto se debe a que el bosque tiene un patrón exponencial negativo de crecimiento, permitiendo que los individuos jóvenes lleguen a suceder a los adultos.

Los árboles del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” almacenan una media de 4,03 Mg de biomasa, presentan una media de 0,69 m² de área basal y una abundancia de 51 individuos por subparcela. *Alnus acuminata* es la especie que almacena mayor cantidad de carbono con 14,26 Mg ha⁻¹ ya que esta especie presenta mayor área basal.

En el bosque andino del PUFVC se evidenció que en un periodo de cinco años la tasa de mortalidad es de 4,68% y la tasa de reclutamiento es de 1,81%. La elevada tasa de mortalidad se atribuye a diversas perturbaciones naturales dentro del área como deslizamiento de tierra, caída de árboles, y se evidenció la migración de la especie *Ageratina dendroides* de la familia Asteraceae, la misma que no fue registrada para el segundo inventario. A partir de esto se determinó que la vida media del bosque es de 14,45 años.

Las especies con mayor incremento en el almacenamiento de carbono son *Axinaea macrophylla*, *Guettarda hirsuta*, *Alnus acuminata*, *Vismia baccifera* y *Oreopanax rosei*. Por otra parte, las especies que presentaron mayor mortalidad fueron *Palicourea amethystina*, *Phenax laevigatus*, y *Oreopanax rosei*, mientras que, *Phenax laevigatus*, *Palicourea amethystina* y *Palicourea heterochroma* fueron aquellas con mayor número de reclutas.

El almacenamiento de carbono actual en la parcela permanente del PUFVC mostró una correlación positiva y significativa de 59% con el reclutamiento de árboles, ya que existe una gran diversidad de especies registradas en esta área, por lo tanto, el almacenamiento de carbono es mayor.

En relación al crecimiento se registró una correlación negativa con -45% posiblemente dado por la gran competencia de luz que incentiva el crecimiento de las especies. Así mismo, se registró una correlación negativa significativa de -40% con respecto a la mortalidad, factor

influyente en la disminución del almacenamiento de carbono, ya que en el área se ha constatado una tasa alta de mortalidad.

9. Recomendaciones

- Realizar estudios sobre los factores ambientales que indiquen en el reclutamiento y mortalidad de la parcela permanente y generar acciones que ayuden a la conservación a largo plazo del ecosistema.
- El área de estudio es un ecosistema importante por lo que se recomienda continuar con los estudios de monitoreo para generar información del desarrollo y evaluación de la capacidad de almacenamiento de carbono.
- Replicar el estudio en la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” a los 15 años, con el fin de continuar el proceso de monitoreo de la dinámica forestal en bosques andinos.
- La información generada puede ser útil para la planificación de áreas de conservación de la biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos.

10. Bibliografía

- Aguilar, M., & Reynel, C. (2011). *Dinamica forestal y regeneracion en un bosque montano nublado de la selv -central del Perú*. <https://docplayer.es/42070351-Dinamica-forestal-y-regeneracion-en-un-bosque-montano-nublado-de-la-selva-central-del-peru.html>
- Aguirre Mendoza, Z., Quizhpe, W., & Pinza, D. (2018). Estimación del carbono acumulado en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(3). <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25307>
- Aguirre, N. (2013). *Estructura y dinámica del ecosistema forestal*. <https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2013/04/4-estructura-y-dinamica-de-bosques.pdf>
- Aguirre, N., & Erazo, A. (2017). Valoración económica ambiental del compartimiento leñoso como una alternativa para conservar la biodiversidad del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques de Latitud Cero*, 7 (1), 90–100. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/188/182>
- Aguirre, Z., González, L., Jaramillo, N., & Peña, J. (2021). Monitoreo de la sucesión de especies vegetales leñosas bajo una plantación de *Pinus radiata* D. Don, en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”, provincia de Loja, Ecuador. *South Florida Journal of Development*, 2(1), 1018–1039. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n1-075>
- Aguirre, Z. H., Merchán, J. P., & López, G. G. (2022). Dinámica de crecimiento de especies forestales en el bosqueandino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador. *CFORES*, 10(3), 292–306.
- Aguirre, Z. H., Sarango, L. C., & Coronel, W. Q. (2021). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso del bosque Huashapamba, Loja, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(1), 1–16.
- Aguirre, Z., & Yaguana, C. (2014). *Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreación “Ing. Francisco Vivar.”* <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/parque-universitario-francisco-vivar-c-unl.pdf>
- Alfaro, L. E., Paiva Prado, G. M., & Espinoza Carrasco, H. Y. (2018). Dinámica, biomasa aérea

