UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Cuantificación de Carbono Orgánico en dos ecosistemas tropicales del Bosque Protector Casacay, provincia de El Oro

ESPINOZA MONTEALEGRE JOSE DANIEL
INGENIERO AMBIENTAL

PALACIOS ALVARADO JEAN ANDRES
INGENIERO AMBIENTAL

MACHALA
2024

UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Cuantificación de Carbono Orgánico en dos ecosistemas tropicales del Bosque Protector Casacay, provincia de El Oro

ESPINOZA MONTEALEGRE JOSE DANIEL
INGENIERO AMBIENTAL

PALACIOS ALVARADO JEAN ANDRES
INGENIERO AMBIENTAL

MACHALA
2024

UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Cuantificación de Carbono Orgánico en dos ecosistemas tropicales del Bosque Protector Casacay, provincia de El Oro

ESPINOZA MONTEALEGRE JOSE DANIEL
INGENIERO AMBIENTAL

PALACIOS ALVARADO JEAN ANDRES
INGENIERO AMBIENTAL

MAZA MAZA JAIME ENRIQUE

MACHALA
2024

CUANTIFICACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN DOS ECOSISTEMAS TROPICALES DEL BOSQUE PROTECTOR CASACAY, PROVINCIA DE EL ORO

por Jean Andres Palacios Alvarado

Fecha de entrega: 05-ago-2024 06:35p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2427882340
Nombre del archivo: les_del_Bosque_Protector_Casacay,_provincia_de_El_Oro_v2_1.docx (3.29M)
Total de palabras: 15877
Total de caracteres: 82228

CUANTIFICACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN DOS ECOSISTEMAS TROPICALES DEL BOSQUE PROTECTOR CASACAY, PROVINCIA DE EL ORO

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	%	4%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	"Inventarios Forestales Nacionales de América Latina y el Caribe", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021 Publicación	<1%
2	ECOPLANEACION CIVIL S.A ING.CONSULT.CONS. "EIA-SD de la Línea de Transmisión en 50 kV, S.E. Francoise-S.E. Animón-IGA0012063", R.D. Nº 028-2013-GRP/GRDE/DREM, 2020 Publicación	<1%
3	STANTEC PERU S.A.. "DIA del Proyecto Línea de Transmisión Eléctrica Santa Teresa - Suriray 220 kV-IGA0006394", R.D. N° 101-2014-MEM/DGAAE, 2020 Publicación	<1%
4	"Estimaciones de contenidos de carbono y diversidad funcional en viñas bajo manejo orgánico de Chile Central", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 202 Publicación	<1%

5	Giovani Cuesta-Mero, Ricardo Castillo-Ruperti, Jean Carlos Zevallos. "ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE LA AVIFAUNA MIGRATORIA BOREAL EN LA PLAYA DE TARQUI, MANTA, ECUADOR", REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA ARBITRADA "YACHASUN", 2018 Publicación	<1%
6	Fanor Mondragón. "Ciclos del dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático", Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2021 Publicación	<1%
7	J. CESAR INGENIEROS & CONSULTORES S.A.C. "MEIA Las Dunas que Incluye la Actualización y/o Modificación del EIA de las Concesiones Las Dunas y Dunas N°2; así como, la Integración de la Estrategia de Manejo Ambiental de Las Dunas, Dunas N°2 y Dunas 3 Segunda y los Propuestos en la MEIA Las Dunas-IGA0007017", R.D. N°319-2018-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI , 2020 Publicación	<1%
8	Theofilos Toulkeridis, Elizabeth Tamayo, Débora Simón-Baile, María J. Merizalde-Mora et al. "Climate Change according to	<1%

Ecuadorian academics-Perceptions versus facts", La Granja, 2020
Publicación

---

9 Sepúlveda N., Vågen T-G., Winowieck L.A., Ordoñez J., Chiputwa B., Makui P., Somarriba E., López-Sampson A.. "Resultados de los estudios biofísicos y socioeconómicos en el Paisaje Centinela Nicaragua - Honduras", Center for International Forestry Research (CIFOR) and World Agroforestry Centre (ICRAF), 2020
Publicación

<1%

---

10 Adalberto Solís Hernández, Juan Abel Nájera Luna, Jorge Méndez González, Benedicto Vargas Larreta et al. "Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango", Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2014
Publicación

<1%

---

11 "Report of the Twelfth Session of the Sub-Committee on Aquaculture, Hermosillo, Mexico, 16-19 May 2023/Rapport de la douzième session du sous-Comité de l'Aquaculture, Hermosillo, Mexique, 16-19 mai 2023/Informe de la 12.ª reunión del subcomité de Acuicultura, Hermosillo, México, 16-19 de mayo de 2023", Food and

<1%

Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2023
Publicación

---

12 Abby Wallwork, Lindsay F. Banin, Daisy H. Dent, Ute Skiba, Emma Sayer. "Soil carbon storage is related to tree functional composition in naturally regenerating tropical forests", Functional Ecology, 2022
Publicación

<1%

---

13 ERM PERU S.A.. "EIA del Proyecto de Perforación de Pozos Exploratorios, Pozos de Desarrollo y Facilidades de Producción del Lote Z-2B-IGA0000804", R.D. N° 444-2009-MEM/AAE, 2020
Publicación

<1%

---

14 Fabiola Rojas-García, Bernardus H. J. De Jong, Pablo Martínez-Zurimendí, Fernando Paz-Pellat. "Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests", Annals of Forest Science, 2015
Publicación

<1%

---

15 Carlos Urgilés Verdugo, Marion Hiruois, Byron Calero, Gabriel Noboa, Patricio Tunay. "Notas reproductivas sobre varias especies de murciélagos filostómidos (Chiroptera, Phyllostomidae) en Ecuador", Mammalia aequatorialis, 2021
Publicación

<1%

16	Héctor Hugo Regil-García, Sergio Franco-Maass, Angel Rolando Endara-Agramont, Alejandro Fidel Flamenco-Sandoval et al. "Procesos de pérdida y recuperación del contenido de carbono en biomasa aérea en las zonas forestales del área de protección de flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo 2000-2013", Revista Geográfica de América Central, 2019 Publicación	<1%
17	ERM PERU S.A.. "Modificación de la DIA de la Planta Solar Fotovoltaica Repartición 20T-IGA0014188", R.D. N° 0112-2020-MINEM/DGAAE , 2021 Publicación	<1%
18	JASPER MBAE KIRIKA. "Effects of Local Disturbance of Tropical Forests on Frugivores and Seed Removal of a Small-Seeded Afrotropical Tree", Conservation Biology, 1/31/2008 Publicación	<1%
19	O. Martínez, R. Cabeza, L. Paulino, R. Godoy, E. Valenzuela. "Evaluación de las actividades de enzimas del suelo en un bosque de Araucaria-Nothofagus después de un incendio forestal", Agro sur, 2018 Publicación	<1%

20	Revista Temas Agrarios. "Proceedings - 2nd International and 3rd National Symposium in Agronomic Sciences", Temas Agrarios, 2022 Publicación	<1%
21	Ameyali Moreno-Martínez, Gustavo Álvarez-Arteaga, María Estela Orozco-Hernández. "Heterogeneidad ambiental y alteraciones antrópicas en comunidades de manglar en el pacífico sur de México", Revista de Ciencias Ambientales, 2021 Publicación	<1%
22	Luis Martínez-Manchego, Guido Sarmiento-Sarmiento, Edwin Bocardo-Delgado. "Especies vegetales nativas con potencial para la fitorremediación de suelos alto andinos contaminados por residuos de actividad minera", Bioagro, 2021 Publicación	<1%
23	Pamela-Cecilia Alarcón, Maria-Elena Fernández, Gustavo-Pedro-Javier Oberschelp, Pablo Pathauer, Alejandro Martínez-Meier. "Sources of phenotypic variation of wood density and relationships with mean growth in two Eucalyptus species in Argentina", Forest Systems, 2021 Publicación	<1%
24	Verónica Iñiguez-Gallardo, Alexander Guerrero, Leonardo Ordóñez-Delgado.	<1%

"Análisis exploratorio sobre conflictos fauna silvestre-gente en la Reserva Natural Tumbesia La Ceiba, área núcleo de la Reserva de Biosfera Binacional Ecuador-Perú "Bosques de Paz"", Revista Peruana de Biología, 2021
Publicación

---

25 "Sostenibilidad en sistemas de manejo de recursos naturales en países andinos", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2018
Publicación

<1%

---

26 CIFOR. "Estudio Comparativo Global sobre REDD+ (GCS) de CIFOR", Center for International Forestry Research (CIFOR), 2013
Publicación

<1%

---

27 CONSORCIO ORIENTAL CONSULTANTS-CESEL-GEA. "DIA del Proyecto Ampliación y Mejoramiento de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales en los Centros Poblados Urbanos de las Localidades de Pedro Ruiz Gallo, Shipasbamba, San Carlos, Cuispes, Churuja y San Pablo de Valera y los Centros Rurales de Suyubamba, Chosgón, San Gerónimo y Cocachimba, Provincia de Bongará - Amazonas-IGA0000863", R.A. Nº 160-2016-MPB, 2021
Publicación

<1%

28	Carlos Danilo Congo Yépez, Francisco Javier Velástegui Lara, Carlos Estuardo Caicedo Vargas, Luis Fernando Rodríguez Iturralde et al. "Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la amazonia ecuatoriana", La Granja, 2017 Publicación	<1%
29	D.A. Siqueiros-Beltrones. "A View Of The Indices Used To Assess Species Diversjty In Benthic Diatom Associations", Ciencias Marinas, 1990 Publicación	<1%
30	Diego G. Tirira, Freddy Gallo-Viracocha. "Áreas prioritarias para la conservación y vulnerabilidad al cambio climático de Alouatta palliata aequatorialis (Atelidae) y Cebus aequatorialis (Cebidae) en la provincia de Azuay, Ecuador", Mammalia aequatorialis, 2021 Publicación	<1%
31	Fonseca, W.. "Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica", Forest Ecology and Management, 20111015 Publicación	<1%
32	Gloria Elizabeth García-Chamba, Guido Olivier Erazo-Alvarez, Glenda Maricela Ramón Poma. "Liderazgo Transformacional en Chuskuyaku:	<1%

Desafíos y Oportunidades para el Desarrollo Comunitario y Calidad de Vida", Resistances. Journal of the Philosophy of History, 2024
Publicación

---

33 Griselda Benítez, Laura C. Ruelas-Monjardín, Juan Von Thaden, Israel Acosta-Rosado, Gerardo Alvarado-Castillo, Miguel Equihua. "Carbon Storage in a Peri-urban Neotropical Forest: Assessing its potential and patterns of change over half a century", Urban Forestry & Urban Greening, 2023 <1%
Publicación

---

34 Helena Dvořáčková, Paloma Hueso González, Jaroslav Záhora, RS Ruiz Sinoga. "El efecto de los polímeros absorbentes en la actividad microbiologica del suelo bajo condiciones mediterráneas", Revista MVZ Córdoba, 2018 <1%
Publicación

---

35 INSIDEO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - INSIDEO S.A.C.. "ITS del Proyecto Ampliación de la Potencia Instalada de la Central Hidroeléctrica La Virgen-IGA0001257", R.D. N° 052-2016-MEM/DGAAE, 2020 <1%
Publicación

---

36 Juan Freile, Esteban Guevara, Diego Cisneros-Heredia, Xavier Amigo, Tatiana Santander. "Memorias de la VI Reunión Ecuatoriana de <1%

Ornitología", Revista Ecuatoriana de Ornitología, 2019
Publicación

---

37 Promis Baeza, Alvaro Andrés. "Natural small-scale disturbances and below-canopy solar radiation effects on the regeneration patterns in a Nothofagus betuloides forest : a case study from Tierra del Fuego, Chile", Universität Freiburg, 2009. <1%
Publicación

---

38 Ricardo Peláez-Mora, Oscar Alberto Aguirre-Calderón, Eduardo Alanís-Rodríguez, Eduardo Javier Treviño-Garza et al. "Estructura forestal y análisis de suelos en un programa de pago por servicios ambientales en la cuenca del río Nazas", Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2022 <1%
Publicación

---

39 "Estimación de contenido de carbono y evaluación de las propiedades del suelo en praderas destinadas a la producción de bovinos bajo manejo regenerativo del sur de Chile", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2023 <1%
Publicación

---

40 CENTRO DE INVESTIGACION Y ESTUDIOS AVANZADOS - CINVESTAV. "DAA del Proyecto <1%

Planta de Adicionado y Molienda de Clinker para la Fabricación de Cemento-IGA0018367", R.D. N° 918-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2022
Publicación

---

41 Nadine Dupérré, Elicio Tapia, Jason Bond. "Review of the Spider Genus Linothele (Mygalomorphae, Dipluridae) from Ecuador—An Exceptional Case of Speciation in the Andes", Arthropoda, 2023
Publicación

<1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	Apagado
Excluir bibliografía	Apagado		

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, ESPINOZA MONTEALEGRE JOSE DANIEL y PALACIOS ALVARADO JEAN ANDRES, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Cuantificación de Carbono Orgánico en dos ecosistemas tropicales del Bosque Protector Casacay, provincia de El Oro, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las dispociones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

ESPINOZA MONTEALEGRE JOSE DANIEL	**PALACIOS ALVARADO JEAN ANDRES**
0706540531	**0705239242**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primeramente a mis padres Gigi y Alfonso, quienes en todo momento siempre estuvieron a mi lado, me guiaron y me brindaron su amor incondicional, sin ellos no sería la persona que soy.

A mis hermanos Milena y Alfonso Xavier, quienes siempre fueron mi inspiración a seguir adelante, y tienen un lugar especial en mi corazón. Deseo que este logro les sirva como ejemplo de lo que pueden lograr con dedicación y esfuerzo, y de inspiración de que sigan sus sueños con mucha pasión.

José Daniel Espinoza

Este trabajo de titulación se lo dedico a los dueños de mi amor: a mi madre Marcela, a quien le debo todo lo que soy, y a mi hermanito Marcelo, que soy su ejemplo a seguir

Jean Andrés Palacios

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por brindarme sabiduría e inteligencia para alcanzar este meta. A mi familia y amigos por el apoyo y soporte que me dieron. A la Universidad Técnica de Machala por la formación brindada tanto profesionalmente como personalmente, especialmente a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental. A la encargada de laboratorio, la Ing. Karen Miranda, por su paciencia y disposición a ayudarnos y guiarnos. Por último, a nuestro tutor Ing. Jaime Maza por toda la experiencia y guía que nos brindó durante todo este proceso.

José Daniel Espinoza

Le agradezco primero a Dios y a mi familia, quienes han estado detrás de todo el esfuerzo. A esos buenos amigos, que incondicionalmente me dieron la mano cuando más se los necesitó. Y finalmente, a nuestro tutor Ing. Jaime Maza y a la Ing. Karen Miranda, quienes con paciencia supieron guiarnos en este camino, muchas gracias.

Jean Andrés Palacios

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo cuantificar el almacenamiento de carbono orgánico en los ecosistemas de bosque semideciduo y siempreverde del BPC, dado su papel crucial en la mitigación del cambio climático. Para lograrlo, se desarrollaron índices de diversidad, se utilizaron ecuaciones alométricas para la vegetación y se procesaron muestras de suelo en laboratorio.

Para el cálculo de la diversidad se optó por la aplicación del índice de diversidad de Shannon-Wiener. En relación a la cuantificación de carbono en la biomasa, se obtuvieron datos dasómetricos en campo de diámetro altura pecho, altura, y densidad de madera, esta última obtenida mediante una base de datos, para la aplicación de las ecuaciones alométricas previamente seleccionadas. Para la cuantificación del COS, se obtuvieron muestras compuestas a una profundidad de 0 a 30 cm y muestras mediante cilindros con volumen conocido para la obtención de las variables de MO y DA respectivamente, mediante el procesamiento en laboratorio.

Los resultados obtenidos por ecosistema, muestran valores de diversidad de especies de 2,22 y 2,54 para los ecosistemas de bosque semideciduo y siempreverde respectivamente. Los valores medios de carbono en la biomasa fueron 39,61 t/ha para el bosque semideciduo y 57,15 t/ha para el bosque siempreverde. Finalmente, los valores de medios de COS calculados fueron 76,42 t/ha y 112,87 para los ecosistemas de bosque semideciduo y siempreverde, respectivamente.

Palabras clave – biomasa, cambio climático, índice de diversidad, densidad de madera, ecuaciones alométricas, carbono orgánico del suelo.

ABSTRACT

This study aims to quantify the storage of organic carbon in semi-deciduous and evergreen forest ecosystems of the Casacay Protected Forest, given its crucial role in climate change. To achieve this, diversity indices were developed, allometric equations were used for vegetation and soil samples were processed in the laboratory.

The Shannon-Wiener diversity index was used to calculate diversity. In relation to the quantification of carbon in above ground biomass, data were obtained in field of diameter breast height, height, and wood density, the latter obtained through a database, for the application of previously selected allometric equations. For the quantification of soil organic carbon, composite samples were obtained at a depth of 0 to 30 cm and samples were obtained by cylinders with known volume to obtain the organic matter and bulk density variables respectively, through laboratory processing.

Results by eosystem show species diversity values of 2,22 and 2,54 for semi-deciduous and evergreen forest ecosystems respectively. Mean biomass carbon values were 39,61 t/ha for semi-deciduous forest and 57,15 t/ha for evergreen forest. Finally, the calculated mean soil organic carbon values were 76,42 t/ha and 112,87 for semi-deciduous and evergreen forest ecosystems, respectively.

Key words – biomass, climate change, diversity index, wood density, allometric equations, soil organic carbon.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN 12

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14

III. JUSTIFICACIÓN 16

IV. OBJETIVOS 17

A. Objetivo general 17

B. Objetivos específicos 17

V. HIPÓTESIS 18

VI. MARCO TEÓRICO 19

A. Áreas de conservación 19

1. Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) 19

2. Bosques y vegetación protectora en Ecuador 19

3. Bosque seco tropical 20

a) Bosque semideciduo 21

4. Bosque húmedo tropical 22

a) Bosque siempreverde 23

5. Servicios ecosistémicos 23

6. Servicio de regulación climática 24

B. Diversidad de especies 24

1. Índice de Shannon-Wiener 24

2. Índice de valor de importancia (IVI) 25

C. Cambio climático 25

1. Causas del Cambio Climático 26

2. Consecuencias del Cambio Climático 26

D. Carbono 27

1. Ciclo del carbono 27
2. CO_2 en la atmósfera 28
3. Biomasa forestal 29
4. Captura de carbono en las plantas 29
5. Carbono orgánico en el suelo 30
E. Métodos de estimación de biomasa forestal aérea 30
1. Método destructivo 30
2. Método no destructivo 30
3. Modelos alométricos 31
4. Tipos de modelos alométricos 32
F. Métodos de estimación de carbono orgánico en el suelo (COS) 32
1. Método de cilindro 32
2. Método de Walkley & Black 33
3. Método de combustión seca 33
4. Método de calcinación o pérdida por ignición (LOI) 33
VII. METODOLOGÍA 34
A. Enfoque de investigación 34
B. Variables de estudio 35
C. Ubicación geográfica del área de estudio 35
D. Herramientas y materiales 38
E. Fase de Estado del Arte 39
F. Fase de identificación y selección 39
1. Selección del área de estudio 39
2. Selección de los tipos de depósitos de carbono 40
3. Determinación de parcelas 41

4. Tamaño y forma de parcelas 42
G. Fase de campo 43
1. Determinación de rutas 43
2. Elaboración de fichas de datos 44
3. Elaboración de etiquetas 44
4. Sistema de codificación 44
5. Criterio de selección de especies arbóreas 45
6. Caracterización botánica 45
7. Medición y cálculo del diámetro altura pecho (D) 45
8. Medición de la altura del árbol 46
9. Obtención de la densidad de la madera 47
10. Recolección de muestras de suelo 47
H. Fase de procesamiento de muestras y datos 47
1. Cálculo de índices de diversidad 47
a) Índice de Shannon-Wiener 47
b) Índice de valor de importancia (IVI) 48
c) Densidad absoluta 49
d) Frecuencia absoluta 49
e) Dominancia absoluta 49
2. Cálculo de la captura de carbono en biomasa 49
a) Cálculo de la biomasa aérea viva 50
b) Cálculo de la biomasa en toneladas por hectárea 50
c) Cálculo del stock de carbono en la biomasa aérea 51
3. Cálculo de las variables para COS 51
a) Densidad aparente 51

b) Materia orgánica en el suelo 52

c) Cálculo del porcentaje de carbono orgánico total 52

d) Cálculo del stock de carbono en el suelo 53

4. Análisis estadístico de resultados 53

VIII. RESULTADOS 55

A. Índice de diversidad de especies arbóreas 55

1. Especies arbóreas identificadas en el ecosistema de bosque semideciduo 55

a) Diversidad de especies 56

b) Dominancia de especies 57

2. Especies arbóreas identificadas en el ecosistema de bosque siempreverde 58

a) Diversidad de especies 59

b) Dominancia de especies 60

B. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea 61

1. Características dasométricas del estrato arbóreo de los ecosistemas 61

2. Contenido de carbono en biomasa por ecosistemas 62

3. Relación de las variables dasométricas y el C en biomasa por ecosistemas 63

C. Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS) 65

1. Características físicoquímicas del suelo 65

2. Contenido de COS por ecosistemas y tipos de suelo 66

3. Relación del COS con las propiedades físicas y químicas del suelo 68

IX. DISCUSIÓN 70

A. Diversidad de especies 70

B. Carbono en biomasa 71

C. Carbono orgánico en suelo 73

D. Mapas de carbono 75

X. CONCLUSIONES.....76

XI. RECOMENDACIONES.....78

BIBLIOGRAFÍAS.....79

ANEXOS 90

LISTA DE TABLAS

TABLA I TIPOS DE DEPÓSITOS DE CARBONO 41

TABLA II ESPECIES ARBÓREAS IDENTIFICADAS EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SEMIDECIDUO 55

TABLA III DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SEMIDECIDUO 56

TABLA IV DETERMINACIÓN DEL IVI POR ESPECIE EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SEMIDECIDUO 57

TABLA VI ESPECIES ARBÓREAS IDENTIFICADAS EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SIEMPREVERDE.....58

TABLA VI DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SIEMPREVERDE 59

TABLA VII DETERMINACIÓN DEL IVI POR ESPECIE EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SIEMPREVERDE.....60

TABLA VIII ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LOS PARÁMETROS ARBÓREOS POR ECOSISTEMA.....61

TABLA IX PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE LEVENE Y ANOVA DEL C EN BIOMASA POR TIPO DE ECOSISTEMA.....62

TABLA X CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE VARIABLES DASOMÉTRICAS Y C EN BIOMASA 63

TABLA XI ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO POR ECOSISTEMAS 65

TABLA XII PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE LEVENE Y ANOVA DEL COS POR ECOSISTEMAS.....66

TABLA XIII PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE LEVENE Y ANOVA DEL COS POR TIPO DE SUELO EN ECOSISTEMAS 67

TABLA XIV CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE EL COS Y VARIABLES DE SUELO69

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Mapa de ubicación del Bosque Protector Casacay 36

Fig. 2. Diagrama de flujo 37

Fig. 3. Mapa de ecosistemas de bosque nativo en el BPC 40

Fig. 4. Mapa de ecosistemas de puntos de muestreo en el bosque nativo en el BPC 42

Fig. 5. Tamaño y forma de las parcelas.....42

Fig. 6. Ruta de los puntos de muestreo en el bosque semideciduo 43

Fig. 7. Ruta de los puntos de muestreo en el bosque siempreverde.....44

Fig. 8. Diámetro a la altura del pecho para diferentes formas y tipos de árboles 46

Fig. 9. Abundancia de especies en el ecosistema de bosque semideciduo.....56

Fig. 10. Abundancia de especies en el ecosistema de bosque siempreverde 59

Fig. 11. Contenido de carbono en biomasa (t/ha) por ecosistema.....63

Fig. 12. (a) Dispersión de carbono en biomasa (t/ha) por Diámetro Altura Pecho (b) Dispersión de carbono en biomasa (t/ha) por altura (c) Diagrama de cajas de la p por ecosistema 64

Fig. 13. Contenido de COS (t/ha) por ecosistema.....67

Fig. 14. Contenido de COS (t/ha) por tipo de suelo y ecosistemas.....68

Fig. 15. (a) Gráfica de dispersión entre COS y %MO (b) Gráfica de dispersión entre %MO y DA 69

Fig. 16. (a) Distribución potencial del C en biomasa de los ecosistemas siempreverde y semideciduo (b) Distribución potencial del COS en los ecosistemas siempreverde y semideciduo 75

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

H	Altura del árbol
BHT	Bosque Húmedo Tropical
BPC	Bosque Protector Casacay
BST	Bosque Seco Tropical
CAP	Circunferencia Altura Pecho
COS	Carbono Orgánico del Suelo
DA	Densidad Aparente
ρ	Densidad de Madera
D	Diámetro Altura Pecho
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IVI	Índice de Valor de Importancia
LOI	Loss on Ignition
MAATE	Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica
MO	Materia Orgánica
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
%C	Porcentaje de Carbono Orgánico Total
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SPSS	Statistical Package for Social Sciences

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques proporcionan múltiples servicios ecosistémicos, uno de estos es la regulación climática. Las masas forestales pueden actuar como termorreguladores biofísicos modificando la evapotranspiración y el albedo a nivel de microclimas [1]. A nivel global, estos ecosistemas cumplen un papel fundamental para contrarrestar el cambio climático. Una de las funciones del servicio de regulación es la captura y almacenamiento de CO_2 atmosférico [2]. Anualmente, cerca de un tercio de las emisiones de CO_2 causadas por la quema de combustibles fósiles es fijada por bosques [3]. Las tierras forestales capturan 2,4 ± 0,4 10^9 Mg de emisiones carbono en todo el mundo [4].

