



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

“Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque piemontano del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador”

Trabajo de Titulación previa a la
obtención del título de Ingeniera Forestal

AUTORA:

Cristina Jackeline Arias Godoy

DIRECTOR:

Ing. Darío Alfredo Veintimilla Ramos Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 08 de septiembre del 2022

Ing. Darío Alfredo Veintimilla Ramos MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque piemontano del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador”** previo a la obtención del título de **Ingeniería Forestal**, de autoría de la estudiante **Cristina Jackeline Arias Godoy**, con cédula de identidad **1106087297**, 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.



Firmado electrónicamente por:
**DARÍO ALFREDO
VEINTIMILLA
RAMOS**

Ing. Darío Alfredo Veintimilla Ramos MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Cristina Jackeline Arias Godoy**, 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: 1106087292

Fecha: 31 de mayo de 2023

Correo electrónico: cristina.arias@unl.edu.ec

Teléfono: 0998695556

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

Yo, **Cristina Jackeline Arias Godoy**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **“Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque piemontano del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador”**, como requisito para optar por el título de: **Ingeniera Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre 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 en 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, en la ciudad de Loja a los treinta y un días del mes de mayo de dos mil veintitrés.



Firma:

Autora: Cristina Jackeline Arias Godoy

Número de cédula: 1106087297

Dirección: Ciudadela Pio Jaramillo (calle Aztecas)

Teléfono: 0998695556

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Titulación: Ing. Darío Veintimilla Ramos Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Galo y Sonia quienes con esfuerzo y amor me han permitido cumplir uno más de mis sueños, doy gracias por darme el ejemplo de seguir adelante con esfuerzo y dedicación, por su apoyo incondicional en cada trayectoria de mi vida.

A mi hermana y mis sobrinos, que forman parte de mi día a día, siendo la razón de ser alguien mejor para ellos.

A dos grandes personas que me enseñaron el significado de lealtad, Joe y Yiyho, que a pesar de las adversidades estuvieron siempre ahí conmigo.

Cristina Jackeline Arias Godoy

Agradecimiento

Agradezco infinitamente a Dios, por darme la vida y permitirme llegar a este punto tan importante de mi formación académica. Por los obstáculos que ha puesto en mi camino los mismos que me dieron fuerza para salir adelante y aprender a valorar las buenas cosas de la vida.

También agradezco a mi madre, por ser un ejemplo a seguir, por el apoyo incondicional que me ha brindado en toda la trayectoria de mi vida.

A mi padre, por la confianza que ha puesto en mí, por haber corregido todos mis errores, por ser más que un padre un amigo.

Agradezco a los Ingenieros Darío Veintimilla y Paul Eguiguren, quienes me guiaron durante todo el camino con su conocimiento y apoyo en la elaboración de mi trabajo de titulación.

Finalmente agradezco a todas las personas que me apoyaron y me animaron.

Cristina Jackeline Arias Godoy

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	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1. Cambio climático	7
4.2. El ciclo del carbono.....	7
4.3. El carbono y su relación con el cambio climático.....	7
4.4. Los bosques y el almacenamiento de carbono	8
4.4.1. Reservorios de carbono	8
4.5. Biomasa	9
4.5.1. Biomasa Aérea	9
4.5.2. Necromasa	10
4.6. Métodos para estimar la biomasa forestal	10

4.6.1.	Métodos directos	10
4.6.2.	Métodos Indirectos	10
4.7.	Bosques piemontanos de la provincia de Zamora Chinchipe.....	11
4.7.1.	Bosque siempreverde piemontano de la cordillera oriental de los Andes.....	11
4.8.	Estudios similares de almacenamiento de carbono al Sur del Ecuador	12
5.	Metodología	13
5.1.	Ubicación del área de estudio.....	13
5.2.	Estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo del bosque piemontano del cantón Zamora.....	13
5.2.1.	Selección del área de estudio.....	13
5.2.2.	Instalación de unidades de muestreo	14
5.2.3.	Registro de individuos y variables dasométricas	15
5.2.4.	Estimación de biomasa acumulada en el estrato arbóreo	16
5.3.	Estimación del carbono acumulado en la necromasa del suelo del bosque piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe– Ecuador.	17
5.3.1.	Mantillo y madera fina	17
5.3.2.	Madera gruesa muerta	19
6.	Resultados	21
6.1.	Estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo del bosque piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe– Ecuador.....	22
6.1.1.	Estimación de carbono por clase diamétrica del bosque siempreverde piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador.....	23
6.2.	Estimación del carbono acumulado en la necromasa del suelo del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes del cantón Zamora.	25
7.	Discusión	28

7.1.	Carbono total almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque piemontano del cantón Zamora.....	28
7.2.	Carbono almacenado en la biomasa del estrato arbóreo	28
7.2.1.	Carbono almacenado por clase diamétrica.....	29
7.2.2.	Carbono almacenado por familias botánicas.....	30
7.2.3.	Carbono almacenado por especies botánicas	30
7.2.4.	Carbono almacenado en la biomasa radicular	31
7.3.	Carbono almacenado en la necromasa del suelo.....	31
8.	Conclusiones	33
9.	Recomendaciones	34
10.	Bibliografía	35
11.	Anexos	41

Índice de tablas

Tabla 1.	Tipos de reservorios de carbono	9
Tabla 2.	Hoja de campo para recolección de datos de individuos arbóreos.....	15
Tabla 3.	Ecuaciones para calcular en contenido de carbono en la necromasa.....	18
Tabla 4.	Cuadro resumen de la cantidad de carbono almacenado (t/ha) por cada componente muestreado en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera de los Andes.....	21

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación geográfica del área de estudio	13
Figura 2.	Diseño de las parcelas y sus respectivas subparcelas.....	14
Figura 3.	Estructura y ubicación de las placas utilizadas y colocadas en el fuste de los árboles medidos en campo.....	15
Figura 4.	Pesado de las muestras de hojarasca en campo.....	17
Figura 5.	Secado de las muestras de hojarasca en laboratorio.....	18
Figura 6.	Porcentaje total de carbono almacenado por cada componente muestreado bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	21
Figura 7.	Cantidad de carbono almacenado tanto en individuos arbóreos como en palmas por parcela del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	22
Figura 8.	Cantidad de carbono almacenado en el estrato arbóreo por parcela del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	22
Figura 9.	Promedio de individuos registrados por clase diamétrica en las tres parcelas muestreadas del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	23
Figura 10.	Porcentaje del carbono almacenado por cada clase diamétrica de las parcelas muestreadas en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	24
Figura 11.	Familias botánicas que almacenan mayor cantidad de carbono en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	24
Figura 12.	Especies botánicas que almacenan mayor cantidad de carbono en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	25
Figura 13.	Porcentaje de carbono almacenado en cada una de las categorías de la necromasa de las parcelas muestreadas en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.....	26

Figura 14. Cantidad de carbono almacenado en la hojarasca por parcela muestreada en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes... 26

Figura 15. Cantidad de carbono capturado por la madera muerta en pie de cada parcela muestreada en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes..... 26

Figura 16. Cantidad de carbono almacenado en la madera caída por cada parcela muestreada en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes..... 27

Índice de anexos

Anexo 1.	Fotografías pertenecientes a la metodología del objetivo 1	41
Anexo 2.	Carbono almacenado por especie en el estrato arbóreo del bosque siempreverde piemontano de las Cordillera Oriental de los Andes	43
Anexo 3.	Certificado de traducción	48

1. Título

Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque piemontano del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador.

2. Resumen

Ecuador es considerado uno de los países megadiversos del mundo, cuyos bosques, su integridad ecológica y de provisión de servicios ecosistémicos son amenazados por actividades antrópicas como agricultura, ganadería, incendios forestales, minería y construcciones civiles. El presente estudio tuvo como objetivo estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe. Para estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea se instalaron tres parcelas de 50×50 m (2500 m²), divididas en 4 cuadrantes de 25×25 m (625 m²). Se registró todos los individuos leñosos con DAP ≥ 10 cm, y se estimó la biomasa aérea mediante el uso de una ecuación alométrica, obteniéndose el carbono almacenado multiplicado por el factor 0,47. De igual forma, se estimó el contenido de carbono de las raíces mediante una ecuación alométrica. Para calcular el carbono en la necromasa sobre el suelo se clasificó en dos categorías: madera fina y madera muerta gruesa. Para la madera fina se instalaron parcelas anidadas de 1×1 m (1 m²), en las cuales se pesó todo el material muerto dentro de las mismas, y se recolectó muestras de 300 g para estimar el contenido de carbono. La madera muerta gruesa se analizó mediante el registro de todos los individuos muertos es pie ≥ 10 cm DAP, y de todos los troncos caídos dentro de las parcelas de 25×25 m. Se estimó un total de 179,51 t/ha, obteniendo un 89 % de carbono almacenado en la biomasa aérea (160,17 t/ha), y un 11 % necromasa (19,33 t/ha). Las especies que sobresalen en la captura de carbono fueron *Vismia tomentosa*, *Ficus cervantesiana* y *Tachigali inconspicua*. Se evidenció que la clase diamétrica de 20 - 30 cm DAP fue la de mayor almacenamiento de carbono. Se concluye que este bosque presenta valores altos de almacenamiento de carbono debido posiblemente a perturbaciones, tanto naturales como antrópicas, que influyen en la estructura del bosque, evidenciado por los valores altos de biomasa presente en clases diamétricas intermedias.

Palabras clave: captura de carbono, necromasa, biomasa aérea, servicios ecosistémicos.

2.1. Abstract

Ecuador is considered one of the world's megadiverse countries, whose forests, their ecological integrity and provision of ecosystem services are threatened by anthropic activities such as agriculture, livestock, forest fires, mining and civil construction. The present study focused on estimating the amount of carbon stored in the aerial biomass and necromass of a Piemontane Evergreen Forest of the Eastern Cordillera of the Andes of the Zamora canton, Zamora Chinchipe province. Three plots of 50×50 m (2500 m^2) were installed to estimate the carbon stored in the aerial biomass, divided into 4 quadrants of 25×25 m (625 m^2). All woody individuals with DBH > 10 cm were recorded, and aerial biomass was estimated using an allometric equation, obtaining stored carbon multiplied by a factor of 0,47. Similarly, the carbon content of the roots was estimated using an allometric equation. To calculate the carbon in the necromass above ground, it was classified into two categories: fine wood and coarse dead wood. For fine wood, 1×1 m (1 m^2) nested plots were installed, in which all the dead material within them was weighed, and 300 g samples were collected to estimate the carbon content. Coarse dead wood was analyzed by recording all standing dead trees > 10 cm DBH, and all fallen logs within the 25×25 m plots. A total of 179.51 t/ha was estimated, obtaining 89 % carbon stored in aerial biomass (160.17 t/ha) and 11 % necromass (19.33 t/ha). The standing out species in terms of carbon sequestration were *Vismia tomentosa*, *Ficus cervantesiana*, and *Tachigali inconspicua*. It was evidenced that the diameter class of 20 - 30 cm DAP was the one with the highest carbon storage. It is concluded that this forest presents high values of carbon storage possibly due to disturbances, both natural and anthropic, that influence the structure of the forest, evidenced by the high values of biomass present in intermediate diameter classes.

Keywords: carbon sequestration, necromass, aerial biomass, ecosystem services.

3. Introducción

La tierra es la base fundamental para el sustento y bienestar tanto del ser humano como de la biodiversidad, aquí se incluye el suministro de alimentos, agua dulce y muchos otros servicios ecosistémicos (Martín, 2011). Sin embargo, las actividades antrópicas afectan directamente a más del 70 % de la superficie terrestre global libre de hielo, es por ello que la tierra es considerada un componente de gran importancia en el sistema climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2019).

En la actualidad, el Cambio Climático (CC) es una de las preocupaciones más importantes a nivel mundial. El aumento de la temperatura y las variaciones en las precipitaciones, como resultado de las concentraciones de carbono (CO₂) en la atmósfera, están impactando nuestros ecosistemas, la economía y la salud de la población (Canaza, 2019).

Las actividades humanas contribuyen en la emisión de grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), y otros gases de efecto invernadero (GEI) como el ozono superficial, óxido nitroso, perfluorocarbonos entre otros (Benavides, 2007). Si bien se consideraba que el sector agrícola era el principal causante de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, actualmente, de acuerdo al Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020, a raíz de la pandemia de COVID-19 el transporte y el uso de combustibles fósiles en la industria son las principales fuentes de emisión de GEI y CO₂ (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2020).

Los bosques son considerados como los principales mitigadores del cambio climático, ya que actúan como sumideros de carbono; además, ayudan a preservar la fertilidad del suelo y por ende favorecen la protección de la calidad del agua, manteniendo un equilibrio ecológico en su entorno (Petkova et al., 2011).

Aunque en los últimos años se ha impulsado la importancia de conservar los ecosistemas y la diversidad que en ellos se encuentra, las diferentes actividades antropogénicas continúan degradando su estado de conservación (Martín, 2011). La deforestación es considerada como un factor preponderante para la pérdida de los bosques (López, 2017). En Latinoamérica, el Ecuador presenta una de las tasas más altas de deforestación; ya que se estima una pérdida de 94.353 ha/año (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2018).