- y variables poblacionales de dos parcelas permanentes en bosques montanos de Wiñaywayna, Santuario Histórico de Machupicchu, Cusco, Perú. *Arnaldoa*, 25(2). <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25217>
- Bokkestijn, A. (2017). *Libro_Bosques_Andinos_Interactivo.pdf*.
- Briceño, R. A. T. (2013). *Características y funciones hidrológicas de los bosques nublados en la provincia de Zamora Chinchipe*. 91.
- Bussmann, R. W. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 203–216. <https://doi.org/10.15381/rpb.v12i2.2394>
- Buttgenbach, R. (2012). *Evaluación de la dinámica forestal en un área de bosque premontano - Fundo La Génova, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín, 1200 msnm* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1683/K10.B98-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cano, Á., & Stevenson, P. (2009). *No Title*. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v12n1/v12n1a06.pdf>
- Cartuche, F. C. (2021). *Estimación del carbono acumulado en la biomasa aérea de una parcela permanente de bosque andino en Cajanuma, parque nacional Podocarpus*. [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23786/1/Franklin Claudio Cartuche Villa.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23786/1/Franklin%20Claudio%20Cartuche%20Villa.pdf)
- Cartuche, K. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19122.68809>
- Castro, R., Brounen, J., & Rosell, A. L. (2023). *Bonos y mercados de carbono: una puerta a beneficios para pequeños agricultores*. Solidaridad Latam. <https://solidaridadlatam.org/noticias/bonos-mercados-de-carbono/>
- Cedeño, D. J. C., & Loor, D. J. M. (2018). *Valoración de la captación de carbono para la conservación ambiental en el sector La Pita de la parroquia Quiroga* [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/739/1/TMA163.pdf>

- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., ... Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chávez, J. P. (2018). *Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la Costa Norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3346/chavez-suazo-jhoan-paola.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ciesla, W. M. (1996). *Cambio climático bosques y ordenación forestal: Una visión de conjunto*.
- Condit, R., Ashton, P. S., Manokaran, N., Lafrankie, J. V., Stephen, P., Foster, R. B., Royal, T. H. E., Ashton, P. S., Manokaran, N., Hubbell, P., Foster, R. B., & Lafrankie, J. V. (1999). Dynamics of the forest communities at Pasoh and Barro Colorado: comparing two 50-ha plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 354(1391), 1739–1748.
- Connolly, R. Y., & Corea, C. A. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua* [Universidad Nacional Agraria]. <https://core.ac.uk/download/pdf/35164844.pdf>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M., & Gonzalez, L. A. (2010). *Infostat: software para análisis estadístico*. <https://ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/01.pdf>
- Durán, L. (2005). *Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea de boldo (Peumus boldus mol.) en un bosque esclerófilo de la comuna de María Pinto, provincia de Melipilla, región Metropolitana* [Universidad de Chile]. https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/10682/INFOR_TES_20.pdf?sequence=1
- Eguiguren, P., Fischer, R., & Günter, S. (2019a). Degradación de los Servicios Ecosistémicos y Deforestación en Paisajes Con y Sin Conservación Forestal Basada en Incentivos en la

- Amazonía Ecuatoriana. *Forests*, 10(5), 442. <https://doi.org/10.3390/f10050442>
- Eguiguren, P., Fischer, R., & Günter, S. (2019b). Degradation of Ecosystem Services and Deforestation in Landscapes With and Without Incentive-Based Forest Conservation in the Ecuadorian Amazon. *Forests*, 10(5), 442. <https://doi.org/10.3390/f10050442>
- Eras García, M., Peña Tamayo, J., & Aguirre Mendoza, Z. (2021). Diversidad florística, endemismo y estado de conservación de los componentes arbustivo y herbáceo de un bosque andino en el sur del Ecuador. *Latindex*, 11((1)), 83–96. <https://drive.google.com/file/d/1Sr9sliiLZheWsuaagpBBPdCV8jrtXDIZ/view>
- Escalona, P., Clemencia, F., Guerrero, G., Aurelio, M., Alcalá, C., Manuel, V., Huerta, V., Mexicana, R. F., Fitogenética, S. M. De, Revistas, R. De, América, C. De, Clemencia, F., Escalona, P., Aldrete, A., Guerrero, A. G., González, A. M. F., Cetina-alcalá, V. M., & Vaquera, H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3). <http://www.redalyc.org/html/610/61003006/>
- Eyzaguirre, I. L. (2015). Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013. *Revista ECIPerú*, 11(2), 9–9.
- García, D. (2014). *Composición y estructura florística del bosque de neblina montano, del sector “San Antonio de la montaña”, cantón Baños, provincia de Tungurahua* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3476/1/33T0128 .pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3476/1/33T0128.pdf)
- García, P. (2010). *Los caminos del desarrollo sostenible*.
- Guillen, E. R., & Rojas, L. M. (2019). *Capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque natural de *Polylepis rodolfo-vasquezii* L. Valenzuela & Villalva en la Comunidad Campesina de María Moya, Comas, Concepción* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5345/T010_47666751_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández-Dzib, G. A., Esparza-Olguín, L., Martínez Romero, E., Pat-Fernández, L., & Maya-Martínez, A. (2021). Diversidad arbórea, uso y carbono almacenado en áreas con restauración productiva en Calakmul, Campeche. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3). <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2821>