La principal amenaza de estos ecosistemas es la deforestación. Las actividades agropecuarias de pequeños productores han sido identificadas como el principal motivo de pérdida de los bosques tropicales en Ecuador [5]. Se identifican también otras razones como la minería, asentamientos humanos y carreteras [6]. La deforestación representa aproximadamente el 23% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero GEI. Ecuador aporta con menos del 1% de la emisión total, pero el impacto que recibe por el cambio climático es igual al de las grandes naciones generadoras de estos gases. El país ha adoptado políticas, e implementado programas y proyectos para limitar el ascenso de la temperatura global [7]. Desde la perspectiva de conservación, uno de los logros del país fue establecer una identificación, clasificación y delimitación de todos los ecosistemas que posee [8]. También se establece el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), constituido por el 19,45% del territorio del país con 78 áreas protegidas [9].

El cambio climático es el principal desafío ambiental, el aumento de temperatura altera los procesos naturales de la tierra y afecta a los ecosistemas, en especial a los de montaña [10]. Pese a los variados acuerdos internacionales y esfuerzos para reducir las emisiones de GEI, el aumento de las emisiones antropogénica ha llevado a niveles alarmantes de concentración de CO_2 en la atmósfera, uno de los principales influyentes en el calentamiento global [11]. Hoy se estima que al año se liberan aproximadamente 40 mil millones de toneladas de CO_2. Los océanos absorben el 25% al 30% de esta cantidad. Un 8% a 30% se queda en la vegetación y la meteorización mineral. Acorde a esto, se ha llegado a estimar que en la atmósfera terrestre existen $3x10^{12}$ toneladas de dióxido de carbono [12].

De acuerdo con todo lo mencionado, la investigación se centra en el Bosque Protector Casacay, provincia de El Oro. Es un territorio de alta importancia, pero se encuentra en constante

presión por las actividades humanas. Se identificaron dos tipos de ecosistemas: bosque seco tropical y bosque húmedo tropical. Respectivamente están catalogados como bosque semideciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo, bosque siempreverde estacional de tierras bajas del Jama-Zapotillo, bosque siempreverde estacional piemontano del Catamayo-Alamor, bosque siempreverde montano alto del Catamayo-Alamor y bosque siempreverde montano del Catamayo-Alamor. La cuantificación de carbono reposó sobre los remanentes de bosque nativo de estos ecosistemas dentro del perímetro del BPC.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bosques tropicales proporcionan numerosos beneficios a la población, estos beneficios que se generan a través de la interacción entre los componentes de un ecosistema, es lo que se denomina como “servicio ecosistémico” [13]. No todos los bosques tropicales ofrecen los mismos servicios ecosistémicos, varían según las condiciones biofísicas y sociales de un área específica, generalmente los servicios de los bosques tropicales se dividen en servicio de aprovisionamiento, regulación y cultura [14].

La biomasa aérea de los bosques tropicales contiene más del 60% de carbono de la vegetación terrestre [15]. Gran parte de los sumideros se localizan en los bosques tropicales de latitudes bajas [16]; en bosques inalterados el contenido de C de estos sumideros oscila entre 60 y 230 toneladas de carbono por hectárea [17].

En Ecuador los ecosistemas nativos forestales han disminuido rápidamente en las últimas cuatro décadas. La deforestación y los cambios de uso de suelo han afectado fuertemente a los bosques de tierras bajas y de montaña del noroeste del país, específicamente por la expansión agrícola y urbana [18]. En general, estas actividades suponen una amenaza constante para los bosques y vegetación protectora del Ecuador, lo que origina que paulatinamente se pierda el servicio ecosistémico de regulación climática que estos ecosistemas proveen. En relación con el carbono orgánico del suelo (COS), prácticas agrícolas insostenibles como la labranza excesiva, el sobrepastoreo, compactación y pérdida de cobertura vegetal causan la liberación del carbono almacenado a la atmósfera y significan un grado de degradación del suelo [19].

Es prioridad la gestión adecuada del suelo en el país, a través del Programa Nacional de Conservación y Recuperación de Suelos, se busca conservar los suelos, especialmente los que secuestran mayor contenido de carbono y los degradados. Los suelos en Ecuador con mayor contenido de COS se localizan en tierras con mayores altitudes y bajas temperaturas, en cuanto a la región Costa estos presentan menor contenido de COS debido a temperaturas mayores a 22 °C y a las actividades antropogénicas [19]. En general se estima que el COS en Ecuador, a una profundidad de 0 a 30 cm, es de 1,63 Pg $\pm$ 0,38 Pg, considerados como medios a bajos en comparación a países cercanos como México con 9,04 Pg, Argentina con 18 Pg y Brasil con 42,79 Pg [19].

El BPC representa un área de gran importancia ecológica, debido a los servicios ecosistémicos que provee, tales como la conservación de la biodiversidad, aprovisionamiento de

recursos, regulación climática al funcionar como sumideros de CO_2, entre otros. Desempeña un papel fundamental en el intercambio de carbono entre la biósfera terrestre y la atmósfera, y tienen un gran potencial para secuestra el carbono atmosférico, controlando así los efectos futuros que pueda llegar a causar el calentamiento global [20]. El almacenamiento de carbono varía dependiendo del ecosistema, siendo así, que entre los ecosistemas del BPC existirán diferencias en esta función.

En la actualidad el BPC se encuentra fuertemente intervenido por actividades antropogénicas, tales como la expansión agrícola y ganadera, en la parte alta del bosque, por la introducción de especies de pino que ha desplazado a las especies de vegetación nativa de la zona, la falta de normas y regulaciones ambientales y el escaso control del área, lo que ha derivado en múltiples afectaciones para el bosque protector Casacay [21].

En el BPC se ejerce una presión constante sobre los recursos y servicios ecosistémicos que proporciona. El suelo de la zona se clasifica en diferentes clases agrológicas, que van de la III a la VIII, determinan la aptitud del suelo para desarrollar actividades económicas con limitaciones o en zonas donde debería haber conservación específica de flora y fauna [22].

A pesar de las clasificaciones existentes, la expansión agrícola y ganadera es notoria en la zona. Los conflictos de uso de suelo están muy enmarcados en el BPC debido a la sobreutilización que se da en un área extensa, especialmente por las actividades silvopastoriles, esto ha repercutido en zonas consideradas como intangibles, involucrando al bosque nativo que se ha deteriorado progresivamente, finalizando así en consecuencias negativas [22].

III. JUSTIFICACIÓN

Los bosques tropicales tienen un rol esencial en proveer resiliencia frente al cambio climático [23]. Actualmente la capacidad de los bosques para proporcionar servicios de captura y almacenamiento de carbono se han visto reducido debido a varias perturbaciones antropogénicas como la deforestación asociada a los cambios de uso de suelo, la tala selectiva y el sobrepastoreo que conducen a la degradación forestal [24]. Adicionalmente a las consecuencias de las actividades antropogénicas, el carbono orgánico del suelo (COS) superficial también sufre pérdidas significativas [25].

Es fundamental conocer la cantidad de carbono almacenado en un ecosistema, ya que esto puede permitir la propuesta de estrategias encaminadas a reducir el cambio climático [26]. Es por eso que la investigación pretende obtener datos actualizados sobre la cantidad de C almacenado en los ecosistemas del BPC, en relación con su biomasa forestal, carbono orgánico en el suelo y diversidad de especies. El BPC no tiene estudios previos sobre el almacenamiento de carbono, lo que impide conocer las potencialidades de este bosque protector, para que se sienten las bases que permitirán desarrollar nuevas investigaciones en el futuro respecto al área de estudio.

Rojo y Sanginés [27], señalan que el servicio de bosques como sumideros de CO_2 permite equilibrar la concentración de este compuesto, el cual es incrementado por actividades antropogénicas. Así, este estudio permite entender la relevancia del servicio ecosistémico de regulación climática del BPC y del suelo como sumideros de CO_2.

Como último punto, este estudio contribuye con lo que establecen los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), donde en el ODS 13, de acción por el clima, menciona la urgencia de tomar medidas para la adaptación y mitigación, una de estas siendo la gestión de los ecosistemas [28]. El ODS 15 sobre la vida de ecosistemas terrestres también se liga con el estudio ya que se da un reconocimiento a las potencialidades que puede ofrecer el BPC, con relación al contenido de carbono en la zona [28].

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Cuantificar el almacenamiento de carbono orgánico en los ecosistemas de bosque semideciduo y bosque siempreverde del BPC, mediante el desarrollo de índices de diversidad, utilización de ecuaciones alométricas para la vegetación y procesamiento de muestras de suelo en laboratorio, información que servirá como aporte en los programas de reducción del calentamiento global y en el mejoramiento de los servicios ecosistémicos dentro del territorio.

B. Objetivos específicos

- Determinar la diversidad de especies arbóreas del BPC mediante la aplicación del índice de Shannon-Wiener.
- Cuantificar el carbono almacenado en la biomasa forestal de los ecosistemas tropicales del BPC, mediante el levantamiento de datos dasométricos en parcelas de muestreo y aplicación de ecuaciones alométricas.
- Cuantificar el carbono almacenado en el suelo de los ecosistemas tropicales del BPC, a un nivel de profundidad de 0 a 30cm mediante método de calcinación y el método de cilindro.

V. HIPÓTESIS

El ecosistema de bosque húmedo tropical almacena más carbono que el ecosistema de bosque seco tropical. Esto se relacionaría primordialmente con la densidad de madera de las especies, ya que es un indicador del carbono retenido en la biomasa. La densidad es un factor condicionado por aspectos filogenéticos de las familias y por aspectos ambientales como precipitación y tipo de suelo [29]. Una densidad de madera baja facilita la retención de agua y la conductividad hidráulica [30], lo cual sugiere que un ecosistema con épocas de estiaje puede albergar este tipo de especies.

VI. MARCO TEÓRICO

A. Áreas de conservación

1. Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP)

La primera reserva natural declarada en Ecuador fue el Parque Nacional Galápagos en el año 1959, y en 1989 se creó la Reserva Marina Galápagos. La reserva Parque Nacional Cotopaxi fue creada en el año 1975; fue la primera en la parte continental del país. Hasta la declaratoria de estos dos primeros parques nacionales, se han creado muchas reservas naturales en el Ecuador. Hoy en día se encuentran todas agrupadas y bajo la gestión del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, creado en el año 1976 [31]. El SNAP es clave para conservar la flora y fauna del Ecuador, pero no ha sido totalmente efectivo debido a que gran parte de los territorios se establecieron sin criterio técnico, en lugares remotos y de poco interés para el humano [32]. En la gestión de las áreas protegidas, reconoce el interés y permite la participación de GAD's, comunidades y actores privados [33].

Son 78 áreas naturales protegidas a nivel nacional que conforman el SNAP y cubren el 19,45% del área total del país. Consta de 21 millones de hectáreas en la región marina, 3 millones de hectáreas en la región amazónica, 1 millón en la región insular, 1 millón en la región sierra y 1 millón en la región costa [34].

En orden jerárquico, el SNAP tiene las siguientes categorías de manejo: Parque Nacional, Reserva Marina, Reserva Ecológica, Reserva Biológica, Reserva de Producción de Flora y Fauna, Refugio de Vida Silvestre, Área Natural de Recreación y Reserva Geobotánica [35]. Los Bosques y Vegetación Protectora no están dentro del SNAP, son una categoría aparte.

2. Bosques y vegetación protectora en Ecuador

Los Bosques y Vegetación Protectores forman parte del Patrimonio Forestal Nacional. Se declaran en esta categoría a las formaciones vegetales de origen natural o antrópico, bien sean privadas o estatales, ubicadas en cuencas hidrográficas, terrenos accidentados o zonas que por la importancia de sus características naturales necesitan ser conservadas. Se toman en cuenta también factores culturales como importancia ritual, ceremonial e histórica [36].

El artículo 285 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, Capítulo II, sección 1ª, establece las funciones de los Bosques y Vegetación Protectores. Entre estos se encuentran la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, preservar las fuentes de agua dentro de las cuencas hidrográficas, proteger a los terrenos accidentados de la erosión causada por la escorrentía, interés científico, reducir la presión de las actividades humanas funcionando como corredores de conectividad y zonas de amortiguamiento, zonas estratégicas de interés militar, protección de recursos y obras de prioritarias y ayudar en la recuperación de sitios degradado [37].

Los Bosques y Vegetación Protectores cuentan con planes de manejo, que son la herramienta principal para la gestión de estas áreas. La elaboración de estos debe seguir la guía emitida por el MAATE. Así que la Autoridad Ambiental Nacional revisa cumplimiento de los planes de manejo para evaluar la permanencia de las funciones que fueron declaradas para la solicitud de la categoría [37].

Las actividades permitidas dentro de los Bosques y Vegetación Protectores se establecen de acuerdo al Ordenamiento Territorial y la zonificación, siempre siguiendo los lineamientos de la declaratoria de esta categoría. A los propietarios de terrenos bien sea en territorios públicos o privados, les está permitido realizar manejo forestal con mecanismos sostenibles. También se permiten otro tipo de actividades sostenibles luego de una autorización administrativa, así como obras de sectores estratégicos que no limiten las funciones declaradas. Por el contrario, están prohibidas las actividades que conlleven un cambio de cobertura de los parches naturales [37].

3. Bosque seco tropical

Los Bosques Secos Tropicales son ecosistemas estacionales. Están distribuidos en todo el mundo, aunque la mayoría se ubican en América. Tienen una amplia biodiversidad y servicios ecosistémicos. Pero es uno de los ecosistemas más amenazados por el hombre y el cambio climático [38].

Las principales características son sus precipitaciones que van de los 250 mm a 2000 mm anuales y alta evapotranspiración. Debido a la estacionalidad marcada, de épocas secas que van de 3 a 8 meses, las especies de estos ecosistemas se han adaptado. Gran parte de las especies florísticas son caducifolias o deciduas/semideciduas, es decir, desprenden sus hojas en las épocas desfavorables. Otras especies han desarrollado tejidos resistentes a la cavitación [39]. De modo

que se pueden agrupar distintas formaciones vegetales como los matorrales xéricos, los bosques caducifolios y semicaducifolios o semideciduo. De acuerdo a todo ello, estos bosques poseen elevadas tasas de diversidad beta y endemismo [40].

En cuanto a su estructura, los BST poseen menos complejidad que los Bosques Húmedos Tropicales. Los valores dasométricos y de biomasa suelen ser generalmente menores. Hay mayor densidad de arbustos y lianas. Dentro de su composición abunda la familia de las fabáceas y las bignoniáceas [40].

Entre los múltiples servicios ecosistémicos de los bosques secos tropicales, los de aprovisionamiento están identificados como los más importantes, puesto que son tangibles y se relacionan con la generación de ingresos [41].

En el neotrópico, donde se encuentran el 60% de los BST, se ha llegado a estimar que se han perdido 2/3 de la cobertura [39]. Durante el periodo 2010-2020, en Sudamérica, se perdieron 2,6 millones de ha de bosque seco. A pesar de ello, la tasa de deforestación se redujo a comparación de la década anterior. Ecuador es uno de los países con más alta tasa de deforestación entre 1990 y 2010. Los territorios más afectados se encuentran principalmente en la región costa, donde la degradación ha sido muy intensa, debido a que este tipo de bosque ha sido menos objeto de protección que los bosques siempreverdes [42]. Esto suma a que para ese periodo el país se clasificó con una fragmentación alta del 30% de sus áreas naturales [43].

a) Bosque semideciduo

En el Ecuador, los bosques semideciduos de la costa se agrupan en las estribaciones del sur de la cordillera occidental. Entre estos se encuentran el bosque semideciduo de tierras bajas, bosque semideciduo montano bajo y bosque semideciduo piemontano [44]. Este tipo de ecosistema se encuentra en zonas colindadas y, al haber una cantidad significativa de pendientes, el contenido de humedad es mayor que en los bosques deciduos [45]. Posee una estación seca de tres meses; por la gradiente de humedad, resulta ser un ecosistema de transición entre el bosque seco y el bosque húmedo [46]. Estos últimos suelen aportar con diversas especies a los bosques semideciduos [47]. La vegetación común de este ecosistema son las especies de los géneros *Centrolobium, Phytolacca, Triplaris, Cochlospermum y Gallesia.* El ecosistema suele presentar un dosel entre los 12 y 25 metros de altura y el 75% al 25% de sus especies son caducifolias [48].

Dentro de la categoría de BST, en la provincia de El Oro se ubica al bosque semideciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo, que representa un 3% del total del territorio provincial. Se distribuye entre 0 a 400 m.s.n.m [49]. Este se caracteriza por tener una conectividad muy baja (29,6%) gracias al elevado nivel de intervención humana, debido al cambio de uso por cultivos y pasturas; sus remanentes naturales se encuentran degradados [50].

4. Bosque húmedo tropical

Se los considera entre los ecosistemas más relevante de la biósfera debido a los valiosos servicios ecosistémicos que poseen. Almacenan ingentes cantidades de carbono en biomasa, controlan la escorrentía y regulan los ciclos biogeoquímicos, además de que proveen hábitat, alimento y medicina [51].

Se encuentran entre las latitudes 10N° y 10S°, representando el 25% de los bosques de todo el mundo [52]. Son llamados así debido a que se encuentran en áreas con precipitaciones mayores a los 2000 mm anuales. Presentan un clima cálido, con temperaturas que oscilan entre 22 y 24°C [51]. Se identifican varios tipos, como los bosques húmedos bajos, siempreverdes, tierras boscosas y sabanas arboladas [53].

Gran parte de la región tropical de Sudamérica está ocupada por bosque húmedo tropical. Estos ecosistemas se caracterizan por poseer una gran complejidad en su estructura. La diversidad de vegetación es muy alta, de modo que se encuentran aquí más del 50% de todas las especies hasta ahora identificadas y descritas [54]. La flora está compuesta principalmente por las familias de las fabáceas, moráceas, annonáceas, rubiáceas, arecáceas, meliáceas y euphorbiáceas. La morfología de los árboles mantiene similitudes entre las distintas especies. Son recurrentes las características como los troncos rectos y columnares, hojas grandes de punta acuminada [51].

Sudamérica contiene alrededor del 58% de la superficie de bosque húmedo del mundo [51]. De hecho, la Amazonía representa dos tercios del total. Esta se distribuye entre Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela [53].

Los suelos de estos bosques suelen ser pobres en nutrientes y poco profundos. El crecimiento rápido de las especies y la elevada actividad biológica conlleva a que el reciclado de nutrientes orgánicos sea de inmediato. Por ese motivo, si estos territorios son forzados a cambiar

su cobertura hacia cultivo, se revelan las deficiencias de fertilidad. Lo que empuja a que estos suelos sean susceptibles a erosión [53].

a) Bosque siempreverde

Dentro de los bosques húmedos, hay algunas clasificaciones: bosque siempreverde piemontano, siempreverde montano bajo, siempreverde montano alto y siempreverdes inundables. Los piemontanos del sur del ecuador se encuentran cerca del Río Jubones, en terrenos fuertemente accidentados, entre los cantones de Pasaje y Chilla [55]. En la provincia de El Oro, se identifican varios ecosistemas siempreverdes, y en el área de estudio se clasifican como bosque siempreverde piemontano del Catamayo-Alamor, el cual se distribuye entre los 400 y 1600 m.s.n.m [49].

Estos bosques se caracterizan por tener gran endemismo de plantas y árboles con más de 20 metros de altura. El dosel suele alcanzar los 30 metros y los fustes están cubiertos por plantas epífitas [44], como las orquídeas y bromelias [55].

5. Servicios ecosistémicos

Es un concepto clave, que integra todos los beneficios tangibles e intangibles que provienen de la naturaleza a favor del ser humano. De alguna manera, estos pueden ser valorados económicamente, por motivos económicos propiamente o por razones de concientización [56]. Esta valoración consiste en otorgarles una cuantificación monetaria a los bienes y servicios, aunque en muchos casos no exista mercado. Ya que la valoración individual varía de persona a persona, se acuña el concepto de Valor Económico Total (VET). Este último consiste en la suma del valor de uso y no uso de los servicios [57].

A todo lo anterior se conjuga el Capital Natural, que funciona como una medida de riqueza del país. El reconocimiento de esto impulsa a la generación de estrategias de planificación ambiental para conseguir que los bienes y servicios se conserven con el tiempo [56]. Todo ello es muy importante dentro del contexto de un país megadiverso y con presencia de bosques tropicales.

Debido a la amplia distribución y su diversidad, los bosques tropicales ofrecen servicios ecosistémicos muy importantes. Se identifican tres tipos diferentes de servicios. Primero están los de consumo directo, muy conocidos como recursos naturales. Luego se encuentran los de regulación, que se trata de un constante balance para que se generen las condiciones en las que

podemos vivir. En el servicio de regulación climática se centra este trabajo. Por último, se identifican a los servicios culturales, cuyos beneficios se centran en la recreación, estética y demás valores que como humanos podemos otorgarles a los ecosistemas [13]. Aunque también se considera otro tipo, conocido como servicio de soporte [57].

6. Servicio de regulación climática

El servicio de regulación que ofrecen los bosques es uno de los más importantes. Garantiza la provisión de agua y el equilibro de la temperatura. La dinámica de los ecosistemas mantiene flujos de energía y materia; interacciones que modifican la humedad y la temperatura. Así también tienen la función de ser sumideros de CO_2, que es el aporte principal en cuanto a la regulación del clima global, al contrarrestar uno de los principales GEI [58].