Desde la década de 1980, el territorio ecuatoriano se ha sometido a fuertes procesos de deforestación. Entre los años de 1990 a 2000 ocurrió una gran pérdida de bosque natural, pues la superficie de los bosques nativos se redujo a un 62 % del área boscosa. En el periodo de 2000 a

2008, el área forestal ecuatoriana descendió a 59 %. Para el periodo de 2008 a 2018, la remanencia de los bosques presentó una reducción de 56 % (Sierra y Guevara, 2021).

Los bosques tropicales de Ecuador se ven afectados por las diversas actividades antrópicas, en cuanto a la degradación y pérdida de la cobertura forestal. De manera que al aumentar las amenazas también se incrementa la pérdida de los servicios ecosistémicos, tales como secuestro y reservas de carbono, purificación del agua, refugio de plantas y animales, ecoturismo entre otras (Eguiguren et al., 2019).

La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) representa aproximadamente el 40 % del territorio nacional, y es catalogada como la región con mayor deforestación del país con un valor de 39.336 ha/año (MAE, 2018). Entre las actividades que amenazan la región oriental del país se encuentran: la ganadería, la agricultura y la ampliación minería a gran escala que en su mayoría ocurre en las provincias de Zamora Chinchipe y Morona Santiago; así como la expansión de fronteras no consuntivas en la selva alta que se da en las provincias de Napo, Pastaza y Zamora Chinchipe (López et al., 2013).

Los bosques cumplen un papel fundamental en la mitigación contra el cambio climático, ya que son considerados como una fuente de almacenamiento de carbono. Por tal motivo, es importante conocer la magnitud en la que los bosques contribuyen con este servicio ecosistémico, de tal forma que se establezcan estrategias para su conservación (Jiménez, 2021).

La provincia de Zamora Chinchipe posee grandes áreas de bosque ricas en recursos naturales que proveen varios servicios ecosistémicos tales como: servicios de provisión (alimentos, madera, agua, productos medicinales); servicios de regulación (captura de carbono, equilibrio del clima, control de la erosión, conservación de la biodiversidad); servicios culturales (ecoturismo, escenarios para estudios científicos, lugares con valor cultural y religioso) (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe [GADPZCH], 2015). Pero la información sobre los impactos potenciales del cambio climático en los diferentes sectores del Ecuador es escasa (Cadilhac et al., 2017).

Por la problemática mencionada anteriormente la presente investigación tiene como finalidad generar información referente al almacenamiento de carbono de un bosque piemontano amazónico, mediante la cuantificación de biomasa y carbono acumulado en la necromasa y el estrato arbóreo, y de esta manera contar con datos confiables respecto a este servicio ecosistémico que brinda el bosque, los cuales podrán ser empleados por los tomadores de decisiones como

gobiernos provinciales, municipios, organizaciones u otros entes, que permitan implementar estrategias de conservación encaminadas a proteger los remanentes boscosos piemontanos amazónicos, ya que son de vital importancia y contribuyen a la disminución de Gases de Efecto Invernadero. Adicionalmente, la información generada servirá de base para investigaciones afines al tema como: estudios de valoración económica de pago por servicios ambientales, puesto que los datos generados respaldaran y justificaran la conservación de los bosques, dada su importancia en la provisión de servicios ecosistémicos. Esta investigación se desarrolló bajo el marco del proyecto 08-DI-FAARNR-2021 “Restauración y dinámica de los ecosistemas andino-amazónicos del sur del Ecuador”.

Cumpliendo los objetivos:

Objetivo General

Contribuir al conocimiento sobre el servicio ecosistémico de captura de CO₂ en la biomasa aérea y necromasa del bosque piemontano cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador.

Objetivos Específicos

- Estimar el carbono acumulado en el estrato arbóreo del bosque piemontano del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador
- Estimar el carbono acumulado en la necromasa del suelo del bosque piemontano cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador

4. Marco teórico

4.1. Cambio climático

El Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) 2014, define el término cambio climático como “Variación del estado del clima identificable (p. ej., mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos”.

La gran mayoría de sectores productivos se han visto impactados por el cambio climático, sectores como, el turismo, la agricultura y la producción de alimentos, que son considerados principales motores de la economía han puesto en estado preocupante el aumento de temperaturas y, como consecuencia, una mayor aridización del campo (Ojea & Armenestre, 2018). La principal actividad antrópica que aumenta el cambio climático, es el consumo de combustibles fósiles, en particular petróleo y carbón, ya que emite CO₂ a la atmósfera (MAE, 2012).

El cambio climático puede acelerar procesos de degradación de la tierra, ya sea, a través aumentos en la intensidad de la lluvia, inundaciones, sobrecarga térmica, períodos de sequía, el nivel del mar, la acción de las olas y el deshielo del permafrost, cuyos resultados son modulados por la gestión de la tierra (IPCC, 2020).

4.2. El ciclo del carbono

El ciclo del carbono se describe como un proceso de modificaciones químicas que incluyen al carbono en los intercambios entre la atmósfera y la biosfera continental, al igual que las alteraciones provocadas por actividades antrópicas tales como aumento de CO₂ atmosférico y el calentamiento climático (Vaglio, 2018).

El ciclo del carbono inicia con la fijación del dióxido de carbono atmosférico mediante el proceso de fotosíntesis, en donde, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno, que va a la atmósfera. Parte de estos carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta y el dióxido de carbono que así se forma, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte la consumen los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos (Burbano, 2018).

4.3. El carbono y su relación con el cambio climático

La tierra es considerada el principal sumidero de carbono, puesto que los modelos globales valoran emisiones netas de CO₂ de aproximadamente $5,2 \pm 2,6$ GtCO₂ al año⁻¹, las mismas que surgen de los diferentes usos de la tierra y el cambio de uso del suelo (IPCC, 2020).

Cabe recalcar que en el suelo se regula la circulación del CO₂ en los ecosistemas terrestres, ya que en éste se mineralizan persistentemente los residuos de plantas, animales y materiales orgánicos. De tal forma que este proceso influye rotundamente en las condiciones climáticas del planeta (Rojas et al., 2017).

4.4. Los bosques y el almacenamiento de carbono

La captura y almacenamiento de CO₂ es un proceso natural que consta de la separación de CO₂ tanto de fuentes industriales como energéticas, y la transportación del mismo a una localización en la que será almacenado, y retenido por un largo plazo (Rivas, 2013).

Los bosques desempeñan un papel esencial en el ciclo global del carbono, ya que capturan un volumen considerable de carbono por medio de la fotosíntesis almacenando mayor cantidad en los suelos que en la biomasa aérea (Organización de las Naciones Unidas [FAO], 2015).

De acuerdo a los resultados de la Evaluación Nacional Forestal, el carbono total en los bosques del Ecuador ronda entre 47,91 Mg ha⁻¹ en bosque seco andino, y 108,12 Mg ha⁻¹ en bosques siempre verdes de tierras bajas de la Amazonía (sin incluir el carbono orgánico del suelo) (MAE y FAO, 2014).

Se puede capturar el carbono en etapa de crecimiento de un bosque, reforestación y restauración, así como en sistemas tanto agroforestales como silvopastoriles, tomando en cuenta que el manejo forestal sostenible tiene un impacto positivo en su secuestro, además nos garantiza que las reservas de carbono se mantengan a largo plazo (Leyva et al., 2021).

4.4.1. Reservorios de carbono

La atmosfera al absorber el dióxido de carbono lo almacena en forma de carbono en la materia orgánica de las plantas, y cierta parte del mismo pasa posteriormente a almacenarse en la hojarasca y en el suelo. Por lo tanto, se consideran reservorios a los almacenes de carbono capaces de acumular o liberar carbono. La biomasa forestal, los diferentes productos obtenidos de la madera y principalmente el suelo son claros ejemplos de los almacenes de carbono (IPCC, 2005).

De acuerdo al IPCC (2003), en los ecosistemas forestales el carbono se encuentra disperso en cinco depósitos: biomasa viva por encima del suelo o también llamada biomasa aérea, biomasa viva por debajo del suelo o biomasa subterránea, madera muerta sobre el suelo, mantillo y carbono orgánico del suelo (COS).

Tabla 1. Tipos de reservorios de carbono.

Tipos de reservorios		Descripción
Biomasa Viva	Biomasa aérea	Está conformada por todas las estructuras leñosas aéreas de especies ya sean frutales maderables u otros árboles y arbustos del sistema boscoso.
	Biomasa subterránea	Comprende toda la biomasa en general de las raíces vivas. Las raíces finas de menos de 2mm de diámetro son, a menudo, excluidas por su proceso continuado de degradación-regeneración.
Materia Orgánica Muerta	Madera muerta	Toda la biomasa no viva, aparte de la hojarasca. Incluye madera sobre la superficie, raíces muertas y tocones mayores o iguales a 10 cm. de diámetro
	Hojarasca o mantillo	Se refiere a la materia orgánica que se desprende principalmente de árboles y arbustos, posteriormente atraviesa diferentes procesos de descomposición.
Suelo	Carbono orgánico del suelo	Incluye carbono orgánico en suelos orgánicos y minerales (incluyendo turba).

Fuente: Jiménez & Arias (2004)

4.5. Biomasa

El IPCC (2001), define la biomasa como toda la materia orgánica en general, ya sea que esta se encuentre viva o muerta, aérea o subterránea. A esta definición se agrega que, la biomasa es considerada como un compuesto biodegradable constituido por productos y desechos de origen biológico, los mismos que son resultado de actividades agrícolas, agropecuarias e industrias conexas (Herguedas et al., 2012).

4.5.1. Biomasa Aérea

La biomasa aérea se refiere al peso del material vegetal en pie, considerando parte del individuo que va desde el suelo hasta la copa incluyendo hojas, ramas, corteza, fustes, semillas, y flores (Sarango y Tenempaguay, 2020).

La biomasa aérea puede ser estimada de manera directa con la cosecha de especímenes o indirectamente mediante ecuaciones alométricas con determinadas características de los árboles medidas en campo (Perea et al., 2021).

4.5.2. *Necromasa*

Se considera como necromasa toda la materia vegetal muerta que está sobre la superficie del suelo inorgánico, incluye hojarasca y detrito fino (ramas de diámetro menos a 10 cm, flores y frutos) (López, 2017).

Su dinámica juega un rol muy importante en el funcionamiento de los bosques puesto que en el proceso de descomposición se liberan nutrientes que contribuyen con el crecimiento de nueva vegetación y CO₂ hacia la atmósfera y se almacena carbono incorporado al suelo (Zaninovich, 2017).

La necromasa representa un reservorio de carbono importante (del 14 al 40 % del reservorio total) en los ecosistemas boscosos y sus flujos de productividad y descomposición determinan el reciclado de C en el ecosistema (Zaninovich, 2017).

4.6. Métodos para estimar la biomasa forestal

La acumulación de carbono en la biomasa, puede cambiar en función de la edad, diámetro, altura de los árboles, densidad de la plantación de cada estrato y la asociación vegetal de los bosques, es por ello que, para conocer cantidad de carbono que absorbe y acumula un ecosistema, se requiere realizar estudios mediante la selección de métodos según las características de las especies pertenecientes al área de estudio (Fonseca, 2017).

4.6.1. *Métodos directos*

El método directo o también denominado destructivo es utilizado para formular ecuaciones alométricas, consiste en extraer la biomasa de todos los árboles en una determinada área, a continuación, se procede a encontrar el peso seco siguiendo el protocolo de secado y pesado de las muestras (Fonseca, 2017).

Este método es utilizado convencionalmente para proyectos locales, si bien implica altas inversiones de tiempo, recursos y mano de obra, no es recomendado para niveles regionales o escalas nacionales. Sin embargo, para tener una mayor confiabilidad en el resultado, el método para cuantificar el carbono almacenado en los bosques con menor incertidumbre es el método directo (Fernández, 2017).

4.6.2. *Métodos Indirectos*

El método indirecto, por su parte, consiste en utilizar las ecuaciones alométricas que actualmente existen en la literatura, que fueron calculados por medio de análisis de regresión entre variables de los árboles, tales como el diámetro a la altura del pecho (dap), la altura comercial (hc) y total (ht), el crecimiento dimétrico, el área basal y la densidad específica de la madera. En este caso, solo es necesario medir las variables más relevantes en campo e incluirlas posteriormente a la ecuación seleccionada (Fernández, 2017).

Para estimar el carbono almacenado en la biomasa de los otros componentes o estratos, como la necromasa, sotobosque y hojarasca, se consideran muestras de biomasa por estrato, las cuales se secan en el horno para determinar el contenido de materia seca (Russo, 2009).