- Huamantupa Chuquimaco, I., Luza-Victorio, M., Alfaro-Curitumay, L., Ururi, M., Huaman-Arque, W., Pedraza, M., & Peralvo, M. (2019). Diversidad y Biomasa Arbórea en los Bosques Andinos del Santuario Nacional del Ampay, Apurímac – Perú. *Q'EUÑA*, 8(1), 7–26. <https://doi.org/10.51343/rq.v8i1.104>
- Imaña, J. E., Antunes, O. S., & Rainier, C. I. (2010). Estructura diamétrica de un fragmento del bosque tropical seco de la región del eco-museo del Cerrado, Brasil. *Colombia Forestal*, 14(1), 23–30. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v14n1/v14n1a03.pdf>
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. https://www.klimamanifest-von-heiligenroth.de/wp/wp-content/uploads/2016/06/IPCC_2013_WG1AR5_S916_S917_Extremwetter_Zitate_mitTitelCover.pdf
- Iturre, M. C., Araujo, P. ., Rueda, M. P., Rueda, C. V., & Pece, M. G. (2021). Reclutamiento y mortalidad de las principales especies arbóreas del Chaco Semiárido, Argentina. *Quebracho Revista de Ciencias Forestales*. <https://www.redalyc.org/journal/481/48170468005/html/>
- Jadán, O., Quizhpe, W., Pacheco, E., González, M., Ponce, E., Aguirre, Z., & Peña, D. (2017). Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques de Latitud Cero*, 7(1). <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/172/183>
- Jiménez, A. del C. (2021). La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *RECIMUNDO*, 5(3), 316–323. [https://doi.org/10.26820/recimundo/5.\(3\).sep.2021.316-323](https://doi.org/10.26820/recimundo/5.(3).sep.2021.316-323)
- Jumbo-Salazar, C. A., Arévalo Delgado, C. D., & Ramirez-Cando, L. J. (2017). Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. *La Granja*, 27(1), 51–63. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04>
- Kinoshita, L. S., Torres, R. B., Forni-Martins, E. R., Spinelli, T., Yu, J. A., & Constâncio, S. S. (2006). Composición florística y síndromes de polinización y dispersión en el bosque del Sítio San Francisco, Campinas, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 20(2), 313–327. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000200007>
- Korning, J., & Balslev, H. (1994). Growth and mortality of trees in Amazonian tropical rain forest in Ecuador. *Journal of Vegetation Science*, 5(1), 77–86.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/3235641>

- Lozano, D. (2020). *caracterização estrutural e de biodiversidade de árvores e aves em florestas da cuesta de botucatu: existe relação entre estoque de carbono e biodiversidade?* [Universidad Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”]. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/193335/lozanosivizaca_dc_dr_botfca.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Lozano, D., Palacios, B. G., & Aguirre, Z. H. (2018). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el Sur del Ecuador. *Ciência Florestal*, 28(3), 1328–1339. <https://doi.org/10.5902/1980509833464>
- Luna Florin, A. D., Sánchez, A. W., Maza, J. E., & Castillo, J. E. (2021). Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas. *Agroecosistemas*, 9(2), 140–146. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/480/457>
- Luza, I. (2015). Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013. *Revista ECIPerú*, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2014.0012/>
- MAE. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf
- MEA. (2005). Relatório-síntese da avaliação ecossistêmica do milênio. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*, 1–57.
- Merchan, J. P. (2022). *Dinámica de crecimiento de especies forestales en el bosque andino del “Parque Universitario Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25662>
- Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Guazhambo, D., Pacheco, D., Siddons, D., Crespo, A., & Zárate, E. (2017). *Características morfológico-funcionales, diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de Polylepis del sur de Ecuador*. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000200008
- Morales, M. Y. Z. (2017). *Prácticas de uso de suelo en sistemas de producción de fincas ganaderas doble propósito, su efecto en captura y emisiones de dióxido de carbono (CO₂)*,

en los municipios de Matiguás y Muy Muy, departamento Matagalpa año 2016. [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2018/08/tesis-MSc-mario-zelaya.pdf>