Los árboles pueden fijar el carbono en su biomasa. La cantidad de C fijado en un territorio forestal depende de la densidad de individuos y de las especies. Cada especie tiene características únicas de densidad de madera y tasa de crecimiento, lo cual condiciona la capacidad de retención de carbono [59].

B. Diversidad de especies

Los bosques tropicales se encuentran influenciados por diversos factores abióticos y bióticos lo que genera que posean una diversa composición de especies y una estructura altamente heterogénea. Conforme aumenta la gradiente altitudinal, disminuye la riqueza de especies y la densidad arbórea [60]. La mayor riqueza de especies y densidad arbórea se encuentra localizada en suelos con alta disponibilidad de materia orgánica y nutrientes como el fósforo y el nitrógeno que favorecen el crecimiento vegetal [60].

Para obtener información precisa de los ecosistemas es necesaria la evaluación de la vegetación en relación a su diversidad, conociendo así los aportes funcionales de las especies al ecosistema [61].

1. Índice de Shannon-Wiener

Los índices de diversidad se pueden utilizar para evaluar la intensidad de los recursos utilizados por la población humana, para permitir comparaciones entre diferentes poblaciones en diferentes entornos y para permitir evaluaciones del esfuerzo de muestreo [62].

El índice de Shannon-Wiener toma en cuenta tanto la riqueza de especies como su abundancia, reflejando la uniformidad de los valores de las especies presentes en una muestra [63]. Además, mide como se distribuyen las especies entre los individuos [64]. Este índice no solo considera el número de especies, sino también su representación. Sin embargo, su principal limitación es que no tiene en cuenta la distribución espacial de las especies.

2. Índice de valor de importancia (IVI)

El IVI permite determinar la composición florística de un ecosistema, para su cálculo se requiere de valores de frecuencia, densidad y dominancia relativos [65]. En el caso de bosque permite representar la composición de la flora leñosa, indica la importancia estructural de una especie en relación con la flora leñosa muestreada [66]. Incluso algunos estudios sobre la composición florística de los ecosistemas realizan índice de valor de importancia por familias, calculando los mismos valores, pero a nivel de familias, sin embargo, esto depende del criterio de los investigadores [54].

C. Cambio climático

Es un fenómeno complejo con cientos de variables. De hecho, es el problema ambiental que más importancia tiene actualmente. Se encuentra definido por algunos científicos como una modificación crónica y reconocible del clima por la naturaleza o por presión humana [67].

Para entender el cambio climático, primero hay que entender cómo funciona el efecto invernadero. Cuando los rayos del sol golpean con la tierra, una parte de estos son absorbidos y otra parte es devuelta en forma de calor hacia el espacio. Los gases que se encuentran presentes en la atmósfera, a los cuales llamamos por sus siglas GEI, no permiten que escape toda la radiación; la devuelven a la superficie. Estos gases son el vapor de agua (OH_2), óxido nitroso (ON_2), ozono(O_3), metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Este fenómeno natural mantiene en equilibro la temperatura, caso contrario la superficie de la tierra se encontraría congelada. Antes de la revolución industrial, la temperatura media era de 14°C [68]. El cambio climático se inicia

cuando la acumulación de gases en la atmósfera se da de forma no natural, de modo que aumenta la media de la temperatura en la tierra.

1. Causas del Cambio Climático

El consenso científico atribuye el aumento de temperatura a la acumulación de GEI en la atmósfera por las actividades humanas [69]. Aunque las causas se promedian de manera global, lo cierto es que son locales y dependen del nivel de la industria y la manera de consumir de cada país. Frecuentemente se realizan informes que señalan a los principales países aportantes de GEI's. Los principales emisores de CO_2 son las potencias China y Estados Unidos. Con 9056,8 y 4833,1 megatones métricos respectivamente. Les siguen países como India, Rusia y Japón. Pero viendo el ranking desde una perspectiva de emisiones de CO_2 *Per Cápita*, Arabia Saudita, Estados Unidos, Canadá, Corea del Sur y Australia lideran la lista. Sus emisiones *Per Cápita* oscilan entre 16,3 y 11,6 toneladas métricas [70].

Las actividades que se ejercen en cada nación que contribuyen, en mayor o menor medida, a la emisión de GEI, son la quema de combustibles fósiles y la pérdida de bosques por tala [67]. El CO_2 es el gas que más contribuye al cambio climático. Se lo considera como el responsable del 60% de la acentuación del efecto invernadero [71].

El metano es el segundo gas que mayor contribución tiene. A partir de la revolución industrial, las concentraciones de CH_4 se duplicaron. Este gas es aportante del 20% de la acentuación. Su concentración actual en la atmósfera es de 1,7 ppm. En los países de grandes industrias, como los mencionados anteriormente, el metano representa entre el 15% al 20% de las emisiones totales de GEI's. El metano se produce por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas por bacterias. Se produce de forma natural y por las actividades de los seres humanos. En ese sentido, las principales fuentes de emisión son la minería, ganadería, cultivos como el arroz y vertederos, por ejemplo [71].

El dióxido de nitrógeno se genera de forma natural por las bacterias del suelo. De forma artificial se genera en la producción de ácido nítrico, lacas, explosivos, combustible de cohetes y abonos. Representa cerca del 6% de las emisiones totales de GEI's de los países industriales [71].

2. Consecuencias del Cambio Climático

No hay nada concreto que se haya dicho sobre la evolución del cambio climático y la manera en cómo afectará a la sociedad. Pero hay certezas de que sus consecuencias a largo plazo afectarán fuertemente a la vida en la tierra [69].

Algunos de los impactos ya son fácilmente visibles en la actualidad. El hielo del ártico, por ejemplo, en cada verano se reduce más, a comparación de la tasa media de los años anteriores. Por otro lado, los hielos del antártico se encuentran en la misma situación. Esto influye para que el nivel del océano aumente y también se vea afectado el suministro de agua de millones de personas. Desde un punto de vista ecológico, a medida que el planeta ha ido aumentando su temperatura, algunas especies de plantas y animales se han ido desplazando hacia los polos. Si la temperatura de la tierra asciende a 3,5°C por encima de la media, se producirían extinciones masivas de la mayoría de especies para el año 2030 [67].

Los arrecifes de coral se han venido debilitando a causa de la variación de temperatura, especialmente ante el Fenómeno del niño Oscilación del Sur. Los corales ante el estrés térmico expulsan sus microalgas, de forma que, si la exposición es prolongada, finalmente mueren. Por otra parte, inundaciones, olas de calor, sequías y afectaciones sobre la salud son otras de las consecuencias siempre remarcadas al cambio climático [67].

D. Carbono

Ocupa la sexta posición en la tabla periódica. Es un elemento no metálico con gran capacidad de formar enlaces covalentes, lo que lo vuelve esencial y de mucha importancia entre los elementos orgánicos. Se combina con N, P, S, O y H formando compuestos esenciales para la vida. La cantidad de carbono en el planeta es finita, por lo que circula entre el medio biótico y abiótico de forma permanente. A esta circulación se le conoce como ciclo del carbono [72].

1. Ciclo del carbono

Los movimientos del carbono se dan en diferentes escalas de espacio y tiempo; van desde el nivel molecular en organismos hasta una escala global [72]. Este elemento se encuentra en diferentes capas: mares, corteza terrestre, manto, núcleo, en la biósfera y en la atmósfera. En cada lugar, el carbono pasa por procesos complejos de transformación físico y químico. La principal manera en cómo se mueve el carbono es a través de su forma de CO_2 [12].

Se podría dividir el ciclo en dos partes: orgánico e inorgánico. La fotosíntesis es un proceso fundamental para la fijación orgánica del carbono [12]. Las plantas adquieren CO_2 por las estomas de las hojas y es transportado hacia los sitios donde se da la reacción. Una parte se devuelve a la atmósfera, pero otra se transforma en compuestos orgánicos de mayor complejidad. El conjunto de estos nuevos carbohidratos que se forman se los conoce como producción primaria bruta [72]. Se considera que esta reacción es lenta, ya que procesa 1 de cada 10 moléculas de CO_2 [73]. Por otro lado, está la ruta de los procesos inorgánicos. Estas fijaciones se dan en presencia y ausencia de agua. Estas reacciones son la interacción con la alcalinidad de los océanos y la meteorización de carbonatos y silicatos [12]. Los océanos pueden llegar a retener un equivalente de $1{,}4 \times 10^{14}$ toneladas de CO_2 gracias a sus dimensiones [74]. Existe una estrecha relación entre los carbonatos y silicatos con el clima. La meteorización de minerales puede remover una cantidad importante de dióxido de carbono atmosférico. Los silicatos sufren transformaciones con presencia de agua y atrapan CO_2 en una serie de reacciones conocida como meteorización química. En estas reacciones se producen iones alcalinos que son transportados por los ríos hacia los mares, aumentando gradualmente su alcalinidad. Es un proceso de larga duración ya que tiene una cinética muy lenta [12].

2. CO_2 en la atmósfera

Para el año 2011 las emisiones de CO_2 a la atmósfera fueron de 33,4 mil millones de toneladas, lo cual es 48% más elevado a lo que se emitía tan solo veinte años antes [75]. El rápido crecimiento económico ha incrementado la demanda de energía. Consecuentemente, ha aumentado el uso de combustibles fósiles como gasolina, aceite y gas natural. Esto ha llevado al problema de grandes emisiones de CO_2 y GEI. Al inicio de la revolución industrial, la concentración de CO_2 atmosférico era de 277 ppm. Este valor ha venido en constante aumento hasta el año 2020 en que la concentración se estimó en $412{,}4 \pm 0{,}1$ ppm [76].

En el año 2020, debido a la pandemia, las emisiones de CO_2 se redujeron 5,4 %; lo cual fue comparable a lo que se emitió en el año 2012, según *Global Carbon Project.* Pero en 2021, las emisiones se recuperaron en un 4,8%, alcanzando e incluso rebasando, en algunos países, los valores registrados para el año 2019 [76].

Siendo resultado de la actividad antropogénica, en las últimas décadas el ritmo de concentración de CO_2 en la atmósfera ha incrementado a 2,16 ± 0,09 ppm al año. Para finales de este siglo, las predicciones de concentración de 600-700 ppm aumentarían la temperatura de la tierra de 4,5C° a 5C° [77].

3. Biomasa forestal

Los ecosistemas forestales forman parte del ciclo del carbono al retener grandes cantidades de este elemento. La vegetación lo intercambia con la atmósfera con procesos como la respiración, fotosíntesis y por descomposición lo transfieren al suelo [78]. El carbono se almacena en la biomasa dura de la vegetación, que consta de madera, hojas, raíces, ramas y corteza [79]. Parte del CO_2 capturado sirve para la generación de biomasa viva. El fuste de un árbol tiene cerca del 84% de la biomasa del individuo, de la cual, un 46% es carbono [80]. De ese modo las masas forestales capturan cerca de 2000 millones de toneladas de CO_2 cada año [81].

Se debe determinar la biomasa de los bosques para poder estimar el stock de C, el cual varía según características fisionómicas, densidad y el nivel de desarrollo de cada masa forestal [81].

Por todo ello, entre las estrategias para luchar contra el cambio climático se encuentran la restauración de los bosques y la disminución de la deforestación [81].

4. Captura de carbono en las plantas

El CO_2 atmosférico se adquiere con las estomas de las plantas superiores. Con una parte de este compuesto llevan a cabo la fotosíntesis, mientras que el resto es devuelto a la atmósfera. La parte fijada se convierte en carbohidratos, a los cuales se les denomina producción primaria bruta (ppb). Un poco más de la mitad de la ppb global (60 PgC/año) se incorpora en los tejidos vegetales, mientras que la otra parte vuelve a la atmósfera en la respiración. El crecimiento anual de las plantas interpreta como carbono fijado/carbono respirado. A esta diferencia se la conoce como producción primaria neta (ppn). Con el paso del tiempo, toda la ppn regresa a la atmósfera a través de la respiración heterótrofa y los incendios naturales o antropogénicos. En la respiración heterótrofa intervienen los organismos que descomponen la MO de la biomasa muerta. Es así como se incorpora esta al suelo y se forman los almacenes de carbono [72].

5. Carbono orgánico en el suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) ayuda a mantener la fertilidad y productividad a través de la regulación de las funciones físico-químicas y biológicas [82]. La materia orgánica del suelo (MO) se relaciona con el COS. La MO está constituida principalmente por carbono, de modo que se la incluye primariamente en los inventarios de carbono para llegar a estimar valores de COS [83]. La MO se forma por la descomposición y transformación que realizan los microorganismos a los residuos vegetales y contribuye a nivel estructural en el suelo, interviene en la infiltración del agua y ayuda en la resistencia a la erosión. El carbono que contiene se llega a estabilizar en agregados o en la adsorción de minerales [84].

Los suelos son un recurso clave para mitigar el cambio climático, ya que forman parte de las cuatro mayores reservas de carbono. El suelo almacena tres veces más C que la biomasa aérea. Aunque se trata de un sumidero estable, se encuentra bastante susceptible por el cambio de uso causado por los humanos. Se cree que la conversión de bosques primarios a tierras agropecuarias está agotando las reservas naturales de COS [85]. El movimiento del COS y su reacción al cambio de uso dependen mayormente de la profundidad del sustrato [86].

E. Métodos de estimación de biomasa forestal aérea

1. Método destructivo

Teóricamente, el método destructivo para estimar la biomasa aérea de una parcela de campo es el más efectivo y preciso. Sin embargo, no es práctico talar grandes cantidades de árboles, porque no solo representa un elevado costo y mano de obra, sino que también implica la alteración del mismo bosque [87]. Este método implica cortar el árbol y pesarlo, para luego determinar su masa en seco [88].

2. Método no destructivo

El método no destructivo o indirecto se realiza mediante la utilización de un modelo alométrico que relaciona la biomasa forestal con una sola o una combinación de variables dasométricas, como el diámetro altura pecho (D) o la altura del árbol (H). En adición a estas

variables, la importancia de la densidad básica de la madera como variable predictora de los modelos de estimación de biomasa aérea se ha confirmado en numerosos estudios [89].

3. Modelos alométricos

Los modelos alométricos se refieren a ecuaciones lineales, logarítmicas o exponenciales, que relacionan diferentes variables recolectadas en campo para la estimación de biomasa aérea. Estas variables se ajustan dependiendo del modelo alométrico a utilizar, donde se realiza la combinación de 2 o más variables para realizar los cálculos [90]. Los modelos para estimar la biomasa forestal aérea abarcan desde regresiones lineales simples y múltiples hasta métodos más avanzados [91].

La principal ventaja que representa el uso de modelos alométricos se debe a que permite realizar una estimación rápida de la biomasa forestal aérea, así también permite realizar mediciones en áreas de protección donde la tala sea prohibida o restringida [90]. Entre algunas desventajas de utilizar los modelos o ecuaciones alométricas surge al momento de tomar datos en zonas remotas o de difícil de acceso, así mismo especies vegetales con un D menor a 10 cm presentan limitaciones debido a la escasez de ecuaciones desarrolladas para este tipo de especies [90].

Las estimaciones de biomasa se realizan utilizando ecuaciones alométricas ya existentes, debido a que el desarrollo de modelos locales resulta muy costoso [89]. Sin embargo, el uso de modelos que no son propios de la localización original en la que fueron desarrollados pueden resultar en márgenes de error al estimar la biomasa forestal aérea [89].

En relación a las principales variables de medición se encuentran las siguientes:

Diámetro altura pecho (D): El diámetro de los arboles medido con la cortea a una altura de 1,30 metros se denomina D, a excepción de algunos casos particulares dados por características de relieve del terreno. Es una variable de fácil medición mediante el uso de instrumentos o herramientas de fácil acceso [92].

Altura del árbol (H): Esta variable de medición se obtiene por medio de aparatos como clinómetros e hipsómetros que permiten calcular rápidamente la altura. Los clinómetros permiten medir altura e inclinación y se necesita obtener la distancia entre el árbol y el investigador que está realizando la toma de datos [92].

4. Tipos de modelos alométricos

La precisión al momento de realizar la estimación de la biomasa forestal aérea utilizando modelos alométricos depende del uso de modelos apropiados. Existen diferentes criterios al momento de seleccionar un modelo alométrico específico o de desarrollar uno para estimar la biomasa aérea de una vegetación en particular [89]. Los criterios generales para guiar la selección pueden ser la aplicabilidad, robustez y documentación [93].

De manera general se presentan dos tipos de modelos o ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa forestal aérea:

Modelos para una especie en específico: Estos modelos son para una sola especie y resultan muy precisos al momento de estimar biomasa. Sin embargo, utilizar modelos para cada especie en un área con una alta diversidad, como lo son los bosques tropicales, no es tan recomendable especialmente si se trata del método destructivo [89].

Modelos para múltiples especies: Como ejemplo se encuentran los modelos generales para especies tropicales realizados por Chave y otros, que han sido utilizados para la estimación de biomasa en diferentes tipos de bosques alrededor del mundo. Sin embargo, muchos estudios determinaron que existen sesgos en la estimación de biomasa para distintos tipos de bosques en el momento que se aplicaron estos modelos [89].

F. Métodos de estimación de carbono orgánico en el suelo (COS)

Existen diversas técnicas para calcular la materia orgánica (%MO) y carbono orgánico total (%C) [94]. En muchos inventarios de carbono en suelos, se toman muestras a una profundidad de 0 a 30cm siguiendo las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) [95]. El IPCC menciona que el COS se calcula a una profundidad por defecto de 30 cm [96]. El COS ubicado a mayores profundidades está más procesado y con mayores cantidades de compuestos microbianos, adicionalmente se menciona que es más estable [95].

1. Método de cilindro

Esté método es esencial para calcular el contenido de COS, ya que permite obtener la densidad aparente que es una variable necesaria para su cálculo. Consiste en utilizar un muestreador

o barreno con un cilindro metálico removible, o de manera manual, donde las medidas del cilindro pueden variar. Una vez extraída las muestras son secadas en estufa y luego se pesa para determinar su masa, y posteriormente se obtiene la densidad aparente [97].

2. Método de Walkley & Black

Implica la oxidación húmeda de la muestra de suelo utilizando dicromato de potasio en medio ácido [94]. El calor generado por la reacción incrementa la temperatura, lo que induce a la oxidación. El estado de oxidación del ion dicromato reducido durante la reacción con el suelo es proporcional al carbono orgánico oxidable presente en la muestra. Luego, el carbono orgánico puede estimar midiendo el dicromato residual con sulfato ferroso [98]. Sin embargo, este método solo estima el carbono fácilmente oxidable (CFO) por lo que es necesario emplear un factor de correlación, dependiendo del tipo de suelo [94].

3. Método de combustión seca

Permite determinar si él %C es exacto y preciso, pero necesita de personal calificado y llevarlo a cabo es costoso. Su principal desventaja radica en la sobrestimación del contenido de %C, en caso de que en las muestras de suelo haya presencia de carbonatos. Para poder convertir el %C a %MO, se necesita utilizar el factor propuesto por Van Bemmelen el cual asume que el 58% de la MO está compuesta por carbono [94].

4. Método de calcinación o pérdida por ignición (LOI)

Este método cuantifica directamente el contenido de materia orgánica determinando la pérdida de peso de una muestra de suelo cuando se somete a altas temperaturas. Hay varios rangos de temperatura utilizados para este método, Schulte y Hopkins desarrollaron un método de LOI que tiene como pretratamiento el secado a 105 °C durante 24 horas y luego 2 horas de ignición a 360°C. Esta técnica es caracterizada por su precisión y bajo costo para determinar %MO [94]. Para estimar el contendio de carbono, se requiere del factor mencionado de Van Bemmelen.

VII. METODOLOGÍA

A. Enfoque de investigación

El presente estudio tiene como enfoque analizar las concentraciones de carbono en vegetación y suelo. Constó de una Fase de estado del arte, Fase de identificación y selección, Fase de campo y Fase de procesamiento y análisis de muestras. Se realizó una revisión bibliográfica, observación directa en campo, recolección de muestras de suelo y análisis de datos, permitiendo así la estimación de captura de carbono en el estrato arbóreo y del suelo de los dos tipos de bosques localizados en el BPC, provincia de El Oro. Por todo ello, la naturaleza de este trabajo se ajustó a distintos enfoques, que a continuación serán detallados:

- Cuantitativa: Se concentra en la recolección y análisis de datos numéricos, con el objetivo de responder preguntas de investigación o hipótesis. Este enfoque tiene un comportamiento lineal y sistemático, en donde se plantea un problema, se realiza una revisión de la literatura, se formulan respuestas probables, se diseña una metodología, se aplican técnicas e instrumentos para la recolección de datos dependiendo del tipo de población y muestra, se realizan análisis estadísticos descriptivos y finalmente se generan inferencias basadas en métodos deductivos e inductivos [99].
- No experimental: Consiste en realizar el estudio sin una manipulación deliberada de las variables. Solamente se observa y recopila información en su estado natural [100]. Para el cálculo de índices de diversidad y carbono en biomasa se requiere tomar datos del ambiente de estudio, sin una previa manipulación de los investigadores. En el cálculo del COS, si bien se aplican métodos de laboratorio, no se manipulan las variables recolectadas en su estado natural.
- Transversal: En este enfoque la recolección de muestras se realiza en un momento determinado del tiempo. El propósito es describir las variables y su incidencia [101]. En este estudio, los datos se recolectaron en el mes de mayo y junio del presente año, y no se realizó un seguimiento a la población muestreada.

B. Variables de estudio

Variable independiente: Árboles y suelo del bosque nativo.

Variable dependiente: Cantidad de carbono capturado por cada bosque en su biomasa aérea y suelo.

C. Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el Bosque Protector Casacay, localizado entre los cantones Pasaje y Chilla, provincia de El Oro. Su superficie es de 12577,30 ha. La delimitación del BPC es similar a la subcuenca del Río Casacay, perteneciente a la cuenca del Río Jubones. Cien metros al norte se localiza el poblado de Casacay, mientras que en la parte sur se encuentra la laguna "Chilla Cocha". El BPC se encuentra rodeado por los siguientes cuerpos de agua: ríos Chilola, Colorado, Palenque, Papayacu, Huizho y Quera [102].

La cobertura del suelo se divide entre vegetación arbustiva y herbácea, páramo, plantación forestal, pastizal, mosaico agropecuario y bosque nativo, siendo los tres últimos los que ocupan mayor cantidad de superficie. La superficie del bosque semideciduo es de 380,25 ha y para el bosque siempreverde es de 615,22 ha. El terreno a partir de la subcuenca media se vuelve muy accidentado en la zona sureste, lo que complica el asentamiento de actividades antrópicas; situación que favorece a la conservación de la cobertura natural. La altura va desde los 120 a 3535 m s.n.m., con pendientes entre 5% y 47% [102].

La temperatura en el BPC oscila entre los 9°C y 24 °C, tiene una precipitación 820 a 1355 mm/ año. Posee bioclimas húmedo tropical, sub húmedo tropical, seco tropical y muy seco tropical [102].

La zona de la subcuenca baja se caracteriza por contar con sitios turísticos de recreación y gastronómicos en el balneario "La Cocha". Aguas arriba se encuentra la de captación de agua "La Esperanza", destacada por su importancia en el suministro de agua a los cantones Pasaje, El Guabo y Machala.