Chave et al. (2014) , propuso un modelo pantropical que considera variables dasométricas (D, diámetro cm), densidad de la madera (p) y el estrés ambiental (E), el mismo que incorpora las variables de temperatura, precipitación y grado de sequía. La ecuación se presenta a continuación:

$$AGBest = \text{Exp} [-1.803 - 0.976E + 0.976 \ln(p) + 2.673 \ln(D) - 0.0299 [\ln(D)]^2]$$

4.7. Bosques piemontanos de la provincia de Zamora Chinchipe

La región sur oriental, provincia de Zamora Chinchipe, comprende las tierras altas de la Amazonía. Sus límites altitudinales más bajos llegan a 800 m s.n.m., siendo una zona de transición de la vegetación. Esta zona pertenece a la región fitogeográfica Huancabamba (MAE, 2013).

Las formaciones vegetales en la región amazónica corresponden a superficies que se encuentran por debajo de 1300 m s.n.m., y las estribaciones orientales de los Andes al sur del Ecuador no sobrepasan los límites altitudinales correspondiente a 800 m s.n.m. (MAE, 2013).

- Bosque siempreverde piemontano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsPn04)
- Bosque siempreverde piemontano de las Cordilleras del CóndorKutukú (BsPa02)
- Bosque siempreverde piemontano sobre afloramientos de roca caliza de las Cordilleras Amazónicas (BsPa03)

Para este estudio en particular se trabaja en el bosque siempreverde piemontano de la cordillera oriental de los Andes

4.7.1. *Bosque siempreverde piemontano de la cordillera oriental de los Andes*

Este bosque siempre-verde presenta una mezcla de especies de árboles andinos y de las tierras bajas de la Amazonía. La diversidad de árboles es menor que en el bosque húmedo tropical

Amazónico (130 especies/ha). Cuenta con una precipitación media anual de 2n833 mm, considerada la segunda más alta de todas las regiones (Ron, 2020).

4.8. Estudios similares de almacenamiento de carbono al Sur del Ecuador

Al sur de Ecuador se han realizado pocos estudios de cuantificación de carbono en ecosistemas piemontanos. No obstante, se puede citar los siguientes como los más relevantes:

Correa (2015), desarrolló un estudio en la microcuenca El Padmi, que cuenta con un tipo de bosque siempreverde piemontano, el cual tuvo como objetivo cuantificar el carbono capturado en la biomasa aérea y necromasa (hojarasca y árboles muertos), en dos sitios (Quebrada el Padmi y Meseta Rocosa). Encontró que el carbono almacenado en los árboles vivos y muertos en pie representa un total de 136,46 Mg C ha⁻¹, sin embargo, el carbono almacenado por cada sitio si varia, la Quebrada El Padmi registra 165,68 Mg C ha⁻¹ y Meseta Rocosa 148,25 Mg C ha⁻¹. Finalmente, el carbono capturado por la hojarasca presenta un promedio de 4,04 Mg C ha⁻¹, por el contrario, la madera caída registra el valor más bajo con un total de 0,12 Mg C ha⁻¹.

Jadán et al. (2017) realizó un estudio de riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos en la provincia de Zamora Chinchipe. Para este estudio se evaluó la riqueza de especies arbóreas, arbustivas, herbáceas y el carbono capturado en tres pisos altitudinales (Piemontano, Montano bajo y Montano). El piso montano bajo registro la mayor cantidad de carbono total almacenado (241,6 t/ha). El carbono correspondiente a la biomasa aérea arbórea presentó mayor cantidad en el piso pie-montano (99,7 t/ha) que el piso montano bajo (21,8 t/ha).

También se debe señalar que en otros sitios de la Cordillera Oriental de los Andes se han realizado estudios de cuantificación de carbono en ecosistemas piemontanos, como el caso del estudio realizado por Alvarado (2022), en el mismo que reportó un total de 287,58 Mg ha⁻¹ en la biomasa aérea y 135,16 Mg ha⁻¹ de carbono almacenado.

En el bosque del Parque Ecológico y Recreacional Lago Agrio (PERLA) ubicado en la parroquia Nueva Loja del cantón Lago Agrio perteneciente a la provincia de Sucumbíos se realizó un estudio para determinar cuánto carbono se acumula en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierra bajas, en el cual se determinó que el bosque almacena 135,8 t/ha de carbono (Cabrera et al., 2019).

5. Metodología

5.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio está localizada en la reserva privada Numbami, de propiedad de Naturaleza y Cultura Internacional (NCI), cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, localizado al sur de la región amazónica del Ecuador (0), que pertenece al ecosistema de bosque siempreverde piemontano de la cordillera oriental de los Andes. El cantón Zamora limita al norte con el cantón Yacuambi, al sur con el cantón Palanda, al este con el cantón Centinela del Cóndor y cantón Nangarizta y al oeste con la provincia de Loja. El cantón Zamora posee una altitud promedio de 920 m s.n.m., se caracteriza por presentar un clima lluvioso tropical con una precipitación promedio de 2000 mm/año y temperatura promedio de 20°C (GADZamora, 2020).

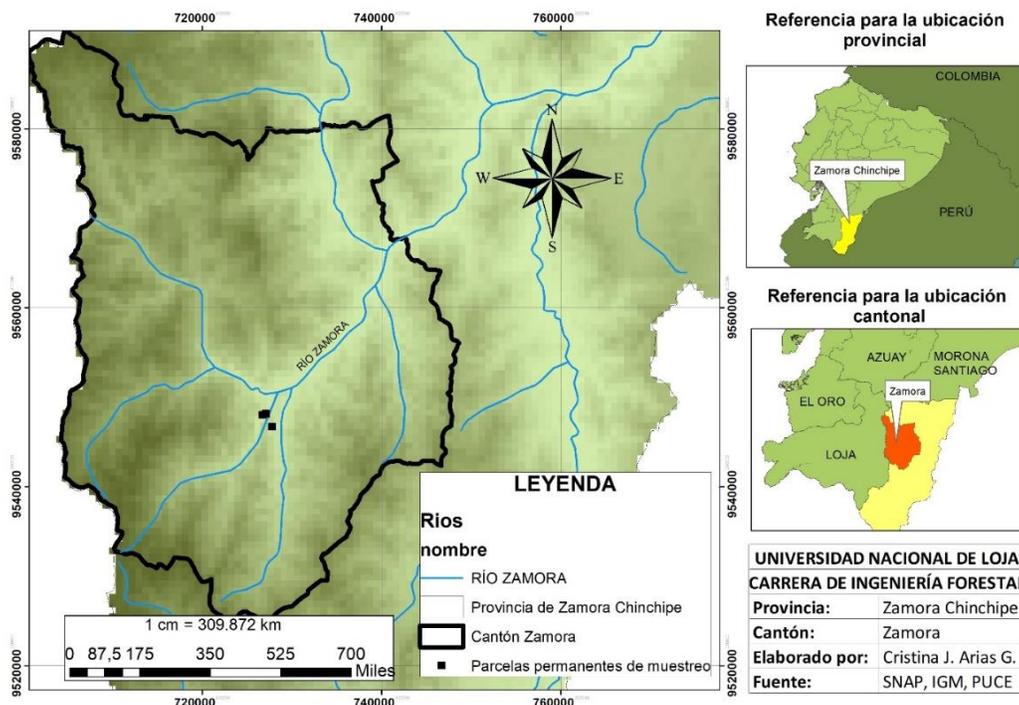


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

5.2. Estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo del bosque piemontano del cantón Zamora

5.2.1. Selección del área de estudio

Se seleccionó como área de estudio el bosque siempreverde piemontano de la cordillera oriental de los Andes, en la reserva privada Numbami, perteneciente a Naturaleza y Cultura Internacional (NCI). Se realizó la exploración del sitio para la identificación de áreas adecuadas

para la instalación de las parcelas. Para la instalación se consideró que las características del sitio como topografía y pendiente sean regulares, además de que exista uniformidad de la vegetación.

Las parcelas fueron ubicadas a 200 metros de senderos y vías, con el objetivo de evitar el efecto de borde y, con una distancia de 20 m de cursos de agua para evitar condiciones particulares de vegetación riparia.

5.2.2. *Instalación de unidades de muestreo*

Se instaló tres parcelas permanentes de 2 500 m² (50 × 50 m) de manera aleatoria dentro del bosque para evitar sesgos en la información, considerando que se distancien 300 m entre cada unidad muestral para asegurar la independencia de los datos.

Cada parcela se subdividió en cuatro subparcelas de 625 m² (25 × 25 m) para medición de la biomasa aérea. En cada una de las parcelas permanentes se instalaron cuatro parcelas anidadas de 1 m² (1 × 1 m) donde se recolectó muestras de madera fina y de necromasa (Figura 2).

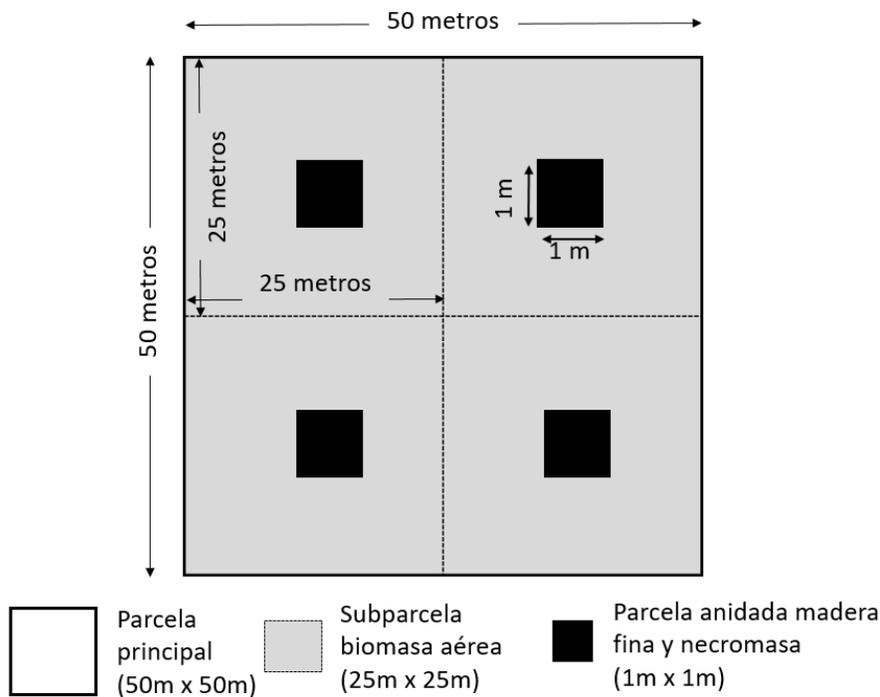


Figura 2. Diseño de las parcelas y sus respectivas subparcelas.

5.2.3. Registro de individuos y variables dasométricas

En las subparcelas de 25×25 m (625 m²) se midieron y registraron todos los individuos leñosos \geq a 10 cm de DAP, para ello se utilizó placas de acero inoxidable, las mismas que fueron colocadas a 1,50 m desde la base (0). Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta diamétrica. Se identificó y registró el nombre de los árboles mediante observación directa y con ayuda del guía de la localidad. Se tomó muestras botánicas de los individuos que no pudieron ser identificados, las cuales fueron prensadas y llevadas al Herbario “Reinaldo Espinosa” para su identificación. La información de campo se registró en el formulario de la 0.

Tabla 2. Hoja de campo para recolección de datos de individuos arbóreos.

Coordenadas UTM:					Lugar:			
Altitud (m s. n.m.):					Fecha:			
Parcela No.	Subparcela No.	Individuo No.	Árbol individual (1) o bifurcado (0)	Nombre científico	Familia	H (m)	DAP (cm)	Observaciones

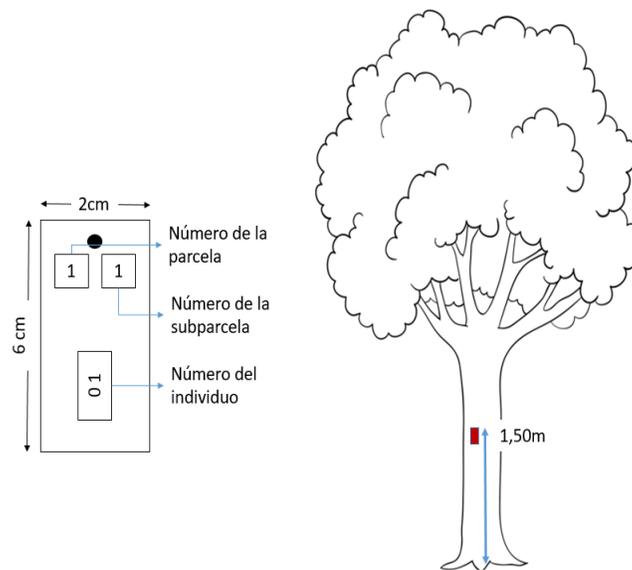


Figura 3. Estructura y ubicación de las placas utilizadas y colocadas en el fuste de los árboles medidos en campo.

5.2.4. Estimación de biomasa acumulada en el estrato arbóreo

El estrato arbóreo estuvo representado por árboles y palmas. Se excluyó del estudio los helechos arborescentes por ser poco representativos en el área de estudio.