Moreno-Betancur, D. J., & Cuartas-Hernández, S. E. (2022). Divergencia en la estrategia reproductiva de dos especies simpátricas de *Anthurium* (Araceae) en un bosque andino tropical. *Caldasia*, 44(1), 54–68. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n1.89347>

Mosquera, H. Q., Iburgüen, R. R., & Palacios, Y. A. R. (2009). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 4855–4868.

Palacios Cabrera, T. A., Chamorro Armas, S. E., & Jaramillo, J. (2019). Valoración económica ambiental, producción de biomasa y carbono de un bosque nativo andino, frente a plantaciones forestales eucalyptus globulus y pinus patula, en la Provincia de Loja. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 25–31. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1801>

Pérez, M. C., & Díaz, J. J. (2010). *Estimación del carbono contenido en la biomasa forestal aérea de dos bosques andinos en los departamentos de Santander y Cundinamarca* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30161498/Tesis_Martin_Camilo_Perez-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1665542167&Signature=O9rARKkOX2QHi006nOJPiqabar0k5SMkV2ubwOqFcVH2XPA2QW1E84WvdKvmNIIjVNpuosDui2HJ1VTJIQ~AGJIRhkTuZR719tFATpUQkX3T~bG2TffFtW79k-L3JAqOzF

Phillips, O. L., Baker, T. R., Arroyo, L., Higuchi, N., Killeen, T. J., Laurance, W. F., Lewis, S. L., Lloyd, J., Malhi, Y., Monteagudo, A., Neill, D. A., Núñez Vargas, P., Silva, J. N. M., Terborgh, J., Vásquez Martínez, R., Alexiades, M., Almeida, S., Brown, S., Chave, J., ... Vinceti, B. (2004). Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976–2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1443), 381–407. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1438>

Phillips, O. L., Hall, P., Gentry, A. H., Sawyer, S. A., & Vásquez, R. (1994). Dynamics and species richness of tropical rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(7), 2805–2809. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.7.2805>

- Pinto, E., Pérez, Á. J., Ulloa, C. U., & Cuesta, F. (2018). *Árboles representativos de los bosques montanos del noroccidente de Pichincha, Ecuador*. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina--CONDESAN.
- Quinto, H., Ibargüen, R. R., & Ramos, Y. A. (2009). *Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia)*. 1–14. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a13v62n1.pdf>
- Quinto Mosquera, H., Rengifo Ibargüen, R., & Ramos Palacios, Y. A. (2009). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 62(1), 4855–4868. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a13v62n1.pdf>
- Ramírez, H., Torres, A., & Serrano, J. (2002). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque nublado de la Cordillera de los Andes, Venezuela. *Ecotropicos*, 15(02), 177–184.
- Ramírez, J. (2016). *Composición florística en una hectárea de bosque en tres senderos del área de Concesión de Conservación Cuenca Alta Rio Itaya, Universidad Científica del Perú, Loreto, Perú-2016* [Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/152/RAMIREZ-Composición-1-Trabajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, P. (2005). Captura y almacenamiento de CO₂: Una tecnología que todavía no resulta viable y que no incide en la raíz del cambio climático. *El Ecologista*, 46, 39–41.
- Renó, I. P. (2015). *Dinâmica temporal e composição florística da comunidade arbórea de floresta ombrófila densa montana, Parque Estadual Da Serra Do Mar, sp, Brasil*. Universidade Estadual Paulista– UNESP.
- Reyes, B. R. (2017). *Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso del bosque montano del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, provincia de Loja, Ecuador*. [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18827/1/BYRON RAMIRO REYES JIMENEZ.pdf>
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Meza-Rangel, J., Aguirre-Calderón, O., & Razo-Zarate, R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 215–222.