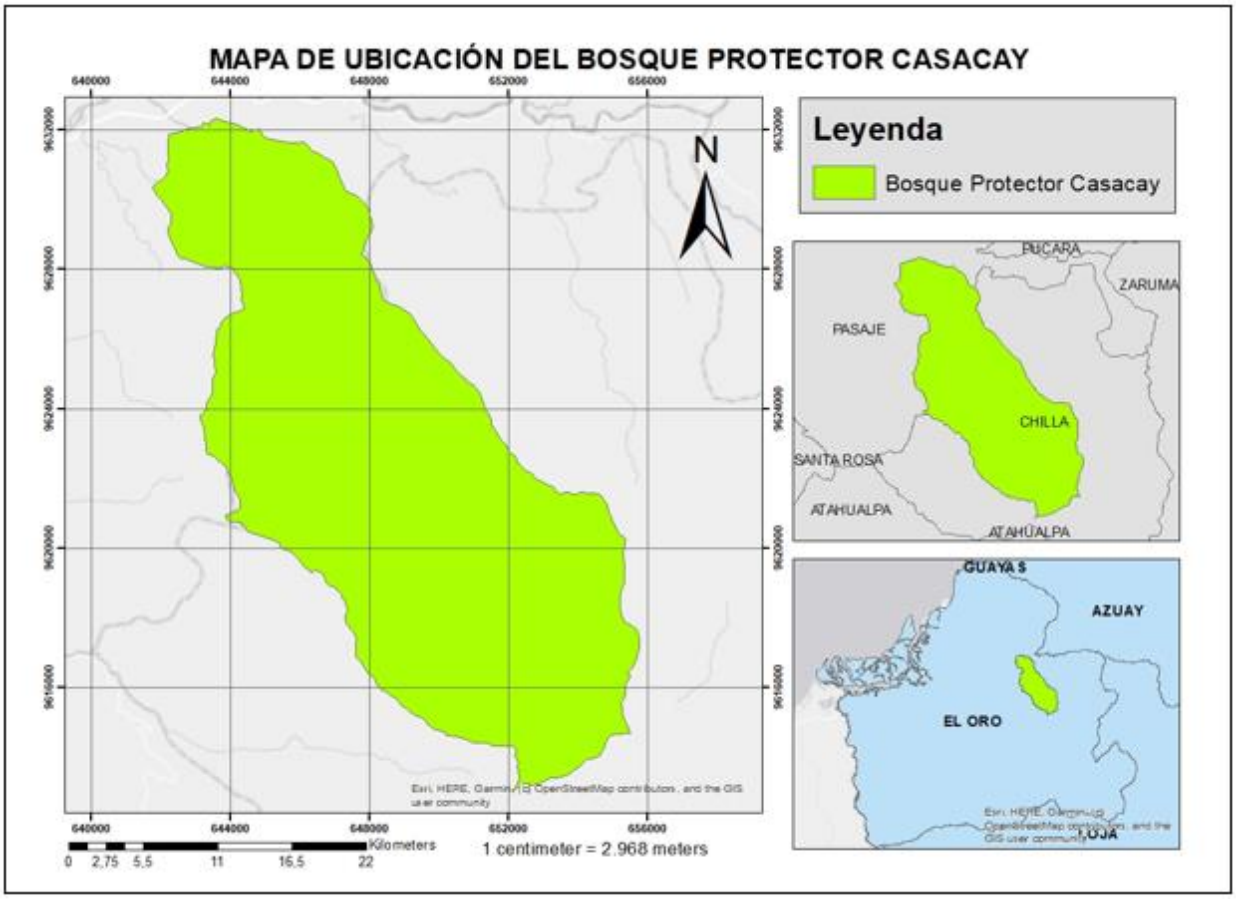


Fig. 1. Mapa de ubicación del Bosque Protector Casacay

En la **Figura 2** se observa el flujograma metodológico que representa las fases en las que se ha dividido la metodología, esta consta de 4 fases principales: Fase de estado del arte, Fase de identificación y selección, Fase de campo y Fase de procesamiento y análisis de muestras.

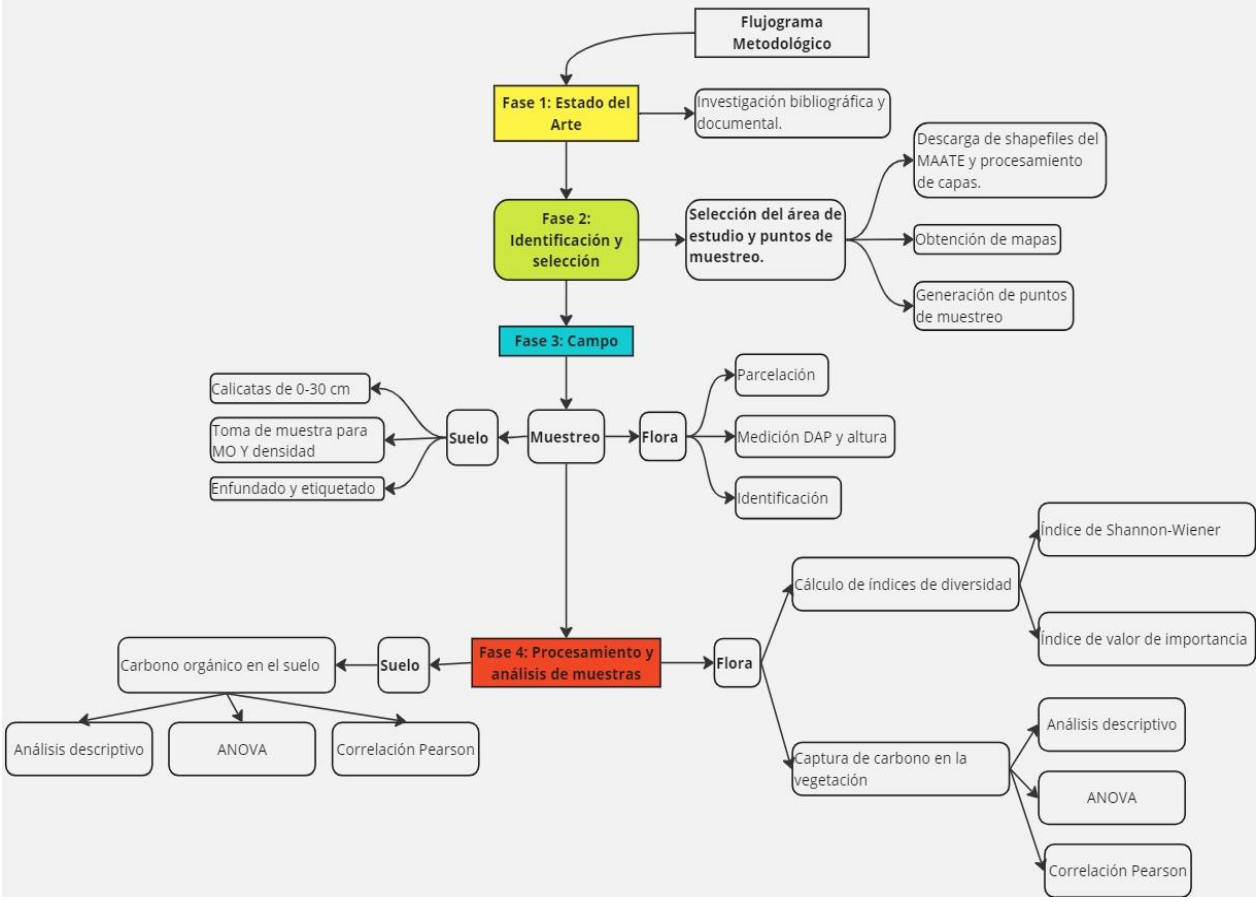


Fig. 2. Diagrama de flujo

D. Herramientas y materiales

Fase de Estado del Arte

Revisión bibliográfica y documental
- Bases de datos - Artículos científicos - Libros - Guías - PDOT del cantón Pasaje

Fase de identificación y selección

Selección del área de estudio y puntos de muestreo	
Herramientas	- Laptop - Arcmap 10.8.2 - Google Earth Pro
Insumos	- Internet - Metadatos y cartografía del MAATE (Cobertura y Uso de suelo 2022, Ecosistemas, Bosque y Vegetación Protectores del Ecuador).

Fase de campo

Elaboración de fichas y etiquetas		
Impresora	Hojas A4	Hojas Multipeg A4

Herramientas de parcelación		
Estacas	Piola	Metro

Materiales de muestreo
- Etiquetas - Fichas de datos - Esferográfico - Fundas de cierre hermético de tamaño mediano y grande.

Herramientas de muestreo	
Flora	- Cinta métrica

Suelo	- Pala - Pico - Barreta - Cilindros para muestreo de suelo

Fase de procesamiento de las muestras

Herramientas para obtención del COS			
Bata	Gramera	Crisoles	Mufla
Tamiz de 2mm		Estufa	

Análisis de carbono en biomasa y COS	
Laptop	Software de procesamiento de datos

E. Fase de Estado del Arte

Se realizó una investigación bibliográfica sobre la captura de carbono en ecosistemas de bosque nativo. Se revisaron artículos científicos, libros y guías metodológicas sobre el tema. Sobre la base de la información preliminar recopilada, se eligieron el área de estudio, el objeto de estudio, las técnicas y métodos a aplicar y se preparó la logística para el muestreo.

F. Fase de identificación y selección

1. Selección del área de estudio

Se descargaron archivos de tipo *shapefile* del mapa interactivo del MAATE. Las capas utilizadas fueron las siguientes:

- Ecosistema [103].
- Bosques y Vegetación Protectores [103].
- Cobertura de la Tierra 2022 [103].

Sobre un mapa base se añadió el *shape* de Bosques y Vegetación Protectores, en el cual se visualizan todas las áreas dentro de esta categoría en el Ecuador. Por ello fue necesario realizar un *export data* del polígono que corresponde únicamente al BPC, como se observa en la **Figura 3**.

A la capa resultante se le realizó un *clip* con el *shape* Cobertura de la Tierra 2022, de forma que se logró obtener una clasificación de la cobertura y uso de suelo para esta área en específico. A esta capa se le extrajeron los polígonos categorizados como bosque nativo, para obtener solo el área que aún conservan el estrato original. Se realizó, por último, un *intersect* con el *shape* de ecosistemas, lo cual nos permitió visualizar las áreas en que se clasifican los ecosistemas del bosque nativo y su delimitación.

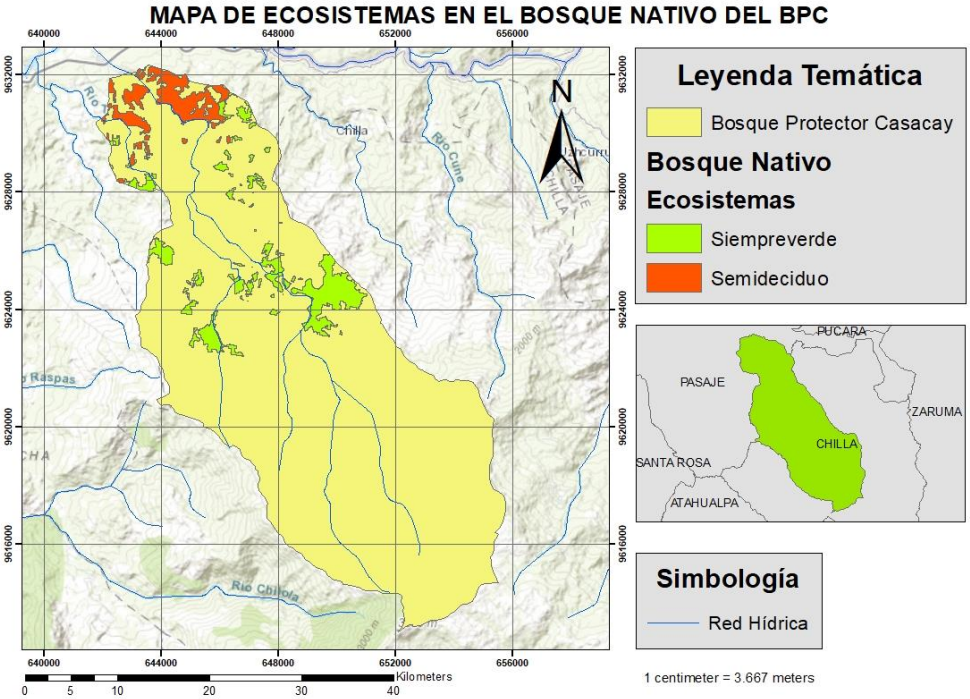


Fig. 3. Mapa de ecosistemas de bosque nativo en el BPC

2. Selección de los tipos de depósitos de carbono

El almacenamiento de carbono se da en distintos tipos de depósitos de carbono en un bosque, siendo que en unos compartimientos se almacena mucho más carbono que en otros. El IPCC [104], menciona que de manera genérica existen 5 tipos de depósitos de carbono que ocurren en un ecosistema terrestre, ilustrados en la **Tabla I**.

TABLA I TIPOS DE DEPÓSITOS DE CARBONO

Tipo de Depósito		Descripción
Biomasa viva	Biomasa sobre el suelo	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, incluyendo troncos, tocones vivos, ramas, cáscaras, semillas y hojas. Se evalúa por separado la biomasa aérea arbórea y la no arbórea para facilitar las mediciones.
	Biomasa subterránea	Toda la biomasa de raíces vivas. Excluyendo raíces finas de menos de 2 mm de diámetro.
Materia orgánica muerta	Madera muerta	Toda biomasa forestal no viva: troncos caídos, árboles muertos en pie, y tocones mayores de 10 cm de diámetro
	Hojarasca	Toda la biomasa no viva sobre el suelo en diferentes estados de descomposición.
Suelos	Materia orgánica del suelo	Comprende el carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos a una profundidad específica seleccionada por el proponente del proyecto.
		Raíces finas vivas con diámetro menor de 2 mm

Fuente: [104]

No todos los proyectos necesariamente calculan cada uno de los depósitos de carbono, los diseños de medición y monitoreo varían según el tipo de proyecto y los recursos disponibles para realizar las mediciones [105]. Los compartimientos o depósitos que más carbono almacenan son la biomasa aérea viva y la MO en el suelo [106]. Por esta razón, se analizaron dichos compartimientos para hacer la comparación de almacenamiento de carbono en ambos ecosistemas.

3. Determinación de parcelas

Aplicando un muestreo aleatorio, se generaron diez puntos al azar dentro del bosque semideciduo y otros diez para bosque siempreverde del BPC.

De acuerdo a la guía para medición de carbono en pequeñas localidades [107], el número de parcelas se determina mediante un modelo matemático que una de sus variables son los datos preliminares de promedio de stock de carbono en el sitio, información de la cual se carece por ausencia de estudios. De forma que la selección de las veinte parcelas se alinea al CAP y densidad de vegetación, así como al presupuesto, tiempo e inseguridad tolerable por parte del equipo

investigador; factores que también se deben de tomar en cuenta para decidir el tamaño de las parcelas, según la guía [107].

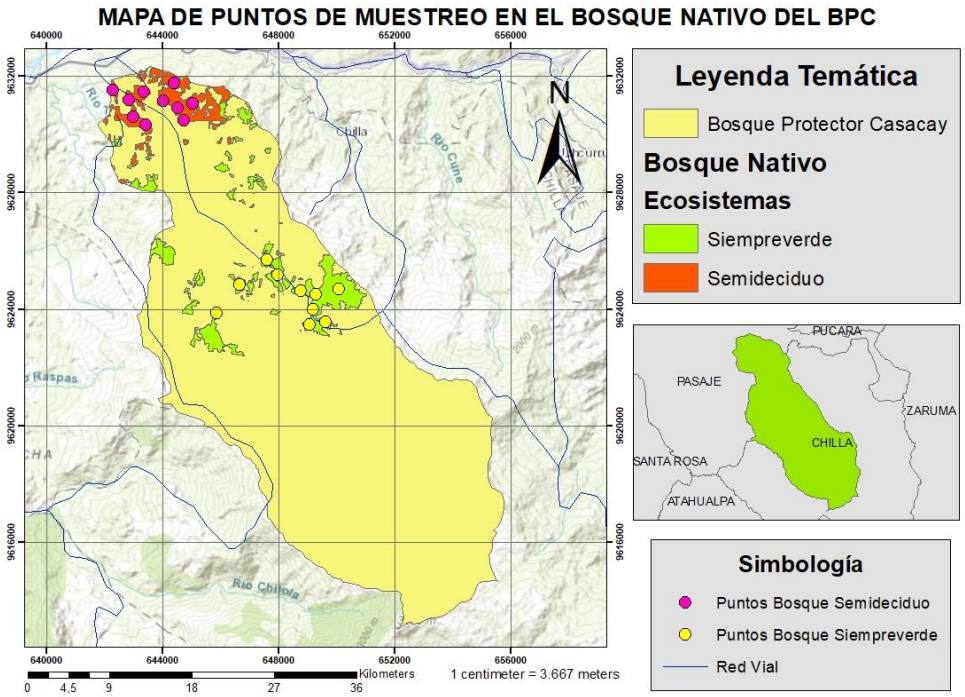


Fig. 4. Mapa de ecosistemas de puntos de muestreo en el bosque nativo en el BPC

4. Tamaño y forma de parcelas

Las parcelas fueron cuadradas, de 20x20 metros (400 m^2).

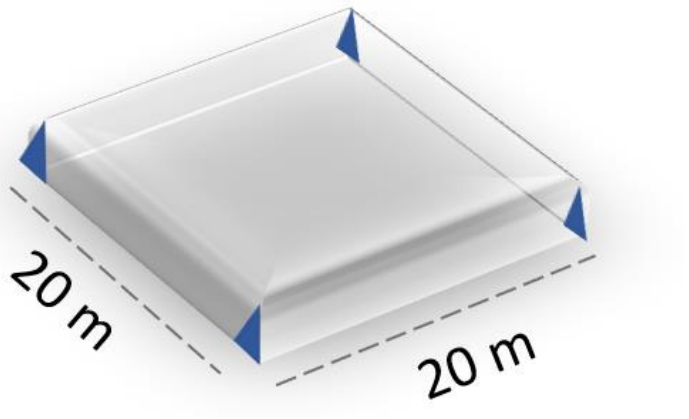


Fig. 5. Tamaño y forma de las parcelas

G. Fase de campo

1. Determinación de rutas

Para la logística del muestreo, a cada parcela se la asignó un número, el cual se refiere al orden en que serán trabajadas en campo. De acuerdo al orden de las parcelas, se siguieron las rutas disponibles en la subcuenca. Se imprimieron mapas y se añadieron los puntos de cada parcela en la aplicación *Google Maps* para llegar de forma certera a cada sitio y optimizar el tiempo de cada salida a campo.

Fig. 6. Ruta de los puntos de muestreo en el bosque semideciduo

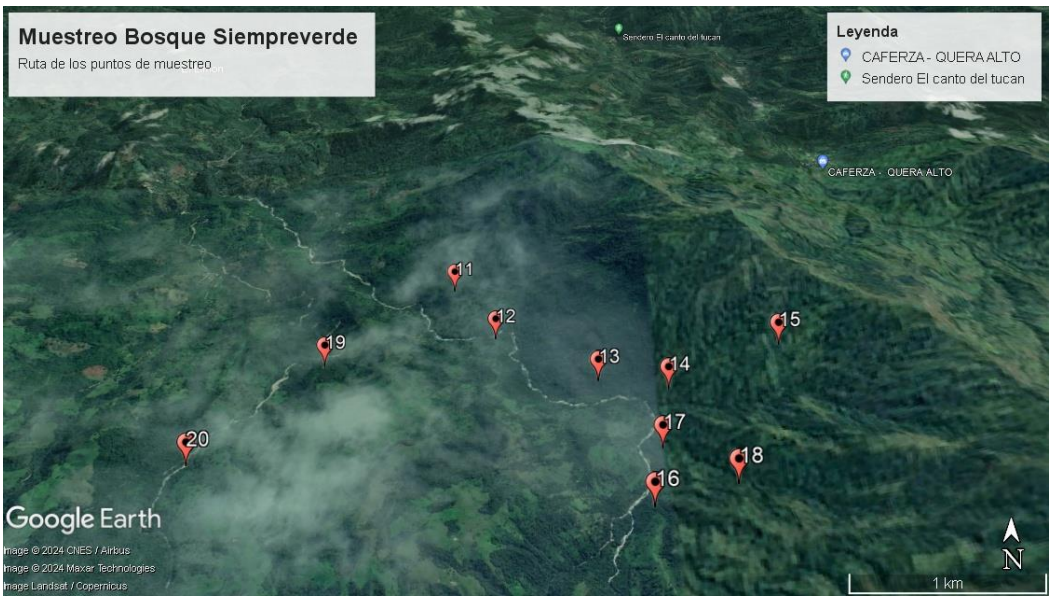


Fig. 7. Ruta de los puntos de muestreo en el bosque siempreverde

2. Elaboración de fichas de datos

Los datos dasométricos medidos en campo necesitan ser anotados de inmediato en fichas cuya organización demuestre claramente a qué parcela pertenece cada grupo de datos, el número de individuos por parcela, el nombre de cada individuo y sus correspondientes medidas de H y D.

Las fichas fueron impresas en hojas A4 y fueron llevadas a campo enfundadas y en una carpeta, para protegerlas de la humedad. El formato de las fichas se encuentra en el **Anexo A**.

3. Elaboración de etiquetas

Las muestras siempre requieren ser etiquetadas. La información que se incluyó fue el número de parcela al cuál perteneció cada muestra, las coordenadas, fecha, hora y profundidad. Fueron impresas en hojas adhesivas tamaño A4. El formato de las etiquetas se puede visualizar en el **Anexo C**.

4. Sistema de codificación

Se obtuvo información de las especies arbóreas típicas del área de estudio, la cual también fue impresa y llevada a campo, para poder reconocer el nombre de las especies. Sin embargo, se anticipó que existan especies que no se logren reconocer en el momento, por lo que requerirían ser reconocidas en oficina. Ya que las fichas requieren de un nombre de especie, fue necesario tener un sistema de códigos para asignarles a las que no se consiguieron reconocer.

A las especies que no pudieron ser reconocidas se les tomó una fotografía completa, de sus hojas, flores y tronco. A este grupo de imágenes se les asignó un código, el cual es el mismo que se digitó en las fichas.

El sistema de codificación fue sencillo y se compuso de dos partes: un prefijo alfabético y un sufijo numérico. Se le asignó una letra a cada especie que no fue reconocida y un número de acuerdo a su frecuencia:

A_01 (Primera especie no reconocida _ primer individuo de la especie).

A_02 (Primera especie no reconocida _ segundo individuo de la especie).

B_01 (Segunda especie no reconocida _ primer individuo de la especie).
B_02 (Segunda especie no reconocida _ segundo individuo de la especie).

5. Criterio de selección de especies arbóreas

Para la identificación y toma de datos dasométricos de la vegetación leñosa presentes en las parcelas de 400 m^2, se tomaron en cuenta únicamente las especies con un D mayor o igual a 10cm [108]. Además, se identificaron aquellas especies forestales que están en un buen estado.

6. Caracterización botánica

En cuanto a la caracterización de las especies presentes, se utilizaron libros, tales como el "Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental", así mismo mediante el uso de aplicaciones que permiten identificar especies vegetales tales como iNaturalist y bases de datos como GBIF.

7. Medición y cálculo del diámetro altura pecho (D)

Es uno de los parámetros más importantes y representa el volumen o peso de un árbol, que puede transformarse en biomasa por unidad de superficie (toneladas/hectárea o toneladas/hectárea/año). Esta variable normalmente es de fácil medición, es medida a 1,30 m sobre el suelo [107]. En la **Figura 8** se observa las distintas maneras para hacer la medición del CAP de árboles.