La biomasa de los árboles se estimó usando la ecuación pantropical propuesta por Chave et al. (2014):

$$AGB_{est} = \text{Exp} [-1.803 - 0.976E + 0.976 \ln(p) + 2.673 \ln(D) - 0.0299 [\ln(D)]^2]$$

Donde:

AGB est= Biomasa estimada en kilogramos

p = densidad de madera (g/cm^3)

D = diámetro (cm)

E =Medida de estrés ambiental

Los datos correspondientes a densidad de la madera (p) se obtuvieron de fuentes secundarias; se usó la información de Global Wood Density Database (GWD) (<http://db.worldagroforestry.org/wd>), y también la información de densidades obtenidas de investigaciones realizadas para las especies existentes en la zona. En caso de no existir el valor para una especie se usó el promedio de la densidad por género o familia. La variable E fue determinada a partir de una capa ráster de datos con una resolución de 2,5 arco segundos, generada por Chave et al. (2014):

En el caso de las palmas se utilizó la fórmula propuesta por Goodman et al., (2013):

$$AGB_{palma} = \text{Exp}(-3,3488 + (2,7483 \times \ln(D)))$$

Donde:

AGB_{palma}= Biomasa estimada en kilogramos

D = diámetro (cm).

Además, se estimó la biomasa de raíces, para lo cual se empleó la ecuación propuesta por Cairns et al., (1997), que es de carácter general.

$$Br = \exp(\gamma + \Omega \ln BA)$$

Donde:

Br: biomasa de raíces (t/ha)

γ : -1,0587 Ω : 0,8836

BA: biomasa aérea (t/ind)

Luego, se determinó el contenido de carbono, multiplicando la cantidad de biomasa por la fracción de carbono (FC) equivalente 0,47, recomendada por el IPCC (2006).

5.3. Estimación del carbono acumulado en la necromasa del suelo del bosque piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe– Ecuador.

Se consideró dos categorías de necromasa: mantillo incluida la madera fina muerta y madera gruesa muerta, de la cual en la primera categoría se muestreó las parcelas de 1×1 m, y la categoría de madera muerta fue evaluada en las parcelas de 25×25 m.

5.3.1. Mantillo y madera fina

El mantillo está dividido en dos categorías, la una hace referencia a la necromasa fina que está formada por hojas, ramas, ramitas, flores, frutos o semillas con diámetro $\leq 2,5$ cm, y la segunda categoría denominada detritos, que se compone de materia orgánica, excluyendo las raíces. La madera fina muerta está compuesta por ramas y troncos $\geq 2,5$ cm ≤ 10 cm de diámetro.

Para el presente estudio se colectó los dos componentes y se unificó en una sola muestra debido a que existió poca representatividad al separar.

El proceso para estimar el contenido de carbono presente en las categorías de mantillo y madera fina se dividió en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y análisis de datos.

a) Fase de campo

Para muestrear estas categorías, primero se establecieron subparcelas de 1×1 m, una por cada parcela de 25×25 m (Figura 4), en las que se procedió a pesar todo el material orgánico encontrado sobre el suelo y se tomó una muestra de 300 g, la cual se pesó *in situ* para registro del peso verde (Figura 5). Posteriormente se colocó en una bolsa ziploc para ser secada en el laboratorio de Fisiología Vegetal.



Figura 4. Pesado de las muestras de hojarasca en campo

b) Fase de laboratorio

Una vez recolectadas las muestras fueron llevadas a laboratorio, para la determinación de carbono se tomaron muestras de 300 g, las mismas que se procedió a secar en un horno a una temperatura de 80 °C por un tiempo aproximado de 120 horas hasta que las muestras alcanzaron un contenido de humedad constante (0).



Figura 5. Secado de las muestras de hojarasca en laboratorio

c) Fase análisis de datos

Para calcular el valor del carbono almacenado por la vegetación no arbórea se utilizó las fórmulas presentes en la Tabla 3:

Tabla 3. Ecuaciones para calcular en contenido de carbono en la necromasa.

Fórmulas:
$Ms = \frac{Psm}{Pfm} * Pft$
Ms = Masa seca kg/ha
Psm= Peso seco de la muestra colectada (kg)
Pfm = Peso fresco de la muestra colectada (kg)
Pft = Peso fresco total por metro cuadrado (kg)
$Factor\ de\ expansion = \frac{10000\ m^2}{Área\ de\ la\ parcela}$
$Contenido\ de\ biomasa = Masa\ seca * Factor\ de\ expansion$

Fuente: Pearson et al. (2005)

5.3.2. *Madera gruesa muerta*

Par este componente se tomó en cuenta dos tipos de madera muerta: en pie y la madera caída.

5.3.2.1. **Madera muerta en pie.**

La madera muerta en pie son todos los individuos muertos que aún se encuentran en posición vertical. Para su registro se midió DAP \geq a 10 cm y altura de todos los árboles muertos en pie dentro de la parcela de 25 \times 25 m.

Para estimar el valor del carbono capturado, primero se procedió a calcular el diámetro superior del árbol, para ello se utilizó la ecuación alométrica propuesta por Chambers et al. (2000).

$$Dh = 1,59DBH(h^{-0.091})$$

Donde:

Dh= Diámetro superior

DBH=Diámetro inferior

H= altura

Una vez obtenido el diámetro superior se procedió a calcular el volumen de cada individuo para ello se utilizó la fórmula de Smalian:

$$v = L[(\pi(D_1/2)^2 + \pi(D_2/2)^2)]/2$$

Donde:

L= Longitud del árbol caído (m)

D₁= Diámetro inferior (m)

D₂= Diámetro superior (m)

Para calcular la biomasa de la madera gruesa en pie, se utilizó el valor de la densidad promedio de los árboles vivos de la parcela, una vez obtenido este valor se procedió a multiplicar el volumen de cada individuo por la densidad promedio de todos los árboles vivos.

5.3.2.2. **Madera muerta caída.**

La madera muerta caída se refiere a la necromasa sobre el suelo de todos los troncos, ramas y raíces muertas con un diámetro mayor de 10 cm

Para el registro de la madera gruesa muerta sobre el suelo, se tomó en cuenta aquellos individuos caídos con un diámetro \geq 10 cm de DAP y se procedió a medir la longitud de cada árbol caído, el Diámetro 1 (D₁) y el Diámetro 2 (D₂).

Cada pieza de madera gruesa muerta se clasificó en una categoría de estado de descomposición para ello se aplicó el método del machete, que consistió en golpear la madera con un “machete”; si la hoja rebota es buena, si entra levemente es intermedia, y si hace que la madera se caiga, está podrida. Así, según el corte en el tronco o rama con un machete se definen 3 clases de densidad: “sound” o sano, “intermediate” o intermedio y “rotten” o podrido (IPCC, 2003).

Los valores de densidad de madera en los tres niveles de descomposición fueron tomados de un estudio realizado por Eguiguren et al. (2020), en la región amazónica del Ecuador: solido ($0,45 \text{ g/cm}^3$), intermedio ($0,34 \text{ g/cm}^3$) y podrido ($0,25 \text{ g/cm}^3$).

Una vez obtenidos los datos en campo se procedió a calcular el valor de la biomasa para ello se obtuvo el volumen de cada pieza utilizando la fórmula de Smalian, y esto a su vez se multiplicó por los diferentes valores de densidad antes mencionados.

Para convertir los datos de biomasa a cantidad de carbono, se multiplicó el valor de biomasa por la fracción carbono $FC = 0,47$ como indica el IPCC (2006), el cual estima que aproximadamente el 47 % de la biomasa vegetal corresponde a carbono.

$$CC = BN \times 0,47$$

Donde:

CC= Contenido de carbono (tC/ha)

BN= biomasa (kg/ha, t/ha)

Fracción de carbono= 0,47

6. Resultados

El carbono total es el resultado de la sumatoria de todos los componentes registrados en el área de estudio, como es el estrato arbóreo, hojarasca, madera muerta en pie, madera muerta caída y el carbono almacenado en el suelo. El 89 % representa a la biomasa viva, esta categoría comprende la biomasa aérea y biomasa radicular, siendo el componente arbóreo aquel que captura la mayor cantidad de carbono (138,01 t/ha), mientras que las raíces capturan 22,16 t/ha de carbono. El 11 % hace referencia al carbono almacenado en la biomasa muerta o necromasa. En total, el bosque piemontano en los 5 componentes evaluados registra un estimado de 179,51 t/ha (0). Los porcentajes de almacenamiento de carbono por compartimento se muestran en la 0.

Tabla 4. Cuadro resumen de la cantidad de carbono almacenado (t/ha) por cada componente muestreado en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera de los Andes.

Categorías de muestreo	Porcentaje %	Compartimentos muestreados	t/ha
Carbono almacenado en biomasa viva	89	Carbono almacenado en las raíces	22,16
		Carbono almacenado en estrato arbóreo	138,01
Carbono almacenado en necromasa	11	Carbono almacenado en hojarasca	4,13
		Carbono almacenado en madera muerta en pie	6,82
		Carbono almacenado en madera muerta caída	8,38
Total	100		179,51

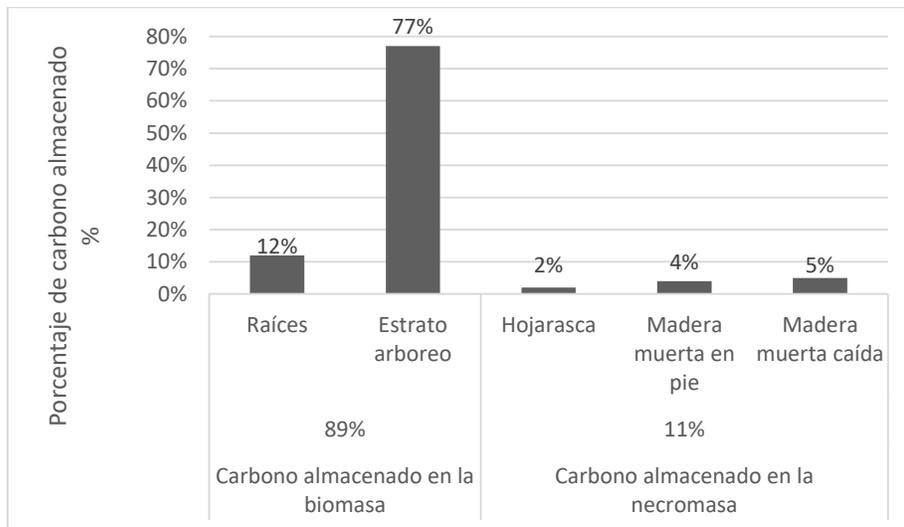


Figura 6. Porcentaje total de carbono almacenado por cada componente muestreado bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

6.1. Estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo del bosque siempreverde piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe– Ecuador.

En relación al componente arbóreo se registró 652 individuos entre árboles y palmas, de los cuales 562 son árboles, los mismos que almacenan un promedio de 134,79 t/ha, mientras que en las palmas se registraron 90 individuos, que capturan en promedio 3,23 t/ha (0).

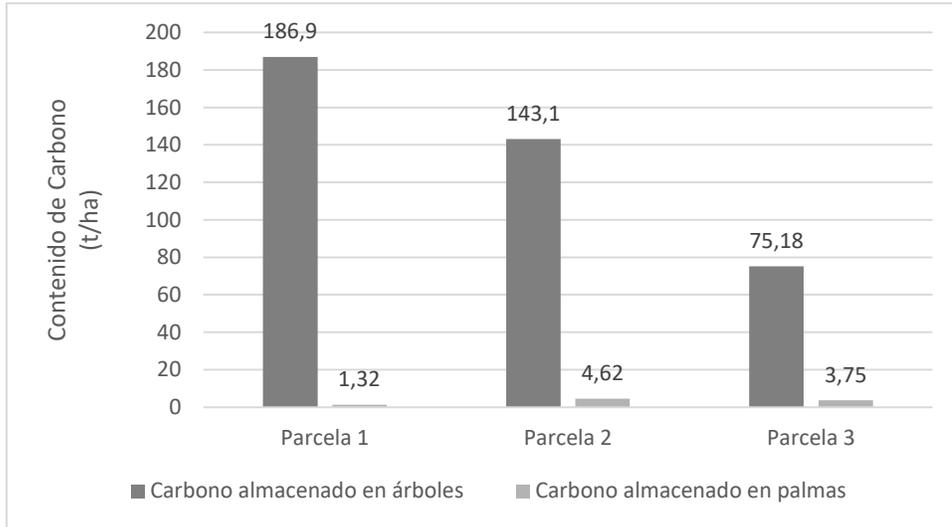


Figura 7. Cantidad de carbono almacenado tanto en individuos arbóreos como en palmas por parcela del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

En la 0, se muestra la cantidad de carbono capturada en cada unidad de muestreo por hectárea incluyendo árboles y palmas con un promedio de 138,01 t/ha.