- Romoleroux, K. S. (2022). *Novedades florísticas para el Ecuador, expediciones del Herbario QCA, 2015-2017*.
- Rosas, A. (2011). *Determinación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo en plantaciones de teca (Tectona grandis L.F.) en el cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2087/1/T-UTEQ-0037.pdf>
- Rozas, V. (2001). *Dinámica forestal y tendencias sucesionales en un bosque maduro de roble y haya de la zona central de la Cornisa Cantábrica*. https://digital.csic.es/bitstream/10261/46626/1/Rozas_Dinamica_forestal...pdf
- Ruiz, N. (2021). *Nuestros bosques andinos. Construyendo bienestar y sostenibilidad en comunidad*.
- Sanquetta, C. R., Watzlawick, L. F., Balbinot, R., Ziliotto, M. A. B., & Gomes, F. S. (2002). Métodos de determinação de biomassa florestal. *As Florestas Eo Carbono*, 119–140.
- Santillán, V. S., Barra, J. D. E., Pellat, F. P., & Cárdenas, L. O. A. (2016, March). *Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000100083&script=sci_arttext
- Sedjo, R. A. (2001). Forest Carbon Sequestration: Some Issues for Forest Investments. *Journal of Gender, Agriculture and Food Security*, 1(3), 1–22.
- Team, R. C. (2016). Available at: www.R-project.org/. Version. 3(3), 1.
- Urgilés, J. A. (2019). *Valoración económica del almacenamiento de carbono por biomasa aérea en bosques montanos de la cordillera occidental de los Andes* [Universidad de Cuenca]. [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32062/1/Trabajo de titulación.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32062/1/Trabajo_de_titulacion.pdf)
- Valarezo, T., & Romero, J. M. (2020). Bosque montano del Sur del Ecuador. In *Frutos y semillas de bosque montano Sur del Ecuador* (pp. 15–34). EDILOJA Cía. Ltda.
- Vásquez, A., & Arellano, H. (2012). *Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdova*.
- Velásquez, J. O., Maniguaje, N. L., & Duque, Á. J. (2012). Diversidad y dinámica de un bosque

subandino de altitud en la región norte de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 943–952. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v60n2/a34v60n2.pdf>

Yaguana, C. A. (2020). *Florestas tropicais pluviais montanas do sul do Equador: fatores condicionantes da estrutura, composição e dinâmica* [Universidade Estadual Paulista]. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/26dc9629-55d7-433d-9623-fa2b5d485521/content>

Yepes, A., Herrera, J., Phillips, J., Cabrera, E., Gustavo, 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.

Yepes, A. P., Del Valle, J. I., Jaramillo, S. L., & Orrego, S. A. (2010). Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 427–445. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442010000100031&script=sci_arttext

11. Anexos

Anexo 1. Registro de la composición florística de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” Loja (PUFVC) registrada en los años 2017 y 2022.

Familia	Nombre científico	N° de ind. 2017	N° de ind. 2022
ACTINIDIACEAE	<i>Saurauia bullosa</i> Wawra	20	14
ADOXACEAE	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	21	16
ARALIACEAE	<i>Oreopanax andreanus</i> Marchal	8	7
	<i>Oreopanax rosei</i> Harms	38	30
	<i>Schefflera acuminata</i> (Ruiz & Pav.) Harms	39	38
ASTERACEAE	<i>Ageratina dendroides</i> (Spreng.) R.M. King & H. Rob.	2	0
	<i>Critoniopsis pycnantha</i> (Benth.) H. Rob.	6	7
	<i>Verbesina lloensis</i> Hieron.	4	3
BETULACEAE	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	63	54
BIGNONIACEAE	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	15	16
CELASTRACEAE	<i>Zinowiewia madsenii</i> C. Ulloa & P. Jørg.	2	2
CHLORANTHACEAE	<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & Pav.) Solms	93	74
CLETHRACEAE	<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	92	81
CLUSIACEAE	<i>Clusia alata</i> Planch. & Triana	55	48
	<i>Clusia elliptica</i> Kunth	48	33
CUNNONIACEAE	<i>Weinmannia glabra</i> L. f.	7	6
ELAEOCARPACEAE	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	2	2
ERICACEAE	<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold	8	6
HYPERICACEAE	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	26	22
LAURACEAE	<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	1	1
	<i>Nectandra laurel</i> Klotzsch ex Nees	79	80
	<i>Persea brevipes</i> Meisn.	1	1
MELASTOMATAACEAE	<i>Axinaea macrophylla</i> (Naudin) Triana	13	8
	<i>Meriania tomentosa</i> (Cogn.) Wurdack	1	2
	<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	22	25
MELIACEAE	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	11	13
MORACEAE	<i>Morus insignis</i> Bureau	46	40
MYRICACEAE	<i>Morella interrupta</i> (Benth.) Lægaard	1	1
MYRTACEAE	<i>Eugenia orthostemon</i> O. Berg	3	3
PIPERACEAE	<i>Piper barbatum</i> Kunth	8	4