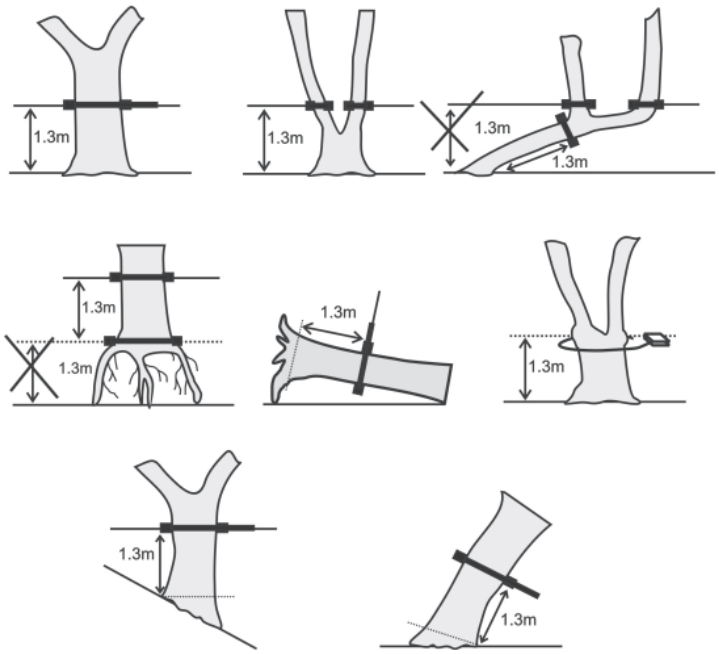


Fig. 8. Diámetro a la altura del pecho para diferentes formas y tipos de árboles

Fuente: [104]

Para la obtención de la circunferencia altura pecho (CAP) se utilizó cinta métrica convencional, este valor es el que se reemplaza en la siguiente ecuación para el cálculo del D:

$$D = \frac{CAP}{\pi} \qquad (1)$$

D= Diámetro a la altura del pecho

CAP= Circunferencia a la altura del pecho

π= 3,1416

8. Medición de la altura del árbol

Luego del D, la altura del árbol es también un indicador importante del volumen o peso de un árbol, por lo que es usado en muchas ecuaciones alométricas junto con el dato de D. Generalmente, la altura del árbol se refiere a la altura total del árbol definida como la distancia vertical desde el nivel del suelo hasta el punto más alto [104].

La medición de la altura puede realizarse mediante la utilización de distintos métodos, tales como la medición mediante el uso de instrumentos como el clinómetro o hipsómetro [104]. En este caso debido a la densidad de árboles presente, se dificultó la utilización de instrumentos como los ya mencionados, por lo que se estimó la altura.

9. Obtención de la densidad de la madera

La densidad de la madera es otra variable significativa que considera Chave, para su obtención se utilizó la "Global wood density database" [109]. Para aquellas especies cuyo valor no se encuentre en la base de datos, se utilizó el valor por género o familia.

10. Recolección de muestras de suelo

Debido a que la entrada de la materia orgánica del suelo se debe en su mayoría a los residuos existentes sobre el suelo, la materia orgánica del suelo forestal tiende a acumularse en los horizontes superiores del suelo, siendo así que aproximadamente la mitad del COS de los 100cm superiores del suelo se mantienen en la capa superior de 30cm [104].

Por esta razón, las muestras de suelo fueron recolectadas a una profundidad de 0 a 30cm, se diseñó un triángulo dentro de la parcela de 10m cada lado y en cada vértice se tomaron muestras individuales a la profundidad mencionada para así obtener una muestra compuesta [110]. Se obtuvieron muestras de 500g, al finalizar se colocó en una funda Ziploc numerada y con su respectiva etiqueta para, en la fase de laboratorio, determinar la MO [108].

H. Fase de procesamiento de muestras y datos

1. Cálculo de índices de diversidad

a) Índice de Shannon-Wiener

Una vez identificadas las especies de la zona de estudio se realizó el cálculo del índice de Shannon-Wiener, para obtener la diversidad específica del área. Para su cálculo se hace uso de la siguiente ecuación [64]:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} p_i * \ln p_i \qquad (2)$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde

H' = Índice de Shannon-Wiener

S= número de especies (riqueza de especies)

p_i= proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos

ni = número de individuos de la especie i

N = Número de todos los individuos de todas las especies

El valor del índice varía de 0 al ln(s), cuanto más cercano es a 0 hace referencia a comunidades con baja diversidad, mientras que cuando es cercano o igual al logaritmo de la riqueza específica determina una zona con alta diversidad de especies [65].

b) Índice de valor de importancia (IVI)

El índice de valor de importancia determina aquellas especies que aportan a la composición y carácter de un ecosistema. Para su cálculo se debe realizar la sumatoria de la frecuencia, densidad y dominancia relativas [64].

$$Frecuencia\ relativa = \frac{Frecuencia\ de\ la\ sp}{Sumatoria\ de\ Frecuencias\ de\ todas\ las\ spp} x100 \qquad (3)$$

$$Densidad\ relativa = \frac{\#\ de\ individuos\ de\ la\ sp}{\#\ total\ de\ individuos} x100 \qquad (4)$$

$$Dominancia\ relativa = \frac{Dominancia\ de\ la\ sp}{Sumatoria\ de\ la\ dominanica\ de\ todas\ las\ spp} x100 \qquad (5)$$

c) Densidad absoluta

Permite conocer el número de individuos por especie presentes en la comunidad [65], para lo cual se usa la siguiente fórmula:

$$Densidad\ absoluta = \frac{\#\ total\ de\ individuos\ de\ la\ sp}{Total\ de\ area\ muestreada} x100 \qquad (6)$$

d) Frecuencia absoluta

Se considera el número de veces en los que una especie se repite en una cantidad específica de parcelas, permite evaluar la contribución de las especies a la comunidad [65], para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$Frecuencia\ absoluta = \frac{\#\ de\ veces\ de\ sp\ presente\ en\ las\ parcelas}{\#\ de\ parcelas\ muestreadas} \qquad (7)$$

e) Dominancia absoluta

Se considera que una especie es dominante cuando influye considerablemente en la estructura de una comunidad, estas especies son ecológicamente importantes y son abundantes en la comunidad [65]. Su cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$Dominancia\ absoluta = \frac{Area\ Basal}{Tamaño\ de\ parcelas\ muestreadas} \qquad (8)$$

2. Cálculo de la captura de carbono en biomasa

La estimación de carbono se realizó utilizando el método indirecto, el cual consiste en la obtención de datos dasométricos para calcular la biomasa aérea mediante la aplicación de un modelo alométrico. Los modelos alométricos utilizados fueron los propuestos por Chave en el 2005, para los cuales es necesario las variables de altura total del árbol, diámetro altura pecho y densidad de la madera. Esta ecuación permite obtener el valor de la biomasa aérea viva,

posteriormente mediante un factor de conversión se obtiene el total de carbono capturado por las especies arbóreas.

a) Cálculo de la biomasa aérea viva

En relación a los modelos sugeridos por Chave [111], están los siguientes:
Bosque seco tropical (utilizada para el bosque semideciduo)

$$BA_{est} = \exp(-2{,}187 + 0{,}916 * \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.112 * (\rho D^2 H)^{0{,}916} \quad (9)$$

Bosque húmedo tropical (utilizada para el bosque siempreverde)

$$BA_{est} = \exp(-2{,}977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0{,}0509 * \rho D^2 H \quad (10)$$

Donde
BA_{est}= Biomasa aérea estimada (kg MS/árbol)
ρ= Densidad de la madera (g/cm^3)
D= Diámetro altura pecho (cm)
H= Altura total del árbol (m)

b) Cálculo de la biomasa en toneladas por hectárea

Una vez obtenido la biomasa aérea, se debe calcular la biomasa aérea total en megagramos o toneladas por hectárea (ambas unidades equivalen lo mismo), debido a que en la mayoría de investigaciones la biomasa aérea se representa en estas unidades (t/ha), se multiplicó el valor obtenido por parcela, con el factor de conversión utilizando el tamaño de parcela (400 m^2) [106].

$$BA = \sum \left(\frac{AU}{1000}\right) * \left(\frac{10000}{\text{área de la parcela}}\right) \quad (11)$$

BA= Biomasa arbórea sobre el suelo (t/ha)
$\sum AU$= Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg MS)

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

Factor 10000= Conversión del área (m^2) a hectárea (ha)

c) Cálculo del stock de carbono en la biomasa aérea

Se asume que el valor de contenido de carbono en la biomasa aérea de cada árbol es del 50% y se utiliza la siguiente ecuación [92]:

$$CBA = (BA * CF) \quad (12)$$

CBA= Carbono en la biomasa aérea (t/ha)

BA= Biomasa arbórea sobre el suelo (t/ha)

CF= Fracción de carbono (t C/t MS). El valor estándar es de 0,50

3. Cálculo de las variables para COS

a) Densidad aparente

Para la estimación del COS es necesario conocer el valor de densidad aparente, por lo que se optó por el uso del método del cilindro de volumen conocido para lo cual Schlegel [108], menciona los siguientes pasos a realizar:

- Uso de cilindro con un volumen conocido (230,20 cm^3)
- Preparar de la superficie del suelo a una profundidad de 15cm
- Incrustar el cilindro en el suelo
- Colocar la muestra de suelo en una funda o bolsa de papel enumerada
- Luego llevar a laboratorio para secar en horno a 105°C durante 24 horas.
- Terminado el secado, se pesa la muestra
- Calcular la densidad aparente

La fórmula utilizada para el cálculo es la siguiente [112]:

$$DA = \frac{PSN}{VCH} \quad (13)$$

DA= Densidad aparente (g/cm^3)

PSN= Peso seco del suelo del cilindro (g)

VCH= Volumen del cilindro (cm^3)

b) Materia orgánica en el suelo

Para la estimación del %MO del suelo se optó por el método de calcinación o ignición propuesto por Schulte y Hopkins, siguiendo estos pasos [94]:

- Se tamizó las muestras en un tamiz de 2 mm.
- Se pesaron 5g de muestra en crisoles.
- Se colocaron los crisoles en estufa durante 24 horas a 105 °C.
- Se enfriaron las muestras con un desecador, durante 15 a 20 minutos, para luego pesarlas.
- Luego se colocaron durante 2 horas en una mufla a 360 °C, después se pasaron a un desecador y luego de enfriarse se vuelve a tomar el peso.

El cálculo del %MO se obtiene por una diferencia de peso para lo cual, se aplica la siguiente ecuación [94]:

$$\%MO = \frac{(peso\ 105°C - peso\ 360°C)}{peso\ 105°C} * 100 \quad (14)$$

%MO= Porcentaje de materia orgánica (%)

Peso 105 °C= Peso seco del suelo

Peso 360 °C= Peso calcinado del suelo

100= Permite transformar el resultado a porcentaje

c) Cálculo del porcentaje de carbono orgánico total

Para estimar el %C a partir del %MO se utilizó el factor de Van Bemmelen de 1,724, ya que supone que en la composición de la materia orgánica el 58% es carbono [94].

$$\%C = \frac{\%MO}{1.724} \quad (15)$$

%C= Porcentaje de carbono orgánico total (%)
%MO= Porcentaje de materia orgánica (%)
1,724= Factor de Van Bemmelen

d) Cálculo del stock de carbono en el suelo

Para el cálculo final, acerca del contenido de carbono en el suelo, se utiliza la siguiente ecuación [110]:

$$COS = DA * \%C * P \quad (16)$$

Donde
COS= Contenido de carbono (t/ha)
DA= Densidad aparente (g/cm^3)
%C= Carbono orgánico total (%)
P= Profundidad (cm)

4. Análisis estadístico de resultados

Fue utilizado el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), en donde se realizó la comparación de las variables y resultados mediante un análisis descriptivo que incluyó las medias, desviación estándar, máximos y mínimos. Se realizó un análisis de varianza ANOVA en conjunto con la prueba de Levene para el carbono en biomasa y el COS, para comprobar el comportamiento de la varianza entre los dos ecosistemas. Se aplicó la prueba de correlación de Pearson entre las variables dependientes e independientes, para identificar el grado de influencia que tuvieron estas últimas sobre los resultados. Para clasificar el nivel de relación, este se lo interpretó por medio del coeficiente (R), donde Hernández et al. [113], lo clasifica de la siguiente

forma: correlación nula de 0 a 0,10, correlación débil de 0,11 a 0,30, moderada de 0,31 a 0,50 y fuerte de 0,51 a 1. Finalmente, acorde a las correlaciones identificadas, se generaron gráficas de dispersión y de cajas que demostraron el nivel de relación existente.

VIII. RESULTADOS

A. Índice de diversidad de especies arbóreas

En el siguiente apartado se presentan los resultados de diversidad obtenidos del registro de las especies identificadas, ubicando información básica como nombre común, nombre científico y familia.

1. Especies arbóreas identificadas en el ecosistema de bosque semideciduo

En la **Tabla II** están las especies de árboles identificadas en las 10 parcelas levantadas en el ecosistema de bosque semideciduo del BPC, con 154 individuos, divididos en 13 especies las pertenecientes a 10 familias.

TABLA II ESPECIES ARBÓREAS IDENTIFICADAS EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SEMIDECIDUO

Número	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Ninguno	*Aegiphila alba*	Lamiaceae
2	Guarumo	*Cecropia peltata*	Urticaceae
3	Higuerón	*Ficus insipida*	Moraceae
4	Palo de ajo	*Gallesia integrifolia*	Petiveriaceae
5	Majaguillo	*Heliocarpus Americanus*	Malvaceae
6	Pechiche	*Minquartia guianensis*	Olacáceae
7	Cebolleta	*Miconia sp.*	Melastomataceae
8	Balsa	*Ochroma pyramidale*	Malvaceae
9	Higuillo	*Piper aduncum*	Piperaceae
10	Damagua	*Poulsenia armata*	Moraceae
11	Ciruela de huesito	*Spondias purpurea*	Anacardiaceae
12	Cacao nacional	*Theobroma cacae*	Malvaceae
13	Fernán Sánchez	*Triplaris cumingiana*	Polygonaceae

En la **Figura 9** se observa la abundancia de individuos por especie. Siendo así que la especie *Cecropia peltata* fue la más abundante con 42 individuos y un porcentaje representativo del 27,27%, seguida de las especies *Triplaris cumingiana* con 24 individuos alcanzando un porcentaje del 15,58%, *Ficus insípida* con 19 individuos con un porcentaje del 12,34% y *Piper aduncum* con 15 individuos con un porcentaje de 9,74%. En cambio, las especies con menor abundancia (< de

10 individuos) fueron las siguientes: *Heliocarpus americanus* y *Theobroma cacae* con 5,84%, *Ochroma pyramidale*, *Poulsenia armata* y *Spondias purpurea* con 5,19%, *Aegiphila alba* con 3,25%, *Minquartia guianensis* con 2,60%, *Gallesia integrifolia* con 1,30% y *Miconia sp* con un único individuo 0,65%.

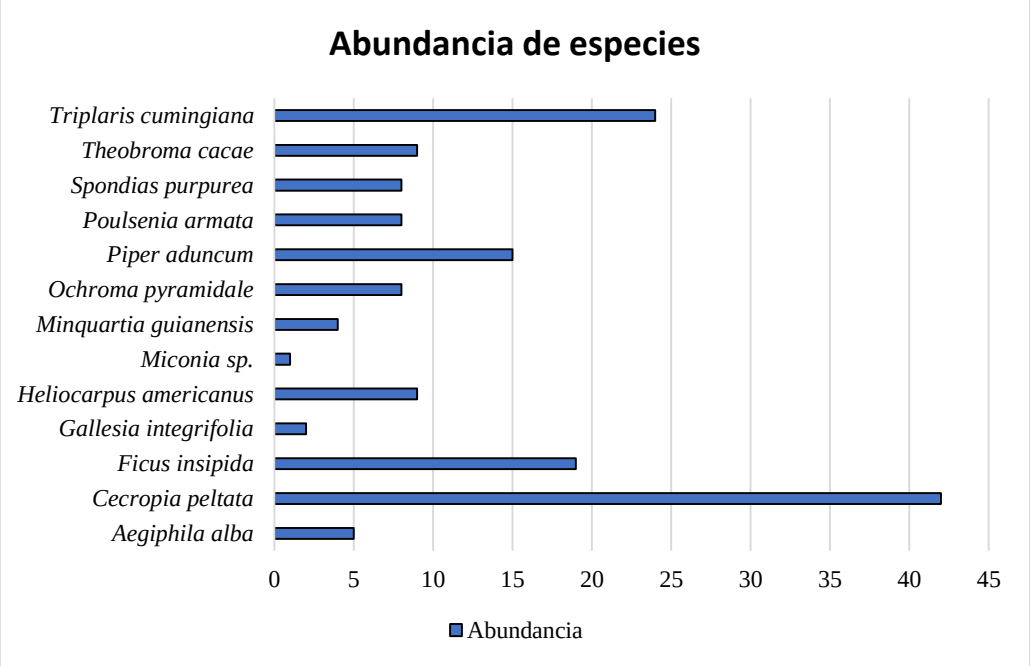


Fig. 9. Abundancia de especies en el ecosistema de bosque semideciduo

a) Diversidad de especies

En el cálculo de diversidad de especies en los ecosistemas se aplicó el índice de Shannon-Wiener. Resultó un índice de 2,22, para el ecosistema de bosque semideciduo en el BPC, tal como se detalla en la **Tabla III**. Considerando el valor de logaritmo natural de la riqueza de especies es 2,56, se puede mencionar que existe una diversidad media alta, ya que el valor obtenido del índice de Shannon-Wiener se aproxima al logaritmo de la riqueza de especies.

TABLA III DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SEMIDECIDUO

Especie	Individuos	Pi	Pi*Ln(Pi)
Aegiphila alba	5	0,0325	-0,1113
Cecropia peltata	42	0,2727	-0,3543
Ficus insipida	19	0,1234	-0,2582

Gallesia integrifolia	2	0,0130	-0,0564
Heliocarpus Americanus	9	0,0584	-0,1660
Minquartia guianensis	4	0,0260	-0,0948
Miconia sp.	1	0,0065	-0,0327
Ochroma pyramidale	8	0,0519	-0,1536
Piper aduncum	15	0,0974	-0,2268
Poulsenia armata	8	0,0519	-0,1536
Spondias purpurea	8	0,0519	-0,1536
Theobroma cacae	9	0,0584	-0,1660
Triplaris cumingiana	24	0,1558	-0,2897
Total	154	1	-2,22 * (-1)= 2,22

b) Dominancia de especies

Para la determinación de la dominancia de especies se aplicó el índice de valor de importancia (IVI), que involucra la frecuencia, densidad y dominancia relativas. Además, se realizó el cálculo del área basal por especie para la obtención de la dominancia. En la **Tabla IV** se observan cada uno de los valores mencionados, en cuanto al IVI las especies más abundantes fueron *Cecropia peltata* con un valor de 17,486%; seguida de *Minquartia guianensis* con 15,930%; *Triplaris cumingiana* con 11,482% y *Ficus insípida* con 10,180%.

TABLA IV DETERMINACIÓN DEL IVI POR ESPECIE EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SEMIDECIDUO

Especie	AB (m^2)	FR (%)	DeR (%)	DoR (%)	IVI (%)
Aegiphila alba	0,015	5,882	3,247	3,308	4,146
Cecropia peltata	0,033	17,647	27,273	7,540	17,486
Ficus insipida	0,020	13,725	12,338	4,476	10,180
Gallesia integrifolia	0,020	1,961	1,299	4,476	2,579
Heliocarpus americanus	0,017	7,843	5,844	3,951	5,879
Miconia sp.	0,018	1,961	0,649	4,160	2,257
Minquartia guianensis	0,173	5,882	2,597	39,310	15,930
Ochroma pyramidale	0,030	3,922	5,195	6,719	5,278
Piper aduncum	0,016	11,765	9,740	3,581	8,362
Poulsenia armata	0,039	5,882	5,195	8,943	6,673
Spondias purpurea	0,015	5,882	5,195	3,456	4,844
Theobroma cacae	0,022	3,922	5,844	4,945	4,904
Triplaris cumingiana	0,023	13,725	15,584	5,136	11,482
Total		100	100	100	100

Nota: AB es el área basal, FR es la frecuencia relativa, DeR es la densidad relativa, DoR es la dominancia relativa y el IVI corresponde al índice de valor de importancia.

2. Especies arbóreas identificadas en el ecosistema de bosque siempreverde

En la **Tabla V** se observan los especímenes de árboles identificadas en las 10 parcelas levantadas en el ecosistema de bosque siempreverde del BPC, registrando un total de 197 individuos, divididos en 18 especies las cuales pertenecen a 15 familias.

TABLA V ESPECIES ARBÓREAS IDENTIFICADAS EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SIEMPREVERDE

Número	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Ninguno	*Aegiphila alba*	Lamiaceae
2	Paukantsa	*Alchornea glandulosa*	Euphorbiaceae
3	Palma real	*Attalea colenda*	Arecaceae
4	Palo María	*Calophyllum longifolium*	Calophyllaceae
5	Guarumo	*Cecropia peltata*	Urticaceae
6	Cedro	*Cedrela montana*	Meliaceae
7	Laurel blanco	*Cordia alliodora*	Boraginaceae
8	Copal	*Dacryodes peruviana*	Burseraceae
9	Higuerón	*Ficus insipida*	Moraceae
10	Majaguillo	*Heliocarpus americanus*	Malvaceae
11	Pambil	*Iriartea deltoidea*	Arecaceae
12	Cebolleta	*Miconia sp.*	Melastomataceae
13	Pechiche	*Minquartia guianensis*	Olacáceae
14	Balsa	*Ochroma pyramidale*	Malvaceae
15	Higuillo	*Piper aduncum*	Piperaceae
16	Damagua	*Poulsenia armata*	Moraceae
17	Ciruela de huesito	*Spondias purpurea*	Anacardiaceae
18	Zaputi	*Symphonia globulifera*	Clusiaceae

En la **Figura 10** se observa la abundancia de individuos por especie para el ecosistema de bosque siempreverde. Siendo así que la especie *Ficus insipida* fue la más abundante con 34 individuos y un porcentaje del 17,26%, seguida de las especies *Miconia sp* con 31 individuos y un porcentaje del 15,74%, *Poulsenia armata* con 26 individuos y un porcentaje del 13,20%. En cambio, las especies con porcentajes de abundancia menores al 10%, fueron las siguientes: *Alchornea glandulosa* con 9,64%, *Iriartea deltoida* con 6,60%, *Heliocarpus americanus* con 6,09%, *Aegiphila alba* y *Spondias purpura* con 5,08%, *Cecropia peltata* y *Piper aduncum* con 3,55%, *Cedrela montana* y *Dacryodes peruviana* con 2,54%, *Calophyllum longifolium* y *Cordia alliodora* con 2,03%, *Attalea colenda*, *Minquartia guianensis* y *Ochroma pyramidale* con 1,52% y *Symphonia globulifera* con 0,51%.

Fig. 10. Abundancia de especies en el ecosistema de bosque siempreverde

a) Diversidad de especies

Se calculó un índice de Shannon-Wiener de 2,54 para el ecosistema de bosque siempreverde en el BPC, tal como se detalla en la **Tabla VI**. Considerando que el valor de logaritmo de riqueza de especies es 2,89 se determina que existe una diversidad media alta en este ecosistema.