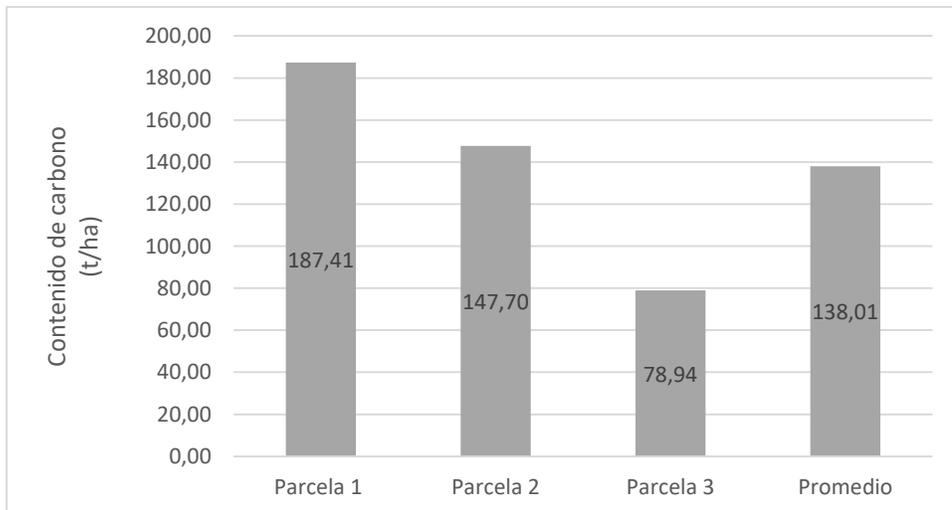


Figura 8. Cantidad de carbono almacenado en el estrato arbóreo por parcela del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

6.1.1. Estimación de carbono por clase diamétrica del bosque siempreverde piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador.

En la 0, se presenta la cantidad promedio de individuos por clase diamétrica, observándose la tendencia de J invertida en la distribución de individuos. Se evidencia que existen muy pocos individuos con diámetros mayores a 60cm.

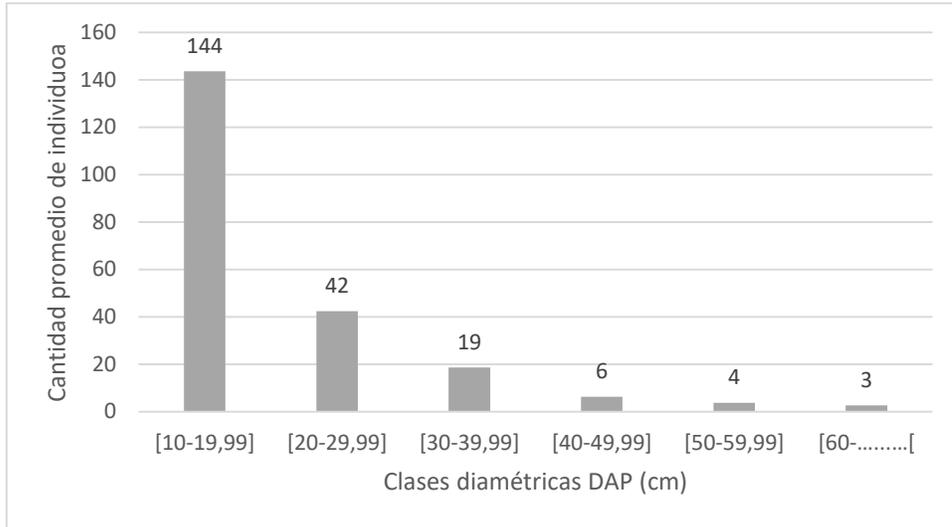


Figura 9. Promedio de individuos registrados por clase diamétrica en las tres parcelas muestreadas del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

En la 0 se muestra el porcentaje de carbono almacenado de acuerdo a las clases diamétricas obtenidas, en donde se observa que la clase diamétrica de 20 - 29,99 cm de diámetro es la que captura más carbono, representada en un 22 %. Cabe destacar que la clase de árboles mayores a 60 cm presenta un bajo almacenamiento de carbono por la presencia de pocos árboles grandes (17 %).

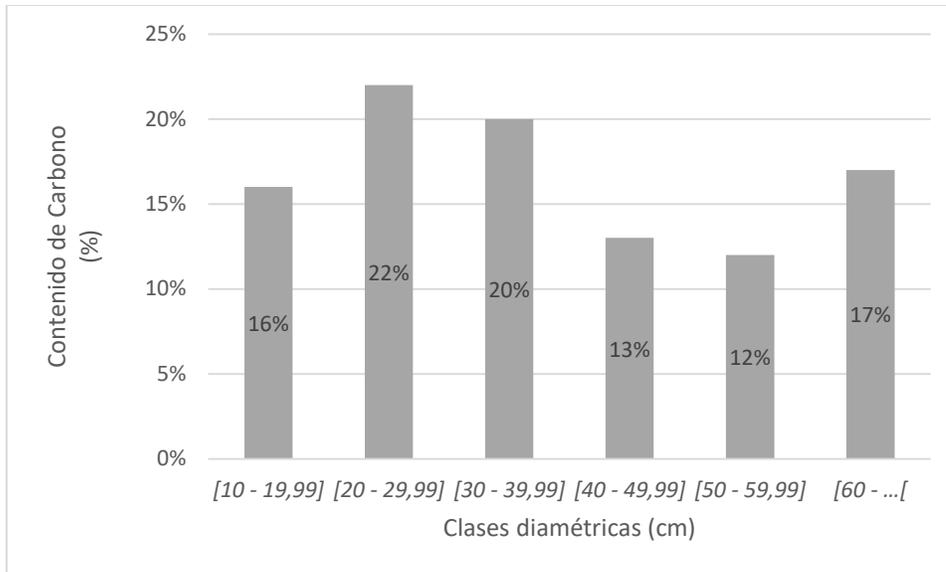


Figura 10. Porcentaje del carbono almacenado por cada clase diamétrica de las parcelas muestreadas en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

En cuanto a la representatividad de familias botánicas con mayor almacenamiento de carbono tenemos que las familias predominantes en cuanto al número de individuos son Rubiaceae (106 individuos), Lauraceae (96 individuos) y Arecaceae (90 individuos). Sin embargo, las familias que capturan mayor cantidad de carbono son Moraceae, Fabaceae, Lauraceae y Rubiaceae (0).

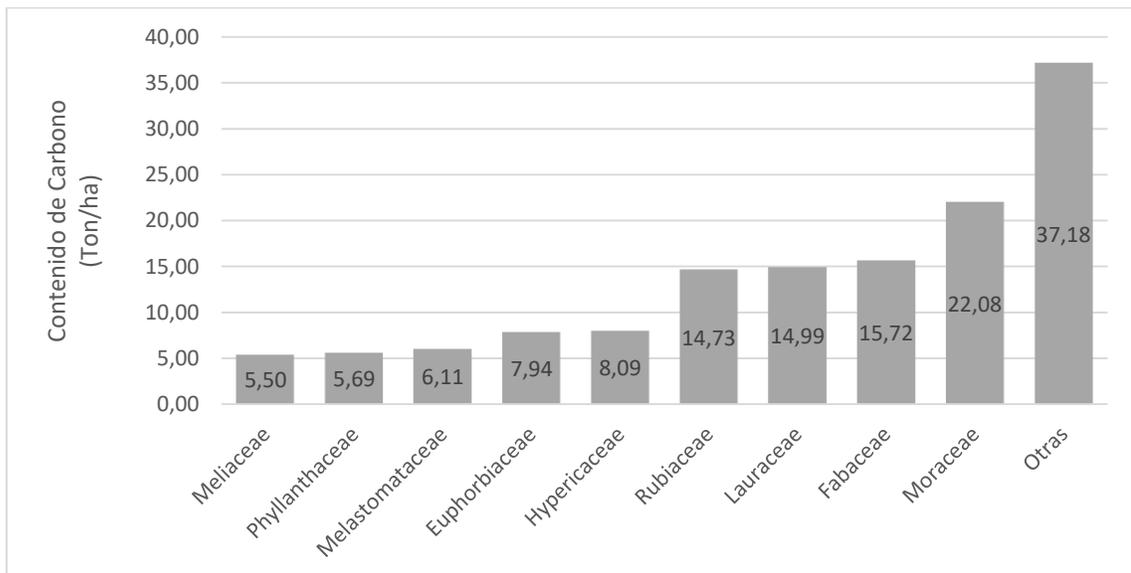


Figura 11. Familias botánicas que almacenan mayor cantidad de carbono en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

En lo que concierne al carbono capturado por especies, se destacan *Vismia tomentosa* capturando 8,09 t/ha, y *Ficus cervantensiana*, almacenando 6,87 t/ha (0), debido al diámetro y la densidad que presentan las mismas. El listado completo de especies se muestra en anexo 2.

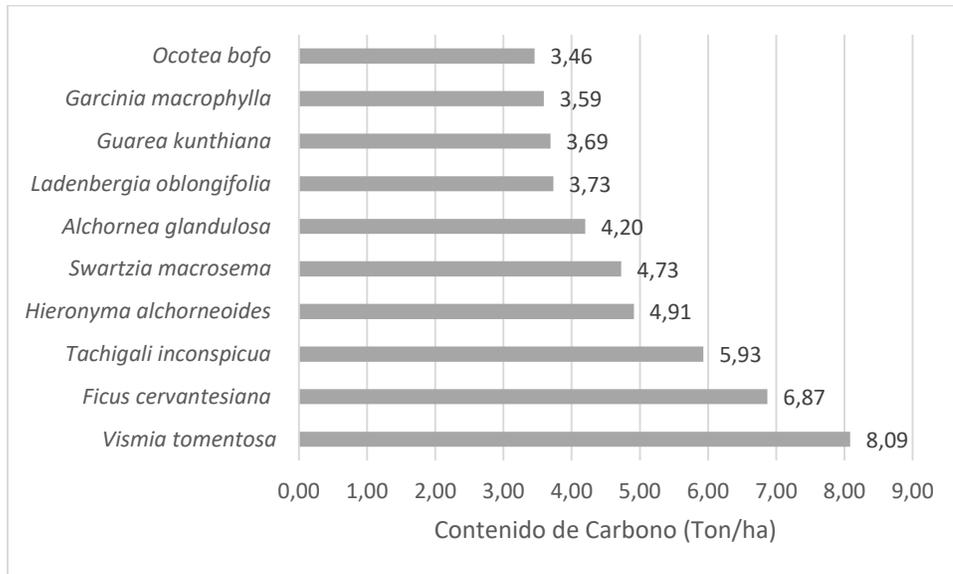


Figura 12. Especies botánicas que almacenan mayor cantidad de carbono en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

6.2. Estimación del carbono acumulado en la necromasa del suelo del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes del cantón Zamora.

La cantidad de carbono almacenado en la necromasa del es de 19,33 t/ha, clasificándose en tres categorías: hojarasca (4,13 t/ha), madera muerta en pie (6,82 t/ha) y madera muerta caída (8,38 t/ha), siendo la madera muerta caída la categoría que almacena mayor cantidad de carbono (0).

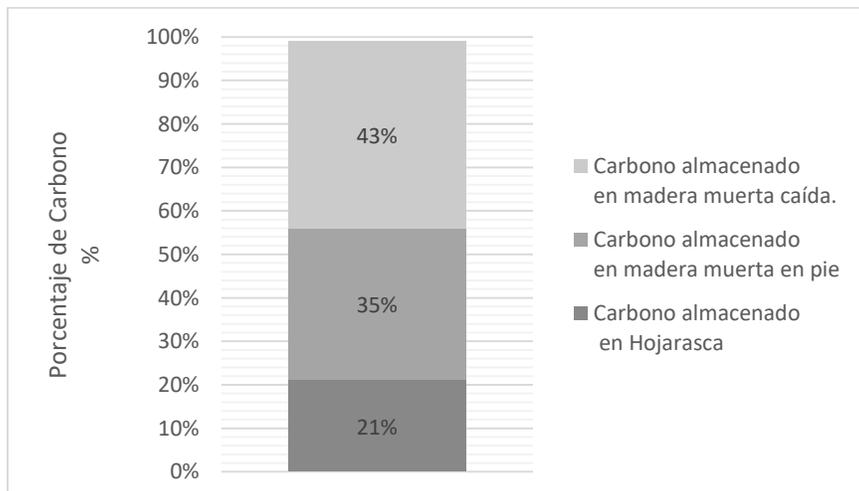


Figura 13. Porcentaje de carbono almacenado en cada una de las categorías de la necromasa de las parcelas muestreadas en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

La 0 muestra la estimación de carbono almacenado por parcela, observándose que en promedio, la categoría de hojarasca registra 4,13 t/ha. No se evidencia mayor variabilidad entre los valores de carbono en hojarasca entre parcelas.