Familia	Nombre científico	N° de ind. 2017	N° de ind. 2022
POLYGALACEAE	<i>Monnina hirta</i> (Bonpl.) B. Eriksen	1	1
PRIMULACEAE	<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	29	25
	<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	1	1
	<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	2	2
PROTEACEAE	<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	8	7
	<i>Roupala loxensis</i> I.M. Johnst.	19	19
RHAMNACEAE	<i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Weberb. ex M.C. Johnst.	20	17
	<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (Pers.) Lindl.	27	20
ROSACEAE	<i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp.	55	45
	<i>Cinchona officinalis</i> L.	2	1
RUBIACEAE	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	2	2
	<i>Guettarda hirsuta</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	8	8
	<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	165	148
	<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	69	73
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	85	72
SIPARUNACEAE	<i>Phenax laevigatus</i> Wedd.	142	136

Anexo 2. Variables estructurales de las subparcelas del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC) en el año 2022.

Subparcela	CN Biomasa	C_Mg_2022 Sobrevivientes	CN Carbono	IMA	Tasa de Mortalidad	Tasa de Reclutamiento
1	2,26	1,65	1,06	-0,07	4,67	2,36
2	4,41	2,21	2,07	0,23	3,23	1,44
3	4,34	2,24	2,04	0,35	3,82	0,00
4	4,45	2,19	2,09	0,30	3,59	0,88
5	1,39	0,75	0,65	0,15	4,65	2,48
6	4,58	2,31	2,15	0,25	4,07	2,47
7	3,90	2,05	1,83	0,19	3,49	1,17
8	4,16	2,07	1,96	0,31	3,29	0,60
9	2,72	1,32	1,28	0,25	2,57	2,28
10	6,17	3,11	2,90	0,13	2,14	1,93
11	2,56	1,26	1,20	0,14	8,11	5,75
12	0,47	0,48	0,22	0,00	11,41	3,21
13	2,94	1,47	1,38	0,25	4,57	3,02
14	4,85	2,56	2,28	0,33	5,55	2,02
15	8,66	4,28	4,07	0,73	7,17	0,25
16	3,30	1,62	1,55	0,31	6,97	2,74
17	-0,72	0,77	-0,34	0,01	16,42	1,54
18	3,71	1,89	1,74	0,42	6,29	1,53
19	5,66	3,03	2,66	0,34	5,75	2,08
20	6,75	3,99	3,17	0,30	5,50	0,50
21	-0,90	0,64	-0,42	0,07	8,31	0,78
22	1,66	0,83	0,78	0,14	4,10	4,01
23	5,26	2,60	2,47	0,28	2,00	2,11
24	4,63	2,31	2,18	0,20	1,74	2,80
25	3,87	2,07	1,82	0,25	4,32	2,60
Total General	91,07		42,80	0,23	4,68	1,81

Anexo 3. Registro fotográfico de recorrido y toma de coordenadas de la parcela permanente del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), Loja.



Lic. Jordy Christian Granda F., Mgs.
0967352473
Chris-gra1993@hotmail.com
Loja – Ecuador

Loja, 30 de Octubre de 2023

El suscrito, Lic. Jordy Christian Granda Feijoo, Mgs., **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR DEL ÁREA DE INGLÉS - CIS DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO SUDAMERICANO LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal,

CERTIFICA:

Que, la traducción del documento adjunto solicitado por la Srta. **Jennifer Natividad Valdiviezo Ramirez**, con cedula de ciudadanía No. **1150097275**, cuyo tema de investigación se titula: **Dinámica del almacenamiento de carbono en una parcela permanente de bosque andino en el Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", Loja, Ecuador**, ha sido realizado y aprobado por mi persona, docente de Educación Superior en la enseñanza del inglés como lengua extranjera. El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

English is a piece of cake!



Firmado electrónicamente por:
**JORDY CHRISTIAN
GRANDA FEIJOO**

Lic. Jordy Christian Granda Feijoo, Mgs.
ENGLISH PROFESSOR