TABLA VI DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SIEMPREVERDE

Especie	Individuos	Pi	Pi*Ln(Pi)
Aegiphila alba	10	0,0508	-0,1513
Alchornea glandulosa	19	0,0964	-0,2256
Attalea colenda	3	0,0152	-0,0637
Calophyllum longifolium	4	0,0203	-0,0791
Cecropia peltata	7	0,0355	-0,1186
Cedrela montana	5	0,0254	-0,0932

Cordia alliodora	4	0,0203	-0,0791
Dacryodes peruviana	5	0,0254	-0,0932
Ficus insipida	34	0,1726	-0,3032
Heliocarpus americanus	12	0,0609	-0,1705
Iriartea deltoidea	13	0,0660	-0,1794
Miconia sp.	31	0,1574	-0,2910
Minquartia guianensis	3	0,0152	-0,0637
Ochroma pyramidale	3	0,0152	-0,0637
Piper aduncum	7	0,0355	-0,1186
Poulsenia armata	26	0,1320	-0,2673
Spondias purpurea	10	0,0508	-0,1513
Symphonia globulifera	1	0,0051	-0,0268
Total	197	1	-2,54 * (-1)= 2,54

b) Dominancia de especies

En la **Tabla VII** se observan cada uno de los valores necesarios para calcular el valor del IVI, en cuanto al IVI la especie más dominante fue la especie *Ficus insipida* con un valor de 11,658%, seguido de la especie *Miconia sp.* con 10,262%, la especie *Poulsenia armata* con 9,254%, la especie *Cedrela montana* con 7,557% y *Alchornea glandulosa* con 7,222%.

TABLA VII DETERMINACIÓN DEL IVI POR ESPECIE EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE SIEMPREVERDE

Especie	AB (m^2)	FR (%)	DeR (%)	DoR (%)	IVI (%)
Aegiphila alba	0,030	4,839	5,076	3,286	4,400
Alchornea glandulosa	0,036	8,065	9,645	3,956	7,222
Attalea colenda	0,032	3,226	1,523	3,448	2,732
Calophyllum longifolium	0,071	1,613	2,030	7,800	3,814
Cecropia peltata	0,033	6,452	3,553	3,639	4,548
Cedrela odorata	0,155	3,226	2,538	16,908	7,557
Cordia alliodora	0,055	3,226	2,030	6,021	3,759
Dacryodes peruviana	0,085	3,226	2,538	9,253	5,006
Ficus insipida	0,029	14,516	17,259	3,199	11,658
Heliocarpus americanus	0,042	4,839	6,091	4,619	5,183
Iriartea deltoidea	0,033	8,065	6,599	3,610	6,091
Miconia sp.	0,034	11,290	15,736	3,759	10,262
Minquartia guianensis	0,025	1,613	1,523	2,725	1,953
Ochroma pyramidale	0,042	4,839	1,523	4,630	3,664
Piper aduncum	0,019	4,839	3,553	2,110	3,501
Poulsenia armata	0,030	11,290	13,198	3,274	9,254
Spondias purpurea	0,022	3,226	5,076	2,395	3,566

Symphonia globulifera	0,141	1,613	0,508	15,369	5,830
Total		100	100	100	100

Nota: AB es el área basal, FR es la frecuencia relativa, DeR es la densidad relativa, DoR es la dominancia relativa y el IVI corresponde al índice de valor de importancia.

B. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea

Para la cuantificación del carbono en biomasa, se analizaron previamente las estadísticas descriptivas de los valores dasométricos de las especies de ambos ecosistemas. Luego se procedió a estimar el contenido de C en biomasa por ecosistema. Por último, se realizó una correlación para estimar el efecto de los valores dasométricos en las medias finales.

1. Características dasométricas del estrato arbóreo de los ecosistemas

La **Tabla VIII** muestra las medias de los datos dasométricos tomados en las parcelas establecidas en cada ecosistema, así como las medias de los cálculos de biomasa y su contenido de C. En cada una de las variables que se ocuparon para calcular biomasa (D, H y ρ), se demuestra que el ecosistema siempreverde posee valores ligeramente más altos respecto al ecosistema de bosque semideciduo. La D media en bosque siempreverde fue de 21,45 cm y en semideciduo de 18,79 cm. La media de H en bosque siempreverde fue de 15,86 m y de 14,12 m en semideciduo. La ρ media en bosque siempreverde fue de 0,44 g/cm^3 y de 0,39 g/cm^3. Dichos valores contribuyeron a que las medias resultantes en biomasa y su contenido de C, en el ecosistema siempreverde, sean mayores. La biomasa para este fue de 114,30 t/ha, mientras que en el bosque semideciduo resultó en 79,21 t/ha. Finalmente, la media de contenido de carbono en bosque siempreverde fue de 57,15 t/ha y en el semideciduo de 39,60 t/ha.

TABLA VIII ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LOS PARÁMETROS ARBÓREOS POR ECOSISTEMA

Variable	Ecosistema	Media	Desviación Estándar	Min	Max
Carbono en biomasa	Siempreverde	57,15	28,29	17,88	105,69
	Semideciduo	39,60	28,58	5,09	89,41
Biomasa	Siempreverde	114,31	56,58	35,77	211,37
	Semideciduo	79,21	57,17	10,17	178,82
D	Siempreverde	21,45	3,23	16,09	26,84

	Semideciduo	18,79	3,68	13,94	24,06
H	Siempreverde	15,86	0,67	14,96	17,05
	Semideciduo	14,12	4,46	5,47	17,73
ρ	Siempreverde	0,44	0,01	0,42	0,46
	Semideciduo	0,39	0,05	0,31	0,45

Nota: D es el Diámetro Altura Pecho, H es la altura y ρ es la densidad de madera

2. Contenido de carbono en biomasa por ecosistemas

En la **Tabla IX** se visualiza una prueba de Levene realizada para los resultados de contenido de carbono en biomasa en ambos ecosistemas. Basándose en la media, el valor de significancia resultó de 0,872 ($p > 0,05$). Lo cual señala que las varianzas no son significativas entre sí. En otras palabras, existe homogeneidad entre las varianzas de ambos ecosistemas. El análisis de varianza muestra un p valor de 0,185 ($p > 0,05$), por lo tanto, no existe varianza significativa entre la media de los grupos.

TABLA IX PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE LEVENE Y ANOVA DEL C EN BIOMASA POR TIPO DE ECOSISTEMA

Prueba de igualdad de Levene	**Estadístico de Levene**		**gl1**	**gl2**	**(p-valor)**
C t/ha	1,328		1	18	0,872
Análisis de varianza	**Suma de cuadrados**	**gl**	**Media cuadrática**	**F-valor**	**Pr (>F) (p-valor)**
Ecosistemas	15,39135	1	1539,135	1,90	0,185

Sobre la base de un área muestreada de 8000 m^2, la media de carbono en biomasa del bosque nativo es de 48,38 t/ha. Este valor se compone de la media de 39,61 t/ha en bosque semideciduo y la media de 57,15 t/ha en bosque siempreverde, que se visualizan en la misma en la **Figura 11**. En este caso el bosque siempreverde también presentó mayor contenido de carbono respecto al bosque semideciduo.

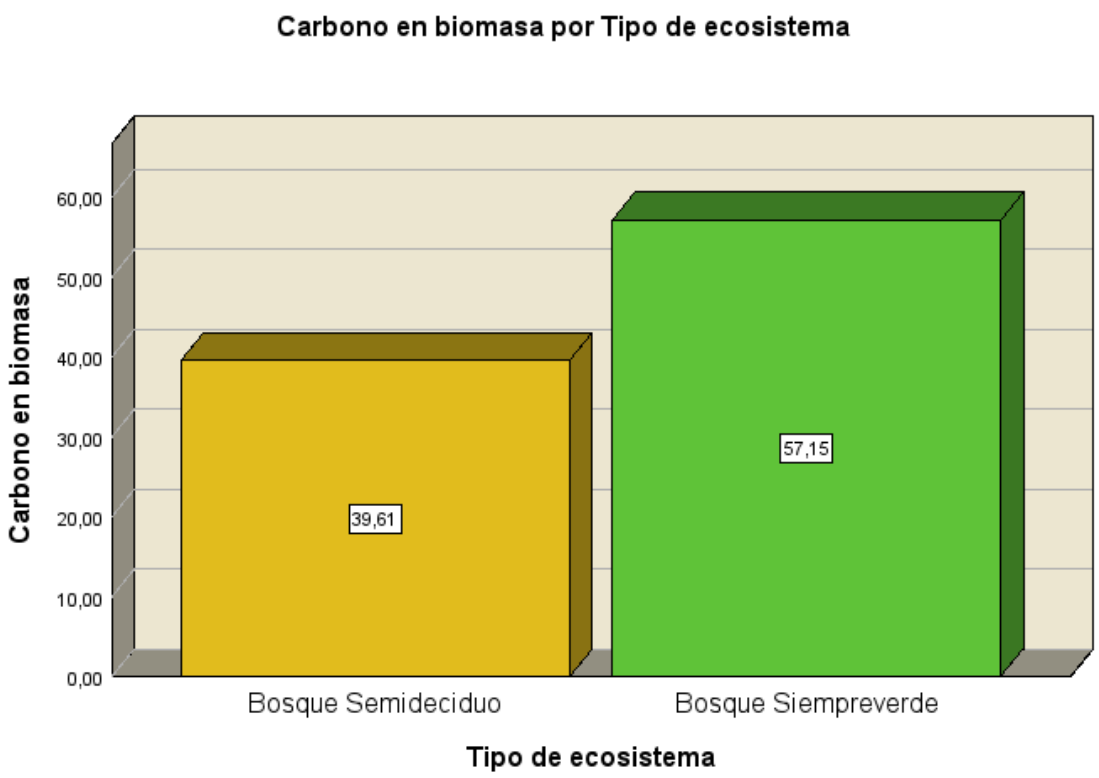


Fig. 11. Contenido de carbono en biomasa (t/ha) por ecosistema

3. Relación de las variables dasométricas y el C en biomasa por ecosistemas

En la **Tabla X** se observa una correlación significativa en el nivel 0,01 entre el tipo de ecosistema y la densidad de madera de las especies. Por otro lado, las variables H y D tuvieron una correlación significativa en el nivel 0,01 con el contenido de carbono en biomasa. Las tres variables dasométricas fueron utilizadas en el cálculo. A pesar de que la densidad de madera está asociada al tipo de ecosistema, según la estadística, H y D son las que tuvieron mayor relevancia al cuantificar la biomasa y su carbono almacenado.

TABLA X CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE VARIABLES DASOMÉTRICAS Y C EN BIOMASA

Correlación entre:	p-valor	Coeficiente de correlación r	Grado de relación
C y D	0,001	0,77	Relación directa fuerte
C y H	0,009	0,56	Relación directa fuerte
ρ y Ecosistema	0,006	0,58	Relación directa fuerte

En las siguientes figuras se visualizan las gráficas de dispersión de las variables H y D respecto al C en biomasa. La **Figura 12** literal (a) del D demuestra una mejor agrupación lineal entre los puntos, mientras que en el literal (b) de H la agrupación de los puntos se encuentra más dispersa. Por otra parte, en el literal (c) evidencia que el ecosistema de bosque siempreverde tiende a tener densidades de madera más alta, agrupándose con una variabilidad baja, mientras que en el bosque semideciduo las densidades son más bajas y se agrupan con una mayor variabilidad. De hecho, la prueba de Levene para esta variable obtuvo un p valor <0,001.

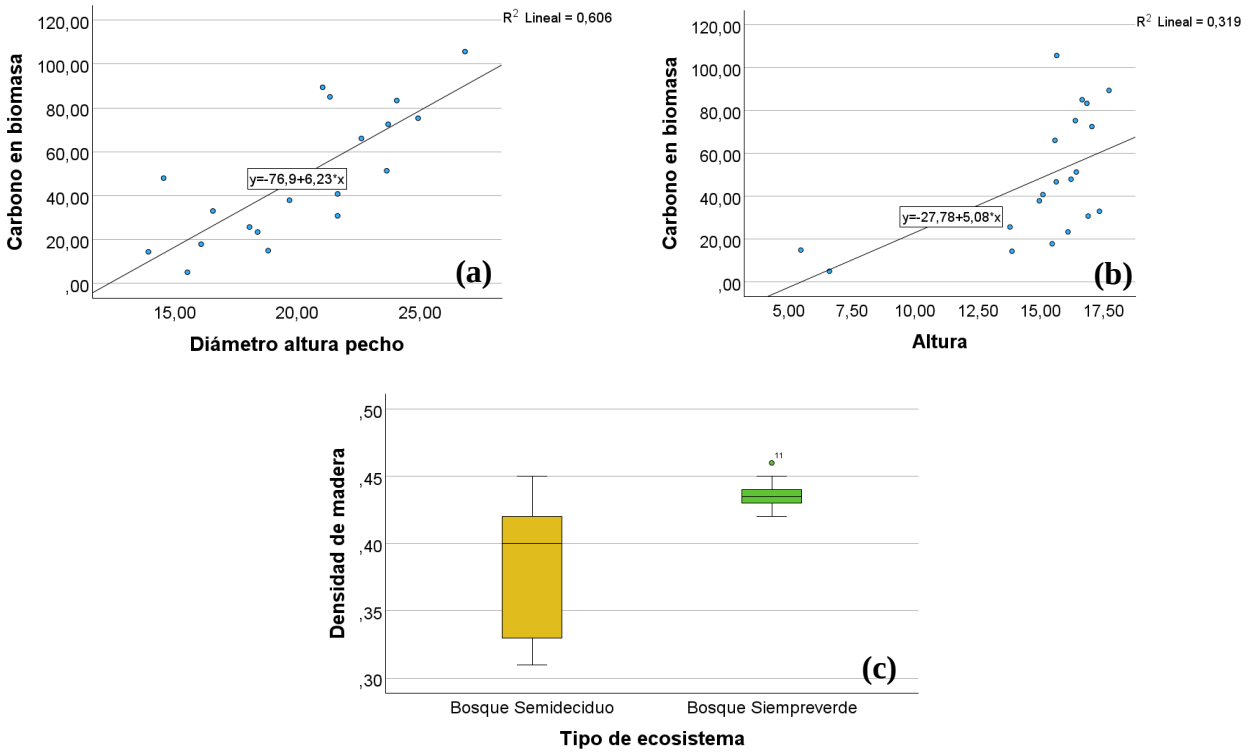


Fig. 12. (a) Dispersión de carbono en biomasa (t/ha) por Diámetro Altura Pecho (b) Dispersión de carbono en biomasa (t/ha) por altura (c) Diagrama de cajas de la p por ecosistema

C. Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS)

Para la cuantificación del parámetro COS, se analizaron previamente las estadísticas descriptivas de las características físicas y químicas del suelo. Luego se procedió a estimar el contenido de COS por ecosistema y tipo de suelo. Finalmente se realizó una correlación para estimar el efecto de las propiedades del suelo con el COS.

1. Características físicoquímicas del suelo

La **Tabla XI** muestra el análisis descriptivo de las propiedades físicoquímicas del suelo de los dos ecosistemas. Las estimaciones de D, %MO y %C fueron variables obtenidas en laboratorio, necesarias para estimar finalmente el contenido de carbono orgánico en suelo.

El ecosistema siempreverde tuvo una media en COS de 112,87 t/ha, mientras que el ecosistema semideciduo registró un promedio menor de 76,42 t/ha. Comparando entre ambos ecosistemas, el valor máximo lo presentó el bosque siempreverde con un punto que registró 188,67 t/ha de COS, mientras que el valor mínimo lo tuvo el semideciduo con un punto de 37,8 t/ha. Estos fueron los datos de mayor relevancia al obtener los promedios finales.

En cuanto al parámetro %MO, el ecosistema siempreverde tuvo una media de 6,24% y el semideciduo de 5,02%. En el parámetro %C, el ecosistema siempreverde resultó con una media de 3,62%; y el semideciduo, con una de 2,91%. En ambos parámetros se observa que mantienen la misma dinámica de mínimos y máximos, así como la explicada para el COS. Solamente los mínimos y máximos del parámetro DA no se ajustan a esta dinámica. Sin embargo, el ecosistema siempreverde sigue presentando una media mayor (1,10 g/cm^3) que el semideciduo (0,95g/cm^3). Finalmente, ambos ecosistemas, en todos los casos, presentan desviaciones estándar cercanas.

TABLA XI ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO POR ECOSISTEMAS

Variable	Ecosistema	Media	Desviación Estándar	Min	Max
COS (t/ha)	Siempreverde	112,87	37,78	65,62	188,67
	Semideciduo	76,42	40,44	37,8	142,56
MO (%)	Siempreverde	6,24	3,05	3,47	13,45
	Semideciduo	5,02	3,39	1,86	12,07

C (%)	Siempreverde	3,62	1,76	2,01	7,8
	Semideciduo	2,91	1,96	1,08	7
DA (g/cm3)	Siempreverde	1,10	0,25	0,59	1,52
	Semideciduo	0,95	0,18	0,64	1,17

Nota: COS es carbono en el suelo, MO (%) es el porcentaje de materia orgánica, C (%) porcentaje de carbono orgánico total, DA es la densidad aparente

2. Contenido de COS por ecosistemas y tipos de suelo

La **Tabla XII** muestra una prueba de Levene realizada para los resultados de COS en ambos ecosistemas. Basándose en la media, el valor de significancia resultó de 0,586. El valor p es superior al 0,05, con lo que el test señala que las varianzas no son significativas entre sí. En otras palabras, existe homogeneidad entre las varianzas de ambos ecosistemas.

En el análisis de varianza se obtuvo un p > 0,05 de 0,052, el cual resulta llamativo ya que las medias de los grupos tienden a ser significativas entre sí.

TABLA XII PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE LEVENE Y ANOVA DEL COS POR ECOSISTEMAS

Prueba de igualdad de Levene	**Estadístico de Levene**		**gl1**	**gl2**	**(p-valor)**
COS t/ha	0,307		1	18	0,586
Análisis de varianza	**Suma de cuadrados**	**gl**	**Media cuadrática**	**F-valor**	**Pr (>F) (p-valor)**
Ecosistemas	6643,37	1	97,78	4,33	0,052

La **Tabla XI** muestra las medias de COS para ambos ecosistemas. La media total estimada para toda el área de estudio fue de 94,64 t/ha, sobre la base de un área evaluada total de 8000 m^2. Se generó la **Figura 13** que compara la estimación de COS en ambos ecosistemas, donde el bosque siempreverde evidenció mayor contenido de carbono orgánico en suelo respecto al bosque semideciduo.

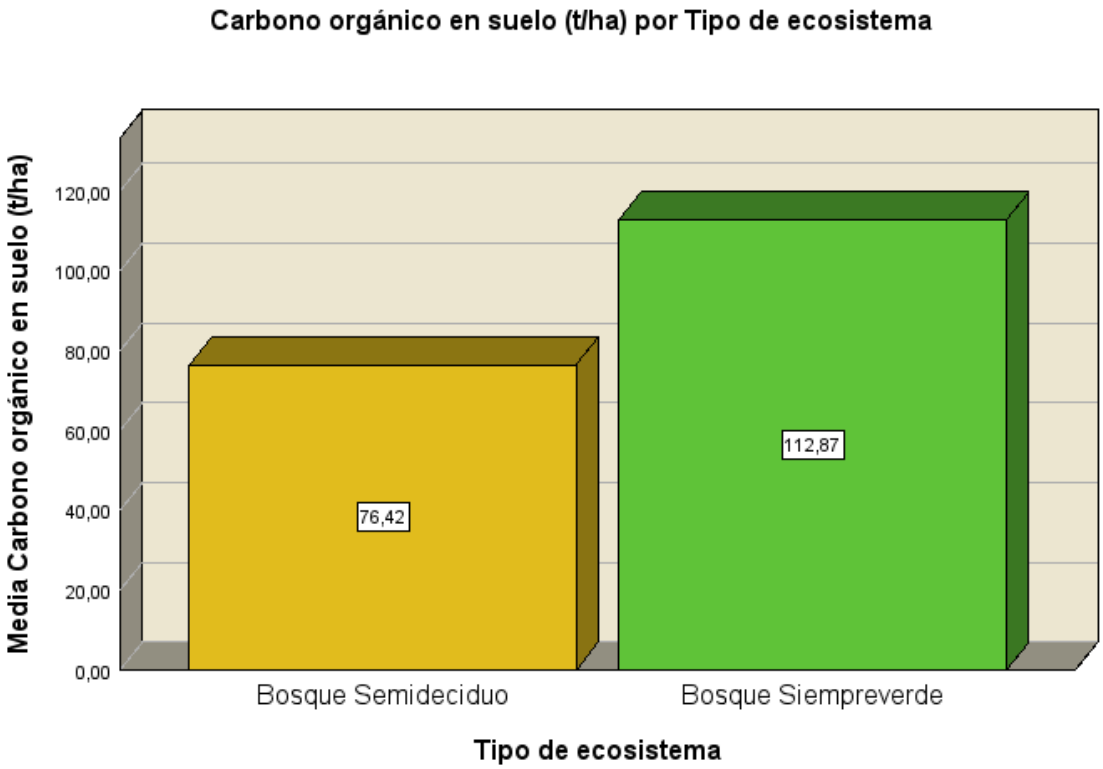


Fig. 13. Contenido de COS (t/ha) por ecosistema

La **Tabla XIII** muestra una prueba de Levene realizada para los resultados de COS en los tipos de suelo. Basándose en la media, el valor de significancia resultó de 0,52. El valor p > 0,05 señala que las varianzas no son significativas entre sí. En otras palabras, existe homogeneidad entre las varianzas de ambos tipos de suelo de los ecosistemas.

En el análisis de varianza se comprobó que no existe varianza significativa entre la media de los grupos (tipos de suelo). El análisis muestra un p valor de 0,87, mayor al p valor 0,05, que con el ANOVA se determina como no significativo.

TABLA XIII PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE LEVENE Y ANOVA DEL COS POR TIPO DE SUELO EN ECOSISTEMAS

Prueba de igualdad de Levene	**Estadístico de Levene**		**gl1**	**gl2**	**(p-valor)**
COS t/ha	0,44		1	18	0,52
Análisis de varianza	**Suma de cuadrados**	**gl**	**Media cuadrática**	**F-valor**	**Pr (>F) (p-valor)**
Tipo de suelos	47,102	1	47,102	0,025	0,87

La **Figura 14** compara las medias de COS en ambos ecosistemas según el tipo de suelo. En el ecosistema semideciduo se observa poca diferencia entre las medias, siendo el suelo de orden inceptisol (78,15 t/ha) ligeramente mayor que el alfisol (74,68 t/ha). Sucedió lo contrario en el bosque siempreverde, donde el suelo de orden alfisol fue el que obtuvo una media de COS mayor que el suelo inceptisol, con valores de 151,87 t/ha y 103,12 t/ha respectivamente. Esto es indicio de que, en este estudio, no se evidencia relación entre el orden y el contenido de carbono de los suelos, lo cual motiva a estudiar otro tipo de factores ambientales.