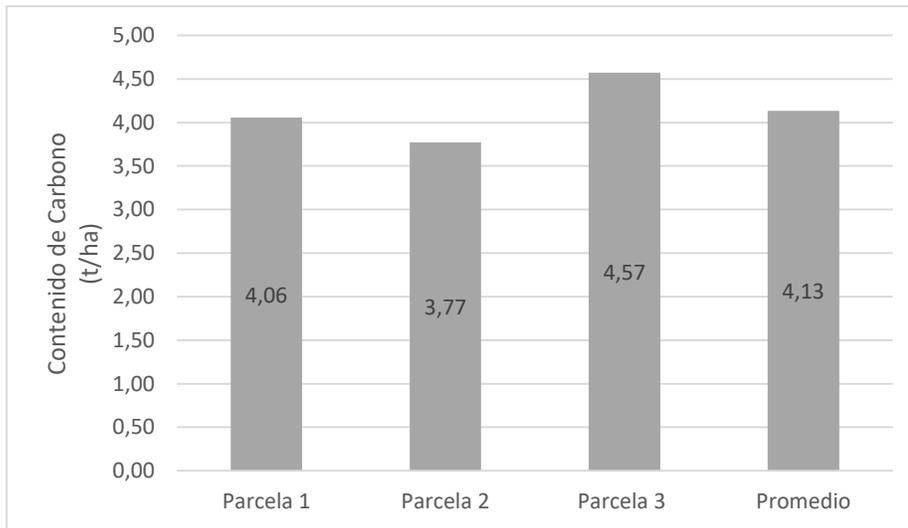


Figura 14. Cantidad de carbono almacenado en la hojarasca por parcela muestreada en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

En la 0 se muestra el contenido de carbono almacenado en la madera muerta en pie. No se evidencia variabilidad de almacenamiento de carbono entre las unidades muestrales.

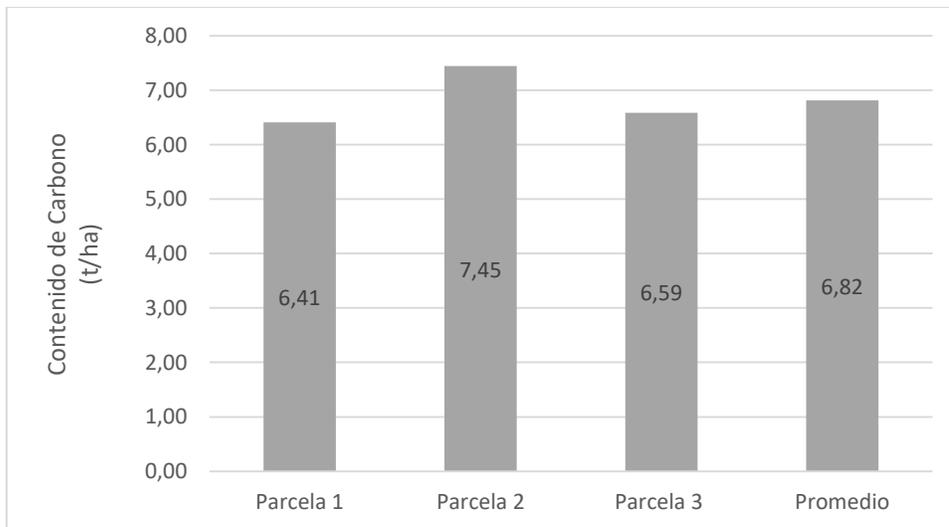


Figura 15. Cantidad de carbono capturado por la madera muerta en pie de cada parcela muestreada en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

La 0 muestra el almacenamiento de carbono en la madera caída sobre el suelo. En esta categoría se obtuvo un promedio de 8,38 t/ha. En este componente se evidenció diferencias en el contenido de carbono entre parcelas; registrándose en la parcela 1 el valor más bajo de carbono acumulado (3,86 t/ha); mientras que la parcela 3 reportó el valor más alto (12,32 t/ha). Esto se debe a que en este componente influye principalmente la densidad de la madera muerta, y la presencia de individuos muertos caídos.

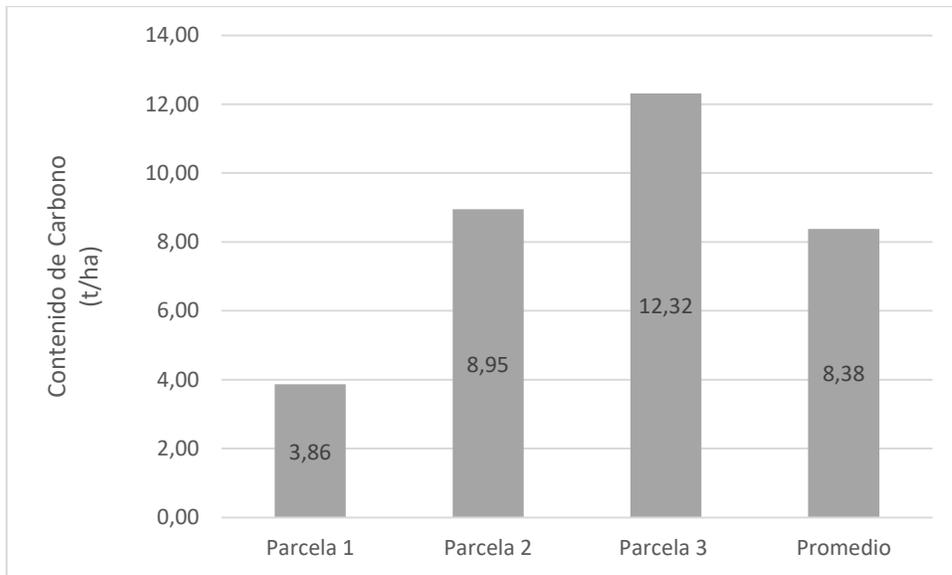


Figura 16. Cantidad de carbono almacenado en la madera caída por cada parcela muestreada en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes.

7. DISCUSIÓN

7.1. Carbono total almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque piemontano del cantón Zamora.

El carbono almacenado en el área muestreada del bosque piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe presenta un total de 179,51 t/ha, encontrándose dentro del rango de acumulación de carbono que reporta la Evaluación Nacional Forestal del Ecuador para los bosques húmedos, andino montano, ceja andina, y tierras bajas de la Amazonía, con valores entre 60 y 200 t/ha sugerido por el IPCC para bosque húmedo tropical lluvioso” (MAE y FAO, 2014).

En este sentido, el Ministerio del Ambiente en el Proyecto Evaluación Nacional Forestal del Ecuador (ENF), 2009 - 2013, presenta de manera general los porcentajes de carbono acumulado en nueve estratos muestreados a través de inventario nacional forestal, donde hace referencia que el 84,6 % pertenece a la biomasa viva el cual incluye: biomasa (DAP mayor a 10 cm), sotobosque (DAP menor a 10 cm) y raíces vivas; y, el 15,4 % que representa a la biomasa muerta (hojarasca, madera sobre el piso, biomasa muerta en pie y raíces muertas) (MAE, 2018).

Al comparar estos reportes con los resultados obtenidos en la presente investigación se evidencia que existe una considerable similitud ya que, se registró un 89 % de carbono acumulado en la biomasa viva, correspondiente al estrato arbóreo (Individuos con DAP mayor a 10 cm) y biomasa de raíces. Por otra parte, la biomasa muerta representa el 11 %, en esta categoría se incluyó información de la madera muerta en pie, madera muerta caída y hojarasca. Con estos resultados se corrobora que la biomasa del estrato arbóreo es el componente más importante de almacenamiento de carbono en los ecosistemas boscosos.

7.2. Carbono almacenado en la biomasa del estrato arbóreo

Como ya se ha mencionado anteriormente, el componente arbóreo es el más importante en la estimación de almacenamiento de carbono en bosques, variando de acuerdo al sitio y tipo de ecosistema boscoso (Ulate, 2011). Un estudio realizado en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor - Kutukú, parroquia Timbara, provincia de Zamora Chinchipe, estimó 135,16 t/ha de carbono almacenado en el estrato arbóreo compuesto por palmas y árboles (Alvarado, 2022), concordando este valor con el resultado del presente estudio, pues se estimó 138,01 t/ha de carbono almacenado netamente en la biomasa aérea. Por otra parte, los resultados de esta investigación difieren con lo obtenido por Correa (2015) y Jadán (2017), quienes reportaron 136,46 t/ha y 99,7 t/ha de carbono acumulado respectivamente en los bosques piemontanos de la

provincia de Zamora Chinchipe. Estas variaciones en el contenido de carbono, están relacionadas con las condiciones de micro hábitats existentes en cada ecosistema, el estado de conservación y el grado de intervención de los bosques estudiados (Ulate, 2021; García et al., 2021)

La Evaluación Nacional Forestal menciona que, en un bosque siempre-verde de tierras bajas de la Amazonía, el estrato arbóreo captura un valor promedio de 108,13 t/ha (MAE y FAO, 2014); al contrastar los resultados del componente aéreo total (Biomasa aérea + raíces), este estudio reportó un valor estimado alto de 160,17 t/ha, en comparación con otras investigaciones como la de Jumbo et al. (2017), que determinó un total de carbono almacenado de 41 t/ha en un área de bosque siempreverde natural montano bajo del sur de la cordillera oriental de los Andes del cantón Limón Indanza, de la provincia Morona Santiago, el cual ha sido intervenido y se encuentra en proceso de recuperación, ya que el 76 % del total de individuos se encuentra en la clase diamétrica de 10 a 20 cm de DAP.

7.2.1. Carbono almacenado por clase diamétrica

La clase diamétrica de 10 a 29,99 cm de DAP obtuvo mayor cantidad de carbono almacenado debido a la presencia de un mayor número de árboles jóvenes que se encuentran en proceso de recuperación de la población. No obstante, la clase diamétrica mayor a 60 cm de DAP representada por 8 individuos, fue el segundo grupo que captura gran cantidad de carbono. Estos datos sugieren que la estructura del bosque fue modificada posiblemente por la tala selectiva de árboles grandes. También se ha podido evidenciar que este tipo de bosque presenta perturbaciones naturales tales como la caída de árboles con mucha frecuencia, esto debido al sustrato y las pendientes sobre las que este tipo de bosque se desarrolla. Los resultados de esta investigación difieren con Alvarado (2022), ya que en su estudio realizado en un bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor - Kutukú, menciona que las clases diamétricas con mayor acumulación de carbono corresponden a los individuos de 40 - 49,99 cm de DAP que representan el 25,22 % del total del carbono almacenado, seguida por los individuos de 50 - 59,99 cm de DAP con un 22,15 %. Esta diferencia probablemente se debe a distintos factores, como la longevidad del bosque, el grado de incidencia de factores abióticos como viento, pendiente y humedad.

También es importante mencionar la tala selectiva como un factor que incide en la estructura del bosque, Pinazo y Gasparri (2003), mencionan en su estudio que la tala selectiva origina claros al igual que cuando se produce una caída natural de árboles maduros, sin embargo,

los daños ocurridos afectan principalmente al remanente arbóreo y regeneración natural, de manera que las características estructurales de los bosques remanentes son el resultado de la intervención.

Por otro lado, es fundamental mencionar la importancia de los árboles longevos, ya que contribuyen con el almacén de grandes cantidades de carbono (Köhl y Lotfiomran, 2017). En el presente estudio la clase diamétrica de individuos con DAP mayor a 60 cm, reportó el segundo valor más alto de contenido de carbono, pese a contar con 8 individuos, lo cual ratifica la importancia de conservar árboles maduros. Además, generan varios microambientes con altos niveles de nutrientes y juegan un papel vital en los regímenes hidrológicos locales (Lindenmayer et al., 2012). Vázquez y Shalisko (2013), mencionan que los bosques viejos se consideran sistemas equitativos en cuanto a la captura de carbono, ya que la fotosíntesis está ligada directamente a la respiración. Sin embargo, cabe recalcar que la capacidad que tienen los bosques de capturar carbono no declina con el envejecimiento de los ecosistemas forestales, generalmente en mayor número, los bosques mantienen la productividad neta de los ecosistemas positiva por años.

7.2.2. Carbono almacenado por familias botánicas

En un estudio realizado en un bosque siempreverde piemontano de la zona alta de la microcuenca del río Puyo se estimó la biomasa aérea acumulada por familias botánicas, dentro de las cuales las familias con mayor índice de valor de importancia fueron: Moraceae, Arecaceae y Euphorbiaceae por su potencial en lo que se refiere a estructura y carbono (García et al., 2021). Al comparar con los resultados de este estudio estas familias también fueron registradas, sin embargo, las familias Moraceae, Fabaceae y Lauraceae fueron aquellas con mayor contribución de carbono almacenado. Cabe mencionar que estas familias poseen especies que se caracterizan por tener maderas densas, característica que contribuye positivamente en la captura de carbono, ya que se utilizan variables cuantitativas como: altura, diámetro y densidad de la madera (Ordoñez et al., 2015).

7.2.3. Carbono almacenado por especies botánicas

En cuanto a las especies que más contribuyen con el almacenamiento de carbono en el bosque piemontano oriental, un estudio realizado en la provincia de Zamora Chinchipe menciona las siguientes especies que almacenan mayor cantidad de carbono: *Dacryodes peruviana*, *Phyllanthus sp.*, *Cedrelinga cateniformes*, *Guarea kunthina* y *Endlicheria sericea* (Jadán et al., 2017). Otro estudio, también realizado en los bosques de la provincia de Zamora Chinchipe muestran las especies que contribuyen con mayor almacén de carbono son: *Clarisia racemosa*,

Eleagia sp, *Grias peruviana*, *Inga acreaca* e *Inga edulis* (Correa, 2015). Alvarado (2022), en su estudio menciona cinco especies que contribuyen con mayor aporte de biomasa: *Aniba muca*, *Wettinia maynensis*, *Jacaranda copaia*, *Vochysia sp.*, y *Ladenbergia oblongifolia*. Al comparar con los resultados obtenidos en el presente estudio, muchas de las especies antes mencionadas también se encuentran en la composición florística del bosque piemontano. Sin embargo, las especies que sobresalieron con mayor cantidad de carbono almacenado están: *Vismia tomentosa*, *Ficus cervantesiana*, *Tachigali inconspicua*, *Hieronyma alchorneoides* y *Swartzia macrosema*. Esta diferencia puede deberse a varios factores, uno de ellos posiblemente sea la alteración antrópica que ha sufrido el bosque, ya que existen reportes de tala selectiva hace más de 20 años, extrayéndose, principalmente árboles de gran valor comercial como *Clarisia racemosa*, y *Cedrelinga cateniformes*, que son especies características del bosque piemontano. Por otra parte, las especies preponderantes de este tipo de bosque son especies de maderas duras, lo cual sumado a que son las más dominantes en área basal, contribuye a que sean las más representativas en almacenamiento de carbono.

7.2.4. Carbono almacenado en la biomasa radicular

La biomasa de las raíces es otro componente que se consideró para la evaluación del carbono que almacena el área de estudio, se estimó un promedio de 22,16 t/ha representadas en un 12 % del total del carbono almacenado. A diferencia de otro estudio similar realizado en un bosque piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe, reporta que las raíces capturan el 17,97 % del total de carbono almacenado (Correa, 2015). Por otro lado, la Evaluación Nacional Forestal (MAE, 2018), menciona en su informe que las raíces vivas almacenan el 15,8 % del total del carbono capturado. Con lo anteriormente expuesto, los resultados de esta investigación no difieren en gran proporción con lo reportado en otros estudios, aunque las diferencias pueden deberse principalmente a condiciones propias de cada sitio de estudio, en lo referente a condiciones edáficas. Sin dejar de lado las propiedades físicas del suelo tales como la textura, densidad y compactación a lo largo del perfil, ya que influyen en la variación de la biomasa radical, esto se puede analizar a fondo utilizando el método destructivo (Jiménez y Arias, 2004).

7.3. Carbono almacenado en la necromasa del suelo

El 11 % del total de carbono capturado por el bosque en estudio, pertenece a la biomasa muerta, que como tal fue categorizada en tres componentes (hojarasca, madera muerta en pie y madera muerta caída).

De acuerdo a lo obtenido por el MAE y FAO (2014), la madera muerta en pie estimada fue de 3,79 t/ha, lo cual difiere con el resultado de este estudio (6,82 t/ha), esto debido principalmente a la fuerte acción de perturbaciones naturales (vientos y lluvias intensas) registradas en la zona, las cuales producen el derribamiento de árboles que al caer dañan a otros árboles, los cuales mueren por el daño causado tanto en las copas como en los fustes.

En cuanto a la madera caída sobre el suelo se estimó 8,38 t/ha, a diferencia de otro estudio realizado en un bosque siempreverde montano bajo de Zamora Chinchipe que presentó 0,12 t/ha, cabe mencionar que para este componente se aplicó el muestreo por intersección de líneas con una longitud de 30 m es por ello que el resultado registra bajas cantidades de carbono almacenado y aporta muy poco, sin embargo, en este aspecto influye el estado del bosque que en este caso es un bosque maduro y también el bajo muestreo ya que es poco lo que se inventario en este componente, se registró un total de 10 datos de maderas caídas cuatro para la parcela quebrada El Padmi y seis para la Meseta Rocosa. De estas maderas 5 se registran en proceso avanzado de descomposición y las restantes son material descompuesto cuya madera se rompía con facilidad (Correa, 2015). Es importante mencionar que, de acuerdo con comentarios de los pobladores del área del Valle del río Jamboe, donde se localiza la reserva privada de NCI, el área de estudio muestreada fue explotada selectivamente hace más de 20 años, por ende, las diferencias que se muestran en los resultados, mientras que la otra área de estudio es considerada un bosque maduro en buen estado de conservación.

El presente estudio reportó 4,13 t/ha de carbono almacenado en el componente hojarasca. Este valor difiere con los resultados mencionados por Jadán et al. (2017) y MAE y FAO (2014), quienes registraron 3,2 t/ha y 3,07 t/ha de carbono acumulado respectivamente en la hojarasca de los bosques siempreverdes de la provincia de Zamora Chinchipe. Cabe mencionar que estas variaciones se deben principalmente a que la defoliación y factores ambientales tales como: viento, humedad, precipitación influyen en el almacenaje de hojarasca en el suelo (Serrato y López, 1998), también hay que considerar que la tasa de descomposición de hojarasca en bosques tropicales se ve afectada por alteraciones en el microclima como la humedad y la temperatura tanto del ambiente como del suelo (Barriga, 2000). Por otra parte, Doll et al. (2008) señala que la distribución de la hojarasca se ve alterada por la pendiente, debido a que los troncos de los árboles juegan el papel de barrera que acumulan el material orgánico, frenando el arrastre que provoca tanto la escorrentía como el viento.

8. Conclusiones

- El área de bosque piemontano de la provincia de Zamora Chinchipe estudiado captura un promedio de 179,51 t/ha de carbono, resultado que ratifica la importancia que tienen los bosques amazónicos como proveedores de diferentes servicios ecosistémicos, entre ellos la captura de carbono.
- Las familias que destacan con mayores valores de carbono capturado son Moraceae, Fabaceae y Lauraceae (22,08 t/ha; 15,72 t/ha; 14,99 t/ha) y las especies que registran altos valores de carbono capturado son *Vismia tomentosa* Ruiz & Pav. (8,09 t/ha), *Ficus cervantensiana* Standl. & L. O. Williams (6,87 t/ha) y *Tachigali inconspicua* van der Werff (5,93 t/ha).
- El área muestreada se describe como un bosque con evidente alteración en su estructura ya que las clases diamétricas que más sobresalieron en el presente estudio fueron de 20 a 29,99 cm de DAP y 30 a 39,99 cm de DAP.
- La necromasa representa el 11 % del total de carbono almacenado del bosque piemontano, destacándose la madera muerta caída y la madera muerta en pie (8,38 y 6,82 t/ha). La hojarasca es el componente de necromasa con menor almacenamiento de carbono (4,13 t/ha). Estos resultados evidencian la existencia de perturbaciones tanto antrópicas (tala selectiva) y naturales (fuertes precipitaciones).

9. Recomendaciones

- Realizar estudios de cuantificación de carbono desarrollando ecuaciones alométricas con datos de árboles del sitio, para que las estimaciones sean más confiables.
- Se sugiere realizar un estudio del valor económico que registra el bosque por almacenar el carbono, para dar a conocer los resultados obtenidos a la población del sector con la finalidad de concientizar a las personas de la importancia que tienen los bosques ante el cambio climático.
- Instalar el mayor número de parcelas posibles, ya que los resultados serán más puntuales y confiables. Al igual en la identificación de las especies es importante coleccionar las muestras botánicas para precisar los valores de las densidades.
- Tomar en cuenta la temporada invernal en el muestreo de la necromasa ya que las gotas de lluvia pueden provocar alteraciones en la relación peso húmedo – peso seco. También es importante utilizar balanzas que precisen mínimo 3 decimales para que los resultados sean más exactos.

10. bibliografía

- Alvarado, B. (2022). *Diversidad florística y estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor – Kutukú, parroquia Timbara, provincia de Zamora Chinchipe*. [Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja], Loja, Ecuador.
- Barriga, P. (2000). *Comparación de las tasas de descomposición de hojarasca y de los grupos funcionales de microorganismos involucrados, entre áreas continuas y fragmentadas de bosque húmedo montano bajo al occidente de la sabana de Bogotá*. Cundinamarca - Colombia.
- Benavides, H., y León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología. Bogotá - Colombia.
- Burbano, H. (2018). *El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático*. Revista de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Colombia. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Cabrera, M., Segura, E., Sinche, F., Maldonado, L., y Tierras, J. (2019). *Estructura y estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas: Caso Parque Ecológico Recreacional Lago Agrio, Sucumbíos*. Revista Ciencia y Tecnología, 12(2), 93-101. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7563006>
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., y Calderón, E. (2017). *Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador*. In *Neotropical Biodiversity*, Vol. 3, Issue 1, 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., y Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1), 1–11.
- Canaza, F. (2019). De la educación ambiental al desarrollo sostenible: Desafíos y Tensiones en los tiempos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, 165, 155–172. <https://doi.org/10.15517/rcs.v0i165.40070>
- Chambers, J., Higuchi, N., Schimel, J., Ferreira, L., y Melack, J. (2000). *Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon*. *Oecologia*, 122, 380–388.

https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/1265/Chambers_BDFFP_2000.pdf?sequence=1

- Chave, J., Réjou, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez, A., Mugasha, W., Muller, H., Mencuccini, M., Nelson, B., Ngomanda, A., Nogueira, E., Ortiz, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C., Saldarriaga, J., y 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>
- Correa, J. (2015). *Almacenamiento de carbono en bosques naturales en la microcuenca El Padmi, provincia de Zamora Chinchipe*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12207/1/TESIS JEFERSON CORREA.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12207/1/TESIS_JEFERSON_CORREA.pdf)
- Doll, U., Vallejos, O., Bilbao, N., y Jara, C. (2008). *Estimación preliminar de la retención de carbono en raíces finas y mantillo de un renoval de Nothofagus glauca de la precordillera andina de la Región de Maule, Chile*. Departamento de Producción Forestal. Universidad de Talca.
- Eguiguren, P., Ojeda, T., Lozano, P., y Günter, S. (2020). *Contenidos de carbono en paisajes de la Amazonía Central y el Noroccidente del Ecuador*. En: *Deforestación En Paisajes Forestales Tropicales Del Ecuador. Bases Científicas Para Perspectivas Políticas*. Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Eguiguren, P., Fischer, R., y Günter, S. (2019). 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>
- FAO (2015). *Status of the World's Soil Resources*. In Intergovernmental Technical Panel on Soils. <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>
- Fernández, M. (2017). *Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales*. Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16394?mode=full>
- Fonseca, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 91–109.

- GADPZCH. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015 - 2019*. Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe. <http://zamora-chinchipe.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/PDOT-ZAMORA-CHINCHIPE-2014-2019-m.pdf>
- GADZAMORA. (2020). *Mapa de los cantones de Zamora Chinchipe*. Portal web del Municipio de Zamora. <https://www.zamora.gob.ec/zamora/mapa/>
- García, Y., Arteaga, Y., Torres, B., Bravo, C., y Robles, M. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*, 24(1), 45–59. <https://doi.org/10.14483/2256201X.15939>
- Goodman, R., Phillips, O., Del Castillo Torres, D., Freitas, L., Cortese, S., Monteagudo, A., y Baker, T. (2013). Amazon palm biomass and allometry. *Forest Ecology and Management*, 310, 994–1004. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.045>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2001). Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Weather*, 57(8), 267-269.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio Climático 2014*. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto de reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2020). *El cambio climático y la tierra*. Informe especial del IPCC sobre cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2006). *Tierras Forestales*. Directrices Del IPCC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, 1–93.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2005). *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. In Director (Vol. 17, Issue 4). https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf
- Herguedas, A., Taranco, C., Rodríguez, E., y Paniagua, P. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Transbioma (Centro Tec, Vol. 13).
- Jadán, O., Quizhpe, W., Pacheco, E., González, M., Ponce, E., Aguirre, Z., y Peña, D. (2017). Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(1), 1–16.
- Jiménez, A. (2021). La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *Recimundo*, 5(3), 316–323.
- Jiménez, C., y Arias, D. (2004). Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamerica Kurú*, 1(2), 44-63.
- Jumbo, C., Arévalo, C., y Ramirez, L. (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>
- Köhl, M., Neupane, P., y Lotfiomran, N. (2017). The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. *PLoS ONE*, 12(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181187>
- Leyva, T., de León, F., Etchevers J., Cortés, M., Santiago, W., Mendoza, A., y Fuentes, M. (2021). Carbon storage in forests with community forest management. *Madera y Bosques*, 27(4), 1–18.
- Lindenmayer, D., Laurance, W., y Franklin, J. (2012). Ecology: Global decline in large old trees. *Science*, 338(6112), 1305–1306. <https://doi.org/10.1126/science.1231070>
- López, A., Calles, J., Espíndola, V., y Ulloa, J. (2013). *Amazonía Ecuatoriana: bajo presión*. EcoCiencia.