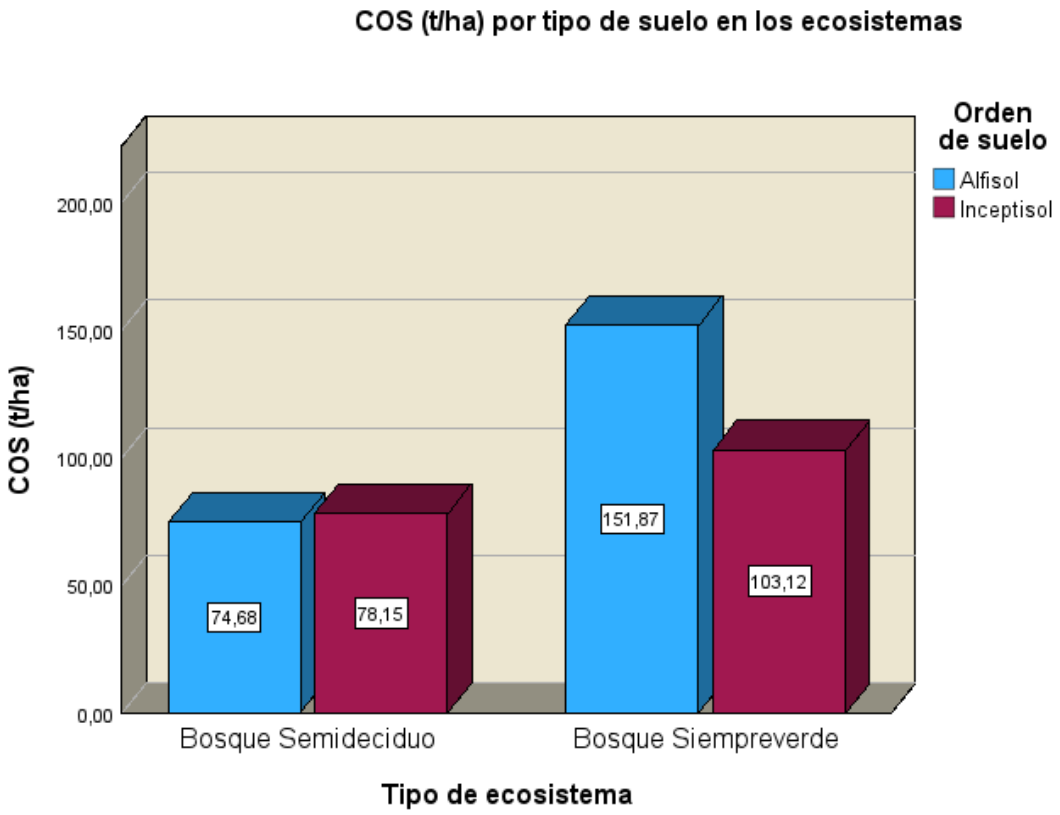


Fig. 14. Contenido de COS (t/ha) por tipo de suelo y ecosistemas

3. Relación del COS con las propiedades físicas y químicas del suelo

Existe una correlación directa a nivel 0,05 entre el COS y el %MO y %C. Se trata de una correlación fuerte debido a que las dos últimas variables mencionadas determinaron el carbono orgánico del suelo.

TABLA XIV CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE EL COS Y VARIABLES DE SUELO

Correlación entre:	p-valor	Coeficiente de correlación r	Grado de relación
COS y %C	0,001	0,66	Relación directa fuerte
COS y MO	0,001	0,66	Relación directa fuerte
DA y MO	0,029	-0,48	Relación inversa moderada

A continuación, en la **Figura 15**, se visualiza una dispersión de ajuste lineal del %MO y %C respectivamente, lo que evidencia la correlación entre los parámetros.

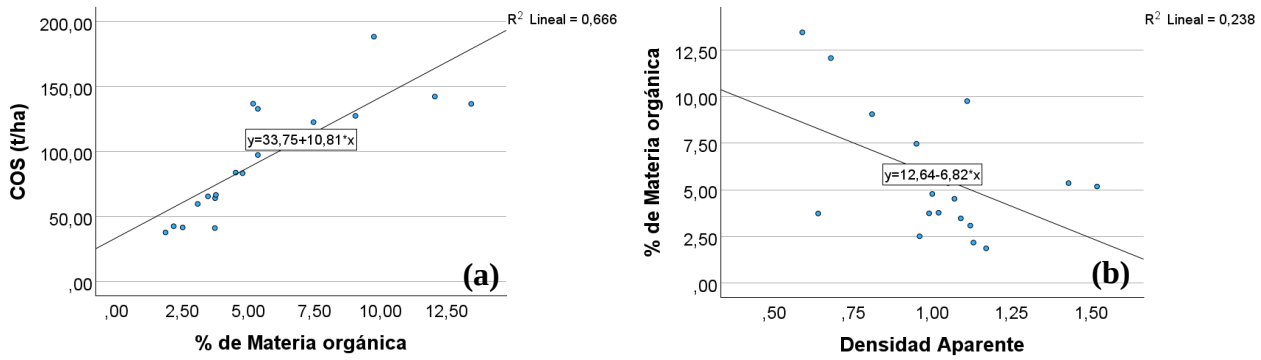


Fig. 15. (a) Gráfica de dispersión entre COS y %MO (b) Gráfica de dispersión entre %MO y DA

IX. DISCUSIÓN

A. Diversidad de especies

El índice de Shannon-Wiener es similar en ambos ecosistemas: 2,54 en el bosque siempreverde y 2,22 en el bosque semideciduo, considerados en este estudio como valores medios-altos. Según Aguirre et al. [45], destaca que, entre los diversos ecosistemas de bosques secos, los bosques semideciduos tienen gran diversidad de especies a pesar de ocupar áreas menores que otros tipos de bosques secos. Esto concuerda con los valores medios-altos de diversidad obtenidos en la zona de estudio. El autor menciona que se podrían encontrar más especies en El Oro, ya que este tipo de bosque se ha explorado menos que otras provincias como Guayas, Manabí y Loja. En otro estudio realizado en Colombia, en un ecosistema de BST, se evaluó un área de 0,108 ha mediante tres transectos, obteniéndose índices de Shannon que varían entre 1,81 y 2,94, un rango similar al encontrado en el bosque semideciduo [39]. Sin embargo, Jaramillo et al. [114], en su estudio realizado en un bosque semideciduo en la provincia de Loja, obtuvo un valor de 2,4 y lo consideró como una diversidad baja, al comparar los resultados obtenidos con otros autores en esa misma zona de estudio.

En relación con el ecosistema de bosque siempreverde, un estudio realizado en la provincia de Pastaza en un área de 0,5 ha, determinó una alta riqueza de familias (30) con una baja abundancia de especies (65) [80]. En nuestra investigación, se reportaron 15 familias distribuidas en 18 especies, posiblemente se deba al contexto del área de estudio, a pesar de tratarse del mismo tipo de ecosistema. Dado que el índice de Shannon-Wiener se relaciona a la riqueza de especies, se puede afirmar que la zona estudiada presenta una diversidad de especies media-alta, similar a la diversidad encontrada en el estudio de Pastaza. En otro estudio realizado en la provincia de Sucumbíos, en un área evaluada de 0,5 ha, se obtuvo un índice de Shannon-Wiener de 1,39 considerado como diversidad baja, esto se debe en general por la baja distribución de individuos en cada especie [115], este valor fue mucho menor a comparación del obtenido en la zona de estudio.

B. Carbono en biomasa

Se estimó un almacenamiento de carbono en biomasa superior en el ecosistema siempreverde (57,15 t/ha) en comparación con el ecosistema semideciduo (39,60 t/ha). El carbono en biomasa estimado en el ecosistema siempreverde es mayor que el calculado en un bosque húmedo tropical del Chocó [116], que fue de 39,24 t/ha. Un estudio realizado en el ecosistema siempreverde en la provincia de Sucumbíos [115], también mostró resultados diferentes, estimando 135,8 t/ha de carbono en biomasa. Por otro lado, una investigación en un bosque seco tropical [117], estimó 74,8 t/ha, un valor superior a la media estimada en el bosque semideciduo. Sin embargo, la media estimada en esta investigación supera al valor registrado en otro estudio de bosque seco que, en diferentes estados sucesionales, tuvo una media de 25,7 t/ha de carbono [118]. En un estudio más cercano, realizado en un bosque semideciduo del Ecuador, se registró un valor de 59,77 t/ha de carbono en biomasa, con una desviación estándar de 25,93 t/ha, cercana a la obtenida en el ecosistema semideciduo de este estudio [119]. Varios de los estudios comparados están en el rango de desviación estándar de ambos ecosistemas de la **Tabla VIII**. Esto indica que las medias de algunas parcelas coinciden o son cercanas a los datos registrados en otras áreas con los mismos ecosistemas, a pesar de las variaciones en la estructura y composición florística.

La variabilidad entre los resultados de las parcelas del ecosistema semideciduo es homogénea con la variabilidad de las parcelas del ecosistema siempreverde. En el ANOVA se acepta la hipótesis de igualdad de medias debido a que el C en biomasa no tienen una varianza significativa ($p>0,05$). Esto sugirió que, según los datos obtenidos de las veinte parcelas, hay una similitud entre la capacidad que posee cada ecosistema de almacenar carbono.

Las características del BPC se ajustan a las que debe tener un bosque protector; este se encuentra dentro de una cuenca hidrográfica y posee un terreno accidentado. El ecosistema semideciduo, que va de 0 a 400 msnm [49], no se encuentra exento de estas características. A pesar de que tiene una estacionalidad, gracias a las pendientes el contenido de humedad es mayor al que normalmente poseen los bosques secos [45], y se cataloga como un ecosistema de transición [120]. Al ser un ecosistema de transición, algunos de los especímenes arbóreos que se encontraban en el bosque húmedo también fueron hallados en este, por ejemplo, *Cecropia peltata* (Guarumo), *Ficus sp* (Higuerón). *Miconia sp* y *Ochroma pyramidale* (Balsa). Los factores naturales que influyen en la biomasa son la precipitación, temperatura y humedad [121]. Es presumible que, dentro del área de estudio, estas condiciones sean similares entre ambos ecosistemas debido a la influencia de la

subcuenca del Río Casacay. Estas condiciones se podrían analizar a fondo para interpretar la similitud que tienen los ecosistemas en el almacenamiento de carbono según la estadística.

Considerando que los factores ambientales de cada ecosistema influyen en la capacidad de almacenamiento, se buscó una correlación entre las variables obtenidas para enlazar una probable causalidad de la diferencia en las medias. Se identifica que las variables H y D están significativamente correlacionadas con el contenido de C en biomasa. Los bosques secos suelen ser menos complejos que los bosques húmedos, así mismo los valores dasométricos y de biomasa suelen ser menores [40]. Con los datos recolectados, el promedio de H y D son ligeramente menores en el ecosistema semideciduo respecto al siempreverde. Por esta razón el ecosistema siempreverde refleja una media más elevada. La H y el D son valores que se refieren al desarrollo de las especies muestreadas; la cantidad de biomasa y carbono está determinada por el nivel de desarrollo [117]. Lo cual está asociado a procesos de sucesión natural o al nivel de perturbación de los ecosistemas; y los valores atípicos pueden originarse debido a esto último [122]. No se estudió la sucesionalidad, ni la presión antrópica en el presente estudio, pero generalmente los bosques secos se encuentran en áreas pobladas del litoral y tienen un mayor nivel de intervención por las actividades antropogénicas [123], lo cual puede afectar directamente a los servicios ecosistémicos de los mismos [124].

La hipótesis planteada en el presente estudio menciona que el almacenamiento de carbono sería mayor en el bosque húmedo, debido a que la densidad de las especies arbóreas en este ecosistema también sería mayor [30]. La ρ, como se observó en la **Figura 12** literal (c), efectivamente está relacionada con el tipo de ecosistema; las densidades más altas se agruparon con poca variabilidad en el ecosistema siempreverde, mientras que las densidades bajas se agruparon, con una mayor variabilidad, en el ecosistema semideciduo. No obstante, la hipótesis se anuló ya que, a pesar de haberse estimado un mayor almacenamiento en el ecosistema siempreverde, este valor no está mayormente determinado por la ρ, así como por las variables de H y D.

C. Carbono orgánico en suelo

El stock estimado de COS en el ecosistema de bosque siempreverde (112,87 t/ha) resultó mayor que el estimado para bosque semideciduo (76,42 t/ha). La media obtenida en el bosque semideciduo está dentro del rango de los valores obtenidos en el estudio de Salas Macías et al. [106], en un bosque seco de la parroquia Jipijapa, los cuales están entre 67,76 t/ha y 74,64 t/ha. Un estudio realizado en otro bosque semideciduo de la costa ecuatoriana [119], registró un estimado de 63,28 t/ha de COS, stock que se ve superado en la presente investigación. En cuanto al COS almacenado en el bosque siempreverde, nuestra estimación supera a la cuantificada en un bosque húmedo tropical primario en el cantón Tena [125], donde se obtuvieron 65,9 t/ha. Al contrario, se encuentra por debajo del rango de 241,1 t/ha y 302,6 ton/ha estimado por Tanner et al. [126] en un bosque húmedo montano. La desviación estándar en ambos ecosistemas es similar entre las diferentes variables. Para los bosques siempreverde y semideciduo se calculó desviaciones de 37,78 t/ha y 40,44 t/ha respectivamente. En la **Tabla XI** se aprecia mejor la similitud de la desviación en las variables %MO y %C, de modo que la dispersión de datos en ambos ecosistemas tiene comportamientos similares.

Las medias de COS en ambos ecosistemas fueron mayores a las medias de C en biomasa. Es normal que esto suceda; hay numerosos estudios en los que esto se evidencia; de hecho, autores ya mencionados como Salas Macías et al. [106] y Tanner et al. [126]. Dentro de las interacciones de los componentes forestales, las plantas son el nexo entre el sistema aéreo y el sistema subterráneo. Entre los diversos procesos ecosistémicos que controla la flora, esta condiciona el almacenamiento del COS por medio de la incorporación, liberación y transferencia de biomasa. La necromasa es un puente para el almacenamiento de carbono en el suelo. Su importancia reside en que reserva C sobre el suelo durante largo tiempo, liberándolo gradualmente en forma de MO, a través de la descomposición causada por microorganismos [127]. El contenido de COS se relaciona, entre otros factores, con la pluviometría, debido a que la eficiencia de la descomposición de la necromasa por parte de los organismos depende de condiciones climáticas como temperatura, precipitación y radiación [127], [128]; factores que, debido a las características del área de estudio, podrían compartirse entre los dos ecosistemas.

En este estudio no se estimaron valores de necromasa. Sin embargo, se calculó la variable %MO, que en el análisis de correlaciones evidenció una influencia determinante sobre contenido de COS; la cual se puede apreciar en la **Figura 15** literal (a). En ese sentido la media de %MO del

ecosistema siempreverde es mayor a comparación del ecosistema semideciduo. Sería necesario medir el nivel intervención en los bosques, ya que al comprometerse el almacenamiento de biomasa, también puede afectarse la calidad de los detritos, además de ciertos procesos como la descomposición de la MO y la incorporación del COS [127].

Se identificó una correlación negativa entre la DA del suelo y el %MO; a medida que la DA disminuye, el %MO aumenta. Efectivamente, algunos autores señalan que densidades aparentes altas son indicativos de menor porcentaje de materia y carbono orgánicos en suelo, debido a que se puede limitar la capacidad de infiltrar agua [129], [130]. La desviación estándar de la DA es baja y similar entre ambos ecosistemas. El promedio de COS obtenido en las densidades <1 fue mayor que en las densidades >1. Sin embargo, no se puede ser concluyente respecto a esto, puesto que el ecosistema siempreverde tuvo una DA promedio de 1,10 g/cm^3, mayor que en el ecosistema semideciduo con 0,95 g/cm^3, lo cual no concuerda con la correlación encontrada. Esta discordancia se da debido a que los máximos y mínimos de COS son mayores en el ecosistema siempreverde. Por ello se buscó alguna relación con otros factores asociados, como el tipo de suelo. Se identificaron a los suelos alfisoles e inceptisoles en los puntos de muestreo. En el ecosistema siempreverde, el suelo de orden alfisol (151,87 t/ha) tuvo mayor media de COS que el suelo de orden inceptisol (103,12 t/ha). Sucedió lo contrario en el ecosistema semideciduo, donde la media de COS fue mayor para suelo inceptisol (78,15 t/ha) que para suelo alfisol (74,68 t/ha); aunque la diferencia fue menos considerable. No se encontró una correlación significante entre el tipo de suelo y la DA y el COS.

Tampoco hubo una varianza significante del contenido de COS entre los dos tipos de suelo de los ecosistemas. Sin embargo, los autores [131], [132] y [133], en estas investigaciones tomaron en cuenta parámetros como pH, textura y profundidad de suelo, encontrándose correlaciones importantes. Por lo que resultaría útil incluir otro tipo de variables que permitan analizar a fondo el comportamiento del COS en el área de estudio, como la clase textural, por ejemplo. Los suelos alfisoles e inceptisoles se encuentran en zonas con pendientes. Los alfisoles son suelos jóvenes y poco desarrollados, mientras que los inceptisoles tienen mayor madurez. Estos últimos, se caracterizan por presentar una capa subsuperficial de arcillas [134], [135]. Hernández [136] señala que una alta DA se puede atribuir a una mayor presencia de limos y arcillas, que induce a condiciones de anoxia e hipoxia porque se limita la circulación de agua intersticial, lo cual también limita la degradación de la MO.

D. Mapas de carbono

Finalmente, respecto a los mapas de COS y carbono en biomasa, se interpolaron los resultados de cada punto de muestreo para obtener una imagen aproximada de la distribución del almacenamiento en el área de estudio. Algunas zonas coinciden, así como otras difieren, con el contenido estimado de C en biomasa y COS en la cartografía del MAATE y el MAG, respectivamente [103], [137]. Esto sucedió porque los mapas representan distribuciones probables, según la estadística de los datos recolectados. Este estudio se realizó solo en la cobertura de bosque nativo; el BPC tiene otras coberturas como uso agropecuario y pastizales, en las que también hay que hacer estimaciones de carbono para obtener mapas con aproximaciones más certeras. Esto conllevaría a la conformación de más parcelas, lo que demanda de mayores recursos económicos, de tiempo y de personal.

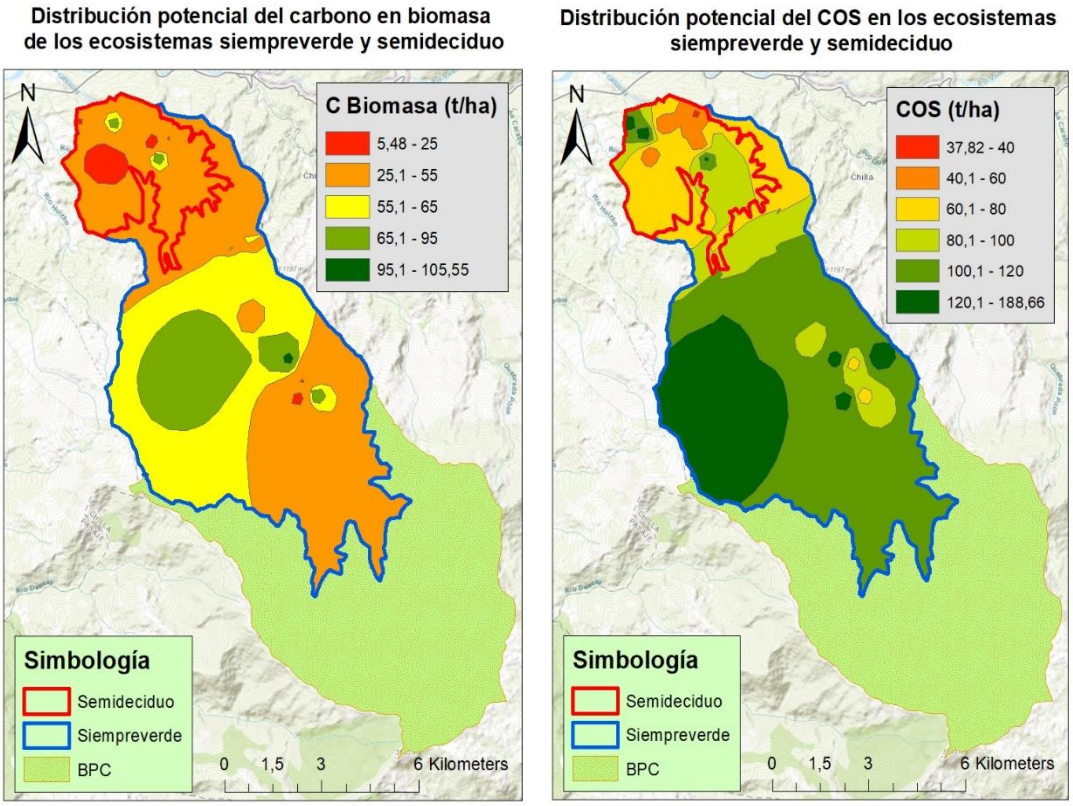


Fig. 16. (a) Distribución potencial del C en biomasa de los ecosistemas siempreverde y semideciduo (b) Distribución potencial del COS en los ecosistemas siempreverde y semideciduo

X. CONCLUSIONES

- Los dos ecosistemas estudiados en el BPC registraron una diversidad media, con un índice de 2,54 para el bosque siempreverde y 2,22 para el bosque semideciduo. Las especies más dominantes en el ecosistema semideciduo fueron *Cecropia peltata* (guarumo), *Ficus insípida* (higuerón) y *Triplaris cumingiana* (fernán sánchez). Las más dominantes en el ecosistema siempreverde fueron *Alchornea glandulosa* (Paukantsa), *Ficus insípida* (higuerón), *Miconia sp. y Poulsenia armata* (Damagua). Especies como las mencionadas *Ficus insípida*, *Cecropia peltata*, *Miconia sp* y otras con menos dominancia como *Ochroma piramidale* (balsa) se encontraron repartidas en los dos ecosistemas. Sobre todo, se presentaron en las parcelas que se encontraban más cerca de la influencia del Río Casacay. Todas estas tuvieron gran aporte de biomasa en ambos ecosistemas.
- El almacenamiento de carbono y la dinámica de este tiene similitudes estadísticas entre el ecosistema siempreverde y el semideciduo. Todo esto se atribuye a factores de índole ambiental. El hecho de que ambos ecosistemas tengan comportamientos similares se debe al contexto del área de estudio. Ambos comparten características climatológicas y topográficas ya que el área de estudio se encuentra influenciada por la subcuenca hídrica. Ello conlleva a que también compartan especies arbóreas, como se evidenció en los índices de biodiversidad. Sin embargo, la media estimada para el ecosistema húmedo es mayor que en el seco. Por lo tanto, entrarían en juego otros factores que influyen en las variables dasométricas que permiten el cálculo de biomasa y su contenido de C, como la sucesionalidad de los bosques, la altitud del terreno y su accesibilidad y el nivel de intervención humana. La presión antrópica, probablemente sea mayor en el ecosistema semideciduo debido a su baja altitud y facilidad de acceso, a comparación del ecosistema siempreverde.
- La media estimada de COS resultó mayor en el ecosistema siempreverde respecto al semideciduo. Al agrupar los resultados en los dos tipos de suelo que se hallaron en los ecosistemas, se identificó que el suelo alfisol en el bosque siempreverde tuvo mayor almacenamiento que el inceptisol. Sucedió lo contrario en el bosque semideciduo, aunque la diferencia fue mínima. El análisis de estos grupos no registró una significancia en su variabilidad. Por lo que se requiere incluir otros parámetros como la textura y profundidad,

principalmente. El suelo inceptisol se trata de un suelo relativamente joven, mientras que el suelo alfisol se caracteriza por presentar una capa subsuperficial de arcilla. La presencia de arcillas influye en la densidad aparente del suelo, la cual, a su vez condicionaría en la capacidad de almacenar carbono de acuerdo con la profundidad. Se infiere que, en su capa superficial, el suelo alfisol podría almacenar más carbono ya que la humedad retenida en esta favorecería la descomposición de la MO. Se requiere ligar la variable de profundidad para identificar la diferencia de texturas. También son importantes variables como la pendiente y el nivel de erosión que podrían presentar los suelos, además de la influencia de la radiación solar. En el bosque siempreverde, que presentó un dosel cerrado, la radiación no influiría mucho en la retención de humedad de la capa superficial del suelo alfisol. Mientras que, en el semideciduo, que tuvo un dosel más abierto, probablemente sí influiría, de manera que la limite. Por esta razón se podría explicar por qué en el ecosistema siempreverde el suelo alfisol almacena más carbono que el suelo inceptisol, contrario a lo que sucedió en el ecosistema semideciduo.