- López, R. (2017). *Valoración De Carbono En La Necromasa Y Suelo Del Bosque Protector Aguarongo, Provincia Del Azuay, Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca].
- MAE. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012 -2025*. Quito – Ecuador.
- MAE. (2013). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural.
- MAE y FAO (2014). *Resultados de la Evaluación Nacional Forestal. Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático (MFSCC)*. Quito – Ecuador.
- MAE. (2018). *Estadísticas del patrimonio natural del Ecuador continental*. Ministerio del Ambiente. Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents, 22.
- Martín, B. (2011). *Los sistemas socio-ecológicos: entendiendo las relaciones entre la biodiversidad y el bienestar humano. Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. Biodiversidad En España. Base de la sostenibilidad ante el Cambio Global*, 26.
- Ojea, L., y Armenestre, P. (2018). Así nos afecta el cambio climático. *Greenpeace*, 3(1), 28–31. <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/GP-cambio-climatico-LR.pdf>
- Ordoñez, J., Naranjo, A., Venegas, N., Tejeda, T., Ordóñez, M., y Dávalos, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de j. rzedowski: Compilación. *Madera y Bosques*, 21, 77–126. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210428>
- Pearson, T., Walker, S., y Brown, S. (2005). *Sourcebook for Land use, Land-use change and forestry projects*. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank 57 (2005), 21(3), 64.
- Perea, M., Andrade, H., y Segura, M. (2021). Estimación de Biomasa Aérea y Carbono con Teledetección en Bosques Alto-Andinos de Boyacá, Colombia. Estudio de caso: Santuario de Fauna y Flora Iguaque. *Revista Cartográfica*, 102, 91–123. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.821>
- Petkova, E., Larson, A., y Pacheco, P. (2011). *Gobernanza forestal y REDD+: Desafíos para las políticas y mercados en América Latina*. Cifor.

- Pinazo, M., y Gasparri, N. (2003). *Cambios estructurales causados por el aprovechamiento selectivo en el Bosque Montano del norte de Salta, Argentina*. Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Universidad Nacional de Tucumán.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). *Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020*. 1–16.
- Rivas, C. (2013). *Captura y almacenamiento del carbono*. Ecologistas en Acción. <https://www.ecologistasenaccion.org/22923/captura-y-almacenamiento-del-carbono/>
- Rojas, F., Santoyo, G., González, E., Velázquez, A., y Ponce, J. (2017). *La Ciencia del Suelo en el ciclo del carbono de México*. Elementos Para Políticas Públicas, 1, número(C), 69–96.
- Ron, S. (2020). *Regiones naturales Ecuador*. Bioweb, Anfibios del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/RegionesNaturales>
- Russo, R. (2009). *Guía Práctica de Medición de Carbono en la Biomasa Forestal*. 1–17.
- Sarango, F., y Tenempaguay, W. (2020). *Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea, Necrosama (Hojarasca) y suelo en un bosque de pino en la comuna Paquizhapa (Provincia de Loja)*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19153/1/UPS-CT008822.pdf>
- Serrato, B., Romero, F., y López, A. (1998). Producción de hojarasca en especies de matorral mediterráneo y su relación con algunos factores ambientales. *Nimbus*, 5–16.
- Sierra, R., Calva, O., y Guevara, A. (2021). *La deforestación en el Ecuador, 1990-2018*. Factores promotores y tendencias recientes. Quito, Ecuador, 216.
- Ulate, C (2011). *Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica*. [Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Cartago, Costa Rica.
- Vázquez, J., y Shalisko, V. (2013). *Captura de carbono en comunidades forestales de San Andrés, Talpa de Allende*. Jalisco – México.
- Vaglio, C. (2018). *El ciclo biológico del carbono*. Seminario de Química Marina, 5, 47–58.
- Zaninovich, S. (2017). *Dinámica y almacenamiento del carbono en la necromasa y el suelo de ecosistemas forestales: efecto de la degradación del bosque nativo y su reemplazo por plantaciones de Pinus taeda L. en el NE de Argentina*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Nordeste], Argentina.

11. Anexos

Anexo 1. Fotografías pertenecientes a la metodología del objetivo 1.



Elaboración de placas metálicas



Instalación de parcelas de muestreo



Medición de diámetros de individuos arbóreos



Identificación de especies en campo



Toma de datos y plaqueo de individuos

Anexo 2. Carbono almacenado por especie en el estrato arbóreo del bosque siempreverde piemontano de las Cordillera Oriental de los Andes.

Especies	Densidad de madera	Carbono fijado t/ha
<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip	0,585	0,57
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp.	0,373	4,20
<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	0,490	1,48
<i>Aniba riparia</i> (Nees) Mez.	0,570	0,50
<i>Aparisthium cordatum</i> (A.Juss.) Baill.	0,390	0,56
<i>Aspidosperma</i> sp.	0,739	0,36
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth.	0,426	0,08
<i>Banara nitida</i> Spruce ex Benth.	0,601	1,11
<i>Batocarpus orinocensis</i> H.Karst.	0,533	2,95
<i>Brosimum utile</i> (Kunth) Oken.	0,510	1,30
<i>Bunchosia argentea</i> (Jacq.) DC.	0,650	0,19
<i>Cabrlea canjerana</i> (Vell.) Mart.	0,478	0,62
<i>Calliandra trinervia</i> Benth.	0,820	0,23
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	0,569	0,34
<i>Caryodendron orinocense</i> H.Karst.	0,620	0,28
<i>Casearia</i> sp.	0,664	1,03
<i>Chimarrhis</i> sp.	0,711	0,18
<i>Chrysochlamys membranacea</i> Planch. & Triana	0,430	0,12
<i>Chrysochlamys</i> sp.	0,430	0,03
<i>Clarisia biflora</i> Ruiz & Pav.	0,475	0,08
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	0,585	2,38
<i>Coccoloba mollis</i> Casar.	0,461	0,05
<i>Componeura</i> sp.	0,499	0,39
<i>Coussapoa villosa</i> Poepp. & Endl.	0,461	3,18
<i>Coussarea albescens</i> (DC.) Müll. Arg.	0,610	0,43

<i>Coussarea paniculata</i> (Vahl) Standl.	0,610	2,89
<i>Cryptocarya</i> sp.	0,598	1,27
<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) J.F. Macbr.	0,530	1,89
<i>Damburneya purpurea</i> (Ruiz & Pav.) Trofimov.	0,598	0,90
<i>Dendropanax caloneurus</i> (Harms) Merr.	0,423	2,04
<i>Elaeagia karstenii</i> Standl.	0,637	0,70
<i>Elaeagia utile</i>	0,637	0,08
<i>Endlicheria griseosericea</i> Chanderb.	0,496	1,65
<i>Endlicheria sericea</i> Nees.	0,470	0,04
<i>Endlicheria</i> sp.	0,496	0,77
<i>Eugenia cf. feijoi</i> O. Berg.	0,789	0,29
<i>Eugenia florida</i> DC.	0,587	0,41
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	0,407	0,28
<i>Faramea candelabrum</i> Standl.	0,637	0,52
<i>Faramea guianensis</i> (Aubl.) Bremek.	0,637	0,07
<i>Ferdinandusa chlorantha</i> Standl.	0,725	1,68
<i>Ficus cervantesiana</i> Standl. & L. O. Williams.	0,394	6,87
<i>Ficus paraensis</i> (Miq.) Miq.	0,394	1,05
<i>Ficus tonduzii</i> Standl.	0,394	0,04
<i>Ficus trapezicola</i> Dugand	0,394	0,02
<i>Ficus trigona</i> L. f.	0,390	3,28
<i>Garcinia macrophylla</i> Mart.	0,670	3,59
<i>Garcinia</i> sp.	0,654	0,30
<i>Genipa</i> sp.	0,622	0,27
<i>Graffenrieda cucullata</i> (Triana) L. O. Williams.	0,686	0,64
<i>Grias peruviana</i> Miers	0,620	0,69
<i>Guarea glabra</i> Vahl.	0,592	0,37
<i>Guarea grandifolia</i> DC.	0,606	0,13

<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	0,575	3,69
<i>Guarea</i> sp.	0,834	0,19
<i>Guatteria blepharophylla</i> Mart.	0,540	0,44
<i>Guatteria glauca</i> Ruiz & Pav.	0,540	0,15
<i>Guatteria pastazae</i> R.E. Fr.	0,540	0,36
<i>Guettarda crispiflora</i> Vahl	0,707	0,55
<i>Hedyosmum</i> cf. <i>goudotianum</i> Solms.	0,450	0,03
<i>Hedyosmum sprucei</i> Solms.	0,450	0,03
<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby.	0,627	0,81
<i>Hieronyma alchorneoides</i> L.	0,648	4,91
<i>Hieronyma asperifolia</i> Pax & K. Hoffm.	0,645	0,78
<i>Ilex</i> sp.	0,528	0,52
<i>Inga acreana</i> Harms.	0,576	1,24
<i>Inga punctata</i> Willd.	0,560	0,78
<i>Inga</i> sp1	0,576	0,12
<i>Inga</i> sp2	0,576	1,01
<i>Inga stipularis</i> DC.	0,530	0,12
<i>Ladenbergia asperifolia</i> Pax. & K. Hoffm.	0,490	0,03
<i>Ladenbergia</i> cf. <i>acutifolia</i>	0,490	2,60
<i>Ladenbergia oblongifolia</i> (Mutis) L. Andersson	0,490	3,73
<i>Lacistema nena</i> J.F.Macbr.	0,513	0,09
<i>Leonia crassa</i> L. B. Sm. & A. Fernández.	0,650	0,28
<i>Licaria</i> sp.	0,815	1,56
<i>Mabea elata</i> Steyerem.	0,616	0,16
<i>Machaerium</i> sp.	0,591	1,00
<i>Miconia</i> cf. <i>calvescens</i> DC.	0,420	2,98
<i>Miconia dodecandra</i> Cogn.	0,686	1,40
<i>Miconia punctate</i> (Desr.) D. Don ex DC.	0,686	0,10

<i>Miconia sp1</i>	0,686	0,30
<i>Miconia sp2</i>	0,686	0,20
<i>Miconia sp3</i>	0,686	0,46
<i>Miconia sp4</i>	0,686	0,03
<i>Micropholis guyanensis</i> (A.DC.) Pierre.	0,657	1,07
<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre.	0,670	2,78
<i>Mollinedia latifolia</i> (Poepp. & Endl.) Tul.	0,665	0,03
<i>Mollinedia ovata</i> Ruíz & Pav.	0,665	0,03
<i>Myrcia sp.</i>	0,801	2,96
<i>Nectandra cf. reticulata</i> (Ruíz & Pav.) Mez.	0,590	2,10
<i>Nectandra lineatifolia</i> (Ruíz & Pav.) Mez.	0,538	1,62
<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.	0,538	0,41
<i>Neea divaricata</i> Poepp. & Endl.	0,490	0,11
<i>Ocotea bofo</i> Kunth	0,501	3,46
<i>Otoba glycyarpa</i> (Ducke) W.A.Rodrigues & T.S.Jaram.	0,413	0,41
<i>Otoba parvifolia</i> (Mgf.) M.Gently.	0,426	3,44
<i>Palicourea cf. quizhpei</i> C.M. Taylor.	0,547	0,68
<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	0,540	0,05
<i>Perebea angustifolia</i> (Poepp. & Endl.) C. C. Berg	0,517	0,11
<i>Persea rigens</i> C. K. Allen.	0,444	0,71
<i>Pourouma cecropiifolia</i> Mart.	0,356	1,04
<i>Pourouma minor</i> Benoist.	0,445	0,07
<i>Pouteria sp.</i>	0,783	0,10
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	0,769	0,79
<i>Prunus sp.</i>	0,741	0,19
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) J.F.Macbr.	0,618	2,20
<i>Ryania cf. speciosa</i> M.Vahl.	0,617	1,56
<i>Sapium sp.</i>	0,421	1,20

<i>Siparuna aspera</i> (R. & P.) A. DC.	0,656	0,03
<i>Sloanea sp.</i>	0,806	0,11
<i>Swartzia macrosema</i> Harms.	0,834	4,73
<i>Swietenia sp.</i>	0,517	0,07
<i>Tachigali inconspicua</i> van der Werff.	0,560	5,93
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	0,457	0,28
<i>Tetrorchidium macrophyllum</i> Müll. Arg.	0,552	0,06
<i>Tovomita weddelliana</i> Planch. & Triana	0,679	0,34
<i>Trichilia guianensis</i> Klotzsch ex C. DC.	0,635	0,09
<i>Verbesina sp.</i>	0,505	0,28
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	0,455	0,49
<i>Vismia tomentosa</i> Ruiz & Pav.	0,470	8,09
<i>Vochysia sp.</i>	0,457	0,14
<i>Wettinia maynensis</i> Spruce.	0,426	2,86
<i>Zanthoxylum reidelionum</i> Engl.	0,601	0,53
DESCONOCIDAS	0,500	0,84

Anexo 3. Certificado de traducción

Loja, 17 de febrero de 2023

Lorena Patricia Sinche Salinas con número de cédula 1104990450, Magíster en Enseñanza del idioma inglés como Lengua Extranjera, con registro de la SENESCYT número 1021-2021-2363754.

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción textual correspondiente al resumen del trabajo de titulación: **“Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea y necromasa de un bosque piemontano del cantón Zamora, provincia de Zamora - Chinchipe – Ecuador”** de autoría de **Cristina Jackeline Arias Godoy** con número de Cédula, **1106087297**.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, facultando al portador el presente documento para el trámite correspondiente.



Mgtr. Lorena Patricia Sinche Salinas

Cédula: 1104990450

E-mail: lory.sinche@gmail.com