XI. RECOMENDACIONES

- Los mapas obtenidos presentan una visión aproximada de la distribución espacial del carbono orgánico contenido en biomasa y en suelo. Algunas zonas presentan coincidencias con los rangos estimados por el MAATE y el MAG en esa área. Para afinar la precisión de los mapas se recomienda estimar el almacenamiento en los diferentes tipos de cobertura que posee el BPC, esto implicaría aumentar los puntos de muestreo y tener una mayor disponibilidad de recursos. Sin embargo, se podrían realizar estudios que impliquen una sola cobertura, así como el presente, para a futuro enlazar los datos que se recopilen de cada una.
- Realizar estudios cuyo enfoque sea la influencia y la relación de las variables naturales y antrópicas sobre el almacenamiento de carbono en los distintos compartimentos, y ya no solamente la estimación de cantidades. Ello para identificar los factores que influyen de manera positiva y negativa. La idea de esto sería proponer acciones sobre los factores que influyen de forma negativa, para así finalmente mejorar la gestión del BPC y la subcuenca del Río Casacay.
- La metodología del estudio fue diseñada en base a dos compartimientos de carbono, siendo el estrato arbóreo y el suelo los estudiados, por lo que sería idóneo que en futuras investigaciones se incluyan otros compartimientos tales como sotobosque, hojarasca, necromasa, entre otros; para así obtener resultados más completos y que permitan ampliar los conocimientos en cuanto a la capacidad de almacenamiento en ambos ecosistemas.
- Se recomienda estimar las cantidades de C en biomasa y COS en la cuenca alta de Casacay, puesto que el estudio involucró únicamente el bosque semideciduo de la cuenca baja y el bosque siempreverde de la cuenca media, por lo que no se pueden extrapolar los datos obtenidos en estos ecosistemas para la cuenca alta, ya que estos supondrían valores muy diferentes a los que posiblemente se puedan obtener en un estudio.

BIBLIOGRAFÍAS

[1] W. G. Trávez y P. Guarderas, «Land Use Affects the Local Climate of a Tropical Mountain Landscape in Northern Ecuador», *Mt. Res. Dev.*, vol. 43, n.º 1, pp. R10-R19, ene. 2023, doi: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-21-00016.

[2] N. T. Tsegaye, W. T. Dibaba, y D. O. Gemeda, «Spatiotemporal forest cover change and its implication for environmental sustainability in Dedo district of Jimma zone, southwest Ethiopia», *Environ. Sustain. Indic.*, vol. 19, p. 100262, sep. 2023, doi: 10.1016/j.indic.2023.100262.

[3] P. Verma, A. R. Siddiqui, N. K. Mourya, y A. R. Devi, «Forest carbon sequestration mapping and economic quantification infusing MLPnn-Markov chain and InVEST carbon model in Askot Wildlife Sanctuary, Western Himalaya», *Ecol. Inform.*, vol. 79, p. 102428, mar. 2024, doi: 10.1016/j.ecoinf.2023.102428.

[4] G. Hou, C. O. Delang, X. Lu, y R. Olschewski, «Optimizing rotation periods of forest plantations: The effects of carbon accounting regimes», *For. Policy Econ.*, vol. 118, p. 102263, sep. 2020, doi: 10.1016/j.forpol.2020.102263.

[5] B. Torres, R. Fischer, J. Vargas, y S. Günter, *Deforestación en paisajes forestales tropicales del Ecuador: bases científicas para perspectivas políticas*. 2020.

[6] J. Kleemann *et al.*, «Deforestation in Continental Ecuador with a Focus on Protected Areas», *Land*, vol. 11, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2022, doi: 10.3390/land11020268.

[7] M. Leon, G. Cornejo, M. Calderón, E. González-Carrión, y H. Florez, «Effect of Deforestation on Climate Change: A Co-Integration and Causality Approach with Time Series», *Sustainability*, vol. 14, n.º 18, Art. n.º 18, ene. 2022, doi: 10.3390/su141811303.

[8] J. K. Noh *et al.*, «Forest Ecosystem Fragmentation in Ecuador: Challenges for Sustainable Land Use in the Tropical Andean», *Land*, vol. 11, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2022, doi: 10.3390/land11020287.

[9] «Microsoft Power BI». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://app.powerbi.com/view?

[10] R. D. Diaz, A. D. Machaca, G. Belizario, y E. Lujano, «Efectos del Cambio Climático Sobre los Ecosistemas de Montaña en la Cordillera Carabaya - Perú», *Rev. Bras. Meteorol.*, vol. 38, p. e38230088, ago. 2023, doi: 10.1590/0102-778638230088.

[11] C.-M. Iordan, X. Hu, A. Arvesen, P. Kauppi, y F. Cherubini, «Contribution of forest wood products to negative emissions: historical comparative analysis from 1960 to 2015 in Norway, Sweden and Finland», *Carbon Balance Manag.*, vol. 13, n.º 1, p. 12, sep. 2018, doi: 10.1186/s13021-018-0101-9.

[12] F. Mondragón, «Ciclos del dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático», *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Físicas Nat.*, vol. 45, n.º 176, pp. 833-849, sep. 2021, doi: 10.18257/raccefyn.1364.

[13] P. Balvanera, «Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales», *Ecosistemas*, vol. 21, n.º 1-2, Art. n.º 1-2, feb. 2012, Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/33

[14] A. McMurray, F. Casarim, B. Bernal, T. Pearson, y G. Sidman, «Los servicios ecosistémicos de los bosques tropicales y un marco propuesto para evaluarlos», 2017.

[15] A. Yepes *et al.*, «Contribución de los bosques tropicales de montaña en el almacenamiento de carbono en Colombia», *Rev. Biol. Trop.*, vol. 63, n.º 1, p. 69, mar. 2015, doi: 10.15517/rbt.v63i1.14679.

[16] J. J. Torres-Torres, V. E. Mena-Mosquera, y E. Álvarez-Dávila, «Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacifico, Chocó, Colombia», *Entramado*, vol. 13, n.º 1, pp. 200-209, 2017.

[17] W. E. Arreaga Gramajo, «Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala», *Carbon storage in forests with sustainable management in the Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala*, 2002, Accedido: 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4600

[18] F. Cuesta *et al.*, «Mapping Above-Ground Carbon Stocks at the Landscape Scale to Support a Carbon Compensation Mechanism: The Chocó Andino Case Study», *Forests*, vol. 14, n.º 9, Art. n.º 9, sep. 2023, doi: 10.3390/f14091903.

[19] V. Loayza *et al.*, «Digital mapping of organic carbon in Ecuador soils», *Ecosistemas*, vol. 29, n.º 2, jul. 2020, doi: 10.7818/ECOS.1852.

[20] B. Ahmad, Y. Wang, J. Hao, Y. Liu, E. Bohnett, y K. Zhang, «Variation of carbon density components with overstory structure of larch plantations in northwest China and its implication for optimal forest management», *For. Ecol. Manag.*, vol. 496, p. 119399, sep. 2021, doi: 10.1016/j.foreco.2021.119399.

[21] «PDYOT EL ORO V2022-03.pdf», Google Docs. Accedido: 1 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1dnjMTebJUcdAM-AYvODAUj1NPASHIgU2/view?usp=embed_facebook

[22] F. Cabrera-Torres, A. Araujo, G. Jacome, y M. Cruz, «Propuesta de un plan de manejo integral de la subcuenca del río Casacay, ubicada en el cantón Pasaje y Chilla, provincia de El Oro – Ecuador mediante la utilización de herramientas de SIG», *Rev. Geoespacial*, vol. 6, pp. 47-60, nov. 2009.

[23] C. E. Johnson *et al.*, «Primate richness and abundance is driven by both forest structure and conservation scenario in Costa Rica», *PLOS ONE*, vol. 18, n.º 9, p. e0290742, sep. 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0290742.

[24] S. M. J. Sione, M. G. Wilson, S. G. Ledesma, E. A. Gabioud, J. D. Oszust, y L. J. Rosenberger, «Driving factors of tree biomass and soil carbon pool in xerophytic forests of northeastern Argentina», *Ecol. Process.*, vol. 12, n.º 1, p. 64, dic. 2023, doi: 10.1186/s13717-023-00478-1.

[25] M. B. Naldini, N. Pérez-Harguindeguy, y E. Kowaljow, «La intensificación del uso de la tierra disminuye el carbono orgánico del suelo en bosques del Chaco Seco, Córdoba», *Ecol. Austral*, vol. 33, n.º 3, pp. 674-683, ago. 2023, doi: 10.25260/EA.23.33.3.0.2072.

[26] J. A. Benjamín Ordóñez y O. Masera, «Captura de carbono ante el cambio climático», *Madera Bosques*, vol. 7, n.º 1, pp. 3-12, sep. 2016, doi: 10.21829/myb.2001.711314.

[27] J. M. Torres Rojo y A. G. Sanginés, «El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico», *Gac. Ecológica*, 2002.

[28] United Nations Department of Economic and Social Affairs, *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial*. en Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. United Nations, 2023. doi: 10.18356/9789210024938.

[29] L. F. Casas Caro, «Variación de biomasa aérea y densidad de madera en bosques de tierras bajas con planos de inundación de aguas negras y aguas blancas», 2013, Accedido: 6 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/1992/12047

[30] L. Poorter *et al.*, «Wet and dry tropical forests show opposite successional pathways in wood density but converge over time», *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 3, n.º 6, pp. 928-934, jun. 2019, doi: 10.1038/s41559-019-0882-6.

[31] «perfil-fondo-areas-protegidas-ecuador.pdf». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://static1.squarespace.com/static/57e1f17b37c58156a98f1ee4/t/5cf0418f8018e0000120fbe0/1559249298308/perfil-fondo-areas-protegidas-ecuador.pdf

[32] «Memorias_de_las_VIII_Jornadas_de_Patrimonio_yTurismo._ESPAM_MFL_Final_opt.pdf». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43559540/Memorias_de_las_VIII_Jornadas_de_Patrimonio_yTurismo._ESPAM_MFL_Final_opt.pdf

[33] Ó. Luna y V. Q. E, «Percepciones y motivaciones sobre la declaratoria de Bellavista como la primera Área Protegida Privada en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador», *Soc. Ambiente*, n.º 26, Art. n.º 26, jun. 2023, doi: 10.31840/sya.vi26.2656.

[34] «Microsoft Power BI». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://app.powerbi.com/view

[35] «Categorías de Manejo | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador». Accedido: 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/content/categor%C3%ADas-de-manejo

[36] «COA (Código Orgánico del Ambiente)». Accedido: 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu167116.pdf

[37] L. M. Garcés, *Decreto Ejecutivo 752 Registro Oficial Suplemento 507 de 12-jun.-2019 Estado: Vigente*.

[38] L. C. Orozco-Uribe, M. A. Ortega-Guerrero, M. Maass, y H. Paz, «Dinámica hidrológica ecosistémica en un bosque tropical seco asociado a un medio fracturado», *Bosque Valdivia*, vol. 44, n.º 3, pp. 547-561, 2023, doi: 10.4067/S0717-92002023000300547.

[39] J. A. Cuellar-Cardozo, D. Nossa-Silva, y M. I. Vallejo, «Diversidad y estructura florística en zonas riparias de un remanente de bosque seco tropical», *Colomb. For.*, vol. 25, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2022, doi: 10.14483/2256201X.19029.

[40] V. Londoño-Lemos, J. Tapasco-García, O. Escobar-Hadechini, y S. Madriñán, «Vegetación leñosa de un remanente de bosque seco tropical en el Caribe colombiano», *Colomb. For.*, vol. 25, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2022, doi: 10.14483/2256201X.17920.

[41] L. M. C. Camacho, S. E. Díaz-C, W. F. Gómez-Anaya, J. E. Rojas-Rojas, y R. L. Camacho, «Análisis participativo de servicios ecosistémicos en un área protegida del bosque seco tropical (bs-T), Colombia», *Colomb. For.*, vol. 24, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2021, doi: 10.14483/2256201X.16548.

[42] C. A. Rivas, J. Guerrero-Casado, y R. M. Navarro-Cerillo, «Deforestation and fragmentation trends of seasonal dry tropical forest in Ecuador: impact on conservation», *For. Ecosyst.*, vol. 8, n.º 1, p. 46, dic. 2021, doi: 10.1186/s40663-021-00329-5.

[43] Ministerio del Ambiente de Ecuador, Subsecretaría de Patrimonio Natural, «Fragmentacion De Ecosistemas Del Ecuador Contimental», p. 24, 2012.

[44] R. Sierra y F. C. y J. Chamberlin, «Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental: un estudio basado en la biodiversidad de ecosistemas y su ornitofauna», 1999, Accedido: 18 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/107633-opac

[45] Z. Aguirre, L. Kvist, O. Sanchez, M. Editores, y R. Moraes, «Bosques secos en Ecuador y su diversidad», *Botánica Económica Los Andes Cent.*, ene. 2006.

[46] D. Neill, «MBG: Research: Ecuador: Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador». Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.mobot.org/mobot/research/ecuador/vegetationsp.shtml

[47] J. K. Castro, J. J. Cevallos Zambrano, F. X. Pico Franco, J. C. Palacios Peñafiel, y E. Chirino Miranda, «Caracterización de poblaciones de especies endémicas en bosque tropical seco semideciduo. Parque Nacional Machalilla, Manabí, Ecuador», *Neotropical Biodivers.*, vol. 9, n.º 1, pp. 153-168, dic. 2023, doi: 10.1080/23766808.2023.2266299.

[48] A. Jimenez González, C. G. Cantos Cevallos, C. A. Cabrera Verdesoto, S. R. Noboa Vélez, E. H. Cantos Bravo, y J. M. Pin Reyes, «Contribuciones del pregrado forestal a la ecología del bosque semideciduo mesofilo del Recinto Sasay, Manabí-, Ecuador», *Bibl. Colloq.*, abr. 2021, Accedido: 18 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://colloquiumbiblioteca.com/index.php/web/article/view/78

[49] C. Garzón Santomaro, F. Prieto, J. Brito M., y J. Mena Jaén, *Propuesta para el establecimiento del Subsistema de Áreas Naturales de Conservación y Diseño del Corredor Ecológico de la provincia El Oro*. 2019.

[50] G. Viteri, «Conectividad de los ecosistemas del Ecuador continental». 2017.

[51] J. Pesantes Barragan y C. Bonifaz Balseca, «Caracterización del bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Provincia Los Ríos, Ecuador», *Rev. Científica Cienc. Nat. Ambient.*, vol. 16, n.º 1, pp. 316-326, 2022.

[52] «Ofosu.pdf». Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.cich.org/publicaciones/09/Ofosu.pdf

[53] FAO, *The Challenge of Sustainable Forest Management*. Roma, 1993. Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/3/t0829e/T0829E04.htm#Tropical%20rain%20forests

[54] A. Dueñas, J. Betancur, y R. Galindo, «Estructura y composición florística de un bosque húmedo trópical del Parque Nacional Natural Catatumbo Barí, Colombia», *Colomb. For.*, vol. 10, n.º 20, p. 26, nov. 2006, doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2007.1.a02.

[55] P. Muriel, «La diversidad de ecosistemas en el Ecuador». Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador, 2008.

[56] V. Camacho Valdez y A. Ruiz Luna, «MARCO CONCEPTUAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS», *http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17*, jul. 2011, doi: 10.15741/revbio.01.04.02.

[57] J. F. Arango Sánchez, C. J. Pacheco Figueroa, y L. A. Vargas, «Valoración económica de los servicios ecosistémicos: una revisión sistemática», *Rev. Venez. Gerenc. RVG*, vol. 28, n.º 103, pp. 948-964, 2023.

[58] M. I. Díaz-Lezcano *et al.*, «Servicio ecosistémico de regulación de un bosque de galería del arroyo San Lorenzo, Paraguay», *Agron. Costarric.*, vol. 46, n.º 1, pp. 135-146, jun. 2022, doi: 10.15517/rac.v46i1.49874.

[59] E. Marinidou, «Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas, México», *Estimation of tree cover contribution to climate regulation and biodiversity conservation: a methodology design and application in Chiapas, México*, 2009, Accedido: 16 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4974

[60] H. Cedillo *et al.*, «Influencia del clima sobre la composición, la diversidad, la biomasa y los rasgos funcionales de la vegetación arbórea de dos bosques tropicales montanos andinos», *Ecol. Austral*, vol. 33, n.º 3, pp. 716-729, sep. 2023, doi: 10.25260/EA.23.33.3.0.2152.

[61] O. A. Jadán, B. Torres, D. Selesi, D. Peña, C. Rosales, y S. Gunter, «Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador)», *Colomb. For.*, vol. 19, n.º 2, jul. 2016, doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a01.

[62] A. Begossi, «Use of Ecological Methods in Ethnobotany: Diversity Indices», *Econ. Bot.*, vol. 50, n.º 3, pp. 280-289, 1996.

[63] S. J. Flores Miranda, «Relevamiento de flora del área protegida Bosque de Bolognia para la obtención de un índice de diversidad Shannon Wiener a través de una aplicación móvil», *Fides Ratio - Rev. Difus. Cult. Científica Univ. Salle En Boliv.*, vol. 17, n.º 17, pp. 215-238, mar. 2019.

[64] A. M. Campo y V. S. Duval, «Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina)», *An. Geogr. Univ. Complut.*, vol. 34, n.º 2, pp. 25-42, nov. 2014, doi: 10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071.

[65] P. E. Soler, J. L. Berroterán, J. L. Gil, y R. A. Acosta, «Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela», *Agron. Trop.*, vol. 62, 2012.

[66] J. Ruiz Linares y M. C. Fandiño Orozco, «Estado del bosque seco tropical e importancia relativa de su flora leñosa, Islas de la Vieja Providencia y Santa Catalina, Colombia, Caribe Suroccidental», *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Físicas Nat.*, vol. 33, n.º 126, pp. 5-15, dic. 2023, doi: 10.18257/raccefyn.33(126).2009.1808.

[67] Y. Hernández, «Cambio climático: causas y consecuencias», *Renov. Rev. Estud. Interdiscip. En Cienc. Soc. Tecnol. E Innov.*, vol. 4, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2020.

[68] D. Nelles y C. Serrer, *El pequeño manual del cambio climático*. GRIJALBO, 2020.

[69] L. Dormido, I. Garrido, P. L'Hotellerie, y J. Santillán, «El cambio climático y la sostenibilidad del crecimiento: iniciativas internacionales y políticas europeas. Documentos Ocasionales N.º 2213.».

[70] T. Toulkeridis *et al.*, «Cambio Climático según los académicos ecuatorianos - Percepciones versus hechos», *GRANJA Rev. Cienc. Vida*, vol. 31, n.º 1, pp. 21-46, ago. 2020, doi: 10.17163/lgr.n31.2020.02.

[71] F. S. López, *Emisión de gases de efecto invernadero*. Editorial Elearning, S.L., 2020.

[72] J. Martínez, A. Fernández Bremauntz, P. Osnaya, y Mexiko, Eds., *Cambio climático: una visión desde México*, Primera reimpresión. México, D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 2005.

[73] T. J. Erb y J. Zarzycki, «A short history of RubisCO: the rise and fall (?) of Nature's predominant CO2 fixing enzyme», *Curr. Opin. Biotechnol.*, vol. 49, pp. 100-107, feb. 2018, doi: 10.1016/j.copbio.2017.07.017.

[74] P. Renforth y G. Henderson, «Assessing ocean alkalinity for carbon sequestration», *Rev. Geophys.*, vol. 55, n.º 3, pp. 636-674, 2017, doi: 10.1002/2016RG000533.

[75] D. Y. C. Leung, G. Caramanna, y M. M. Maroto-Valer, «An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 426-443, nov. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.093.

[76] P. Friedlingstein *et al.*, «Global Carbon Budget 2021», *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 14, n.º 4, pp. 1917-2005, abr. 2022, doi: 10.5194/essd-14-1917-2022.

[77] G. H. Fischer, L. M. Melgarejo Zapata, y H. E. Balaguera López, «Revisión del impacto de concentraciones elevadas de CO2 sobre frutales en la era del cambio climático», *Cienc. Tecnol. Agropecu.*, vol. 23, n.º 2, pp. 1-19, 2022, doi: 10.21930/rcta.vol23_num2_art:2475.

[78] G. Vergara-Díaz y M. A. Herrera-Machuca, «Estimación y análisis espacial de biomasa aérea y captura de carbono en bosques nativos al sur de Chile: comuna de Valdivia», *Rev.*

Chapingo Ser. Cienc. For. Ambiente, vol. 27, n.º 1, Art. n.º 1, 2021, doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.01.002.

[79] J. M. Revilla-Chávez *et al.*, «Modelos alométricos de biomasa de árboles de Guazuma crinita Mart en plantaciones forestales de Ucayali, Perú», *Sci. Agropecu.*, vol. 12, n.º 4, Art. n.º 4, dic. 2021, doi: 10.17268/sci.agropecu.2021.062.

[80] Y. G. Quintana, Y. Arteaga-Crespo, B. Torres-Navarrete, C. Bravo-Medina, y M. Robles-Murillo, «Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención», *Colomb. For.*, vol. 24, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2021, doi: 10.14483/2256201X.15939.

[81] V. S. Duval y R. Cámara-Artigas, «Diversidad y captura de carbono en un bosque secundario de caldén (Prosopis caldenia) en La Pampa, Argentina», *Estud. Geográficos*, vol. 82, n.º 291, Art. n.º 291, dic. 2021, doi: 10.3989/estgeogr.202184.084.

[82] B. Vargas-Larreta *et al.*, «Estimación de los almacenes de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango, México», *Bot. Sci.*, vol. 101, n.º 1, Art. n.º 1, 2023, doi: 10.17129/botsci.3094.

[83] E. Barrales-Brito, F. P. Pellat, A. S. Velázquez-Rodríguez, C. Hidalgo-Moreno, y J. D. Etchevers-Barra, «Carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades en una secuencia de perturbación y sitios de referencia», *Rev. TERRA Latinoam.*, vol. 40, abr. 2022, doi: 10.28940/terra.v40i0.1319.

[84] M. B. Naldini, N. Pérez-Harguindeguy, y E. Kowaljow, «La intensificación del uso de la tierra disminuye el carbono orgánico del suelo en bosques del Chaco Seco, Córdoba», *Ecol. Austral*, vol. 33, n.º 3, Art. n.º 3, ago. 2023, doi: 10.25260/EA.23.33.3.0.2072.

[85] I. Walteros-Torres, S. Palacios-Pacheco, G. E. Cely, P. A. Serrano, y D. Moreno-Pérez, «Influencia del cambio de uso del suelo sobre las reservas de carbono orgánico en el Parque Natural Regional Cortadera, Boyacá (Colombia)», *Rev. UDCA Actual. Divulg. Científica*, vol. 25, n.º 2, Art. n.º 2, ago. 2022, doi: 10.31910/rudca.v25.n2.2022.1846.

[86] M. M. Sierra, R. B. Rosales, A. M. V. Henao, J. F. A. Tobón, y M. F. C. Muñoz, «Existencias de carbono orgánico en suelos cultivados con pasto kikuyo (Cenchrus clandestinus [Hochst. ex Chiov.] Morrone) en el norte de Antioquia.», *Acta Agronómica*, vol. 71, n.º 2, Art. n.º 2, 2022, doi: 10.15446/acag.v71n2.97692.

[87] X. Zhu y D. Liu, «Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series», *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 102, pp. 222-231, abr. 2015, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014.

[88] W. Fonseca-González, «Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales», *Rev. Cienc. Ambient.*, vol. 51, n.º 2, Art. n.º 2, jun. 2017, doi: 10.15359/rca.51-2.5.

[89] B. A. Tetemke, E. Birhane, M. M. Rannestad, y T. Eid, «Allometric Models for Predicting Aboveground Biomass of Trees in the Dry Afromontane Forests of Northern Ethiopia», *Forests*, vol. 10, n.º 12, Art. n.º 12, dic. 2019, doi: 10.3390/f10121114.

[90] E. Tafur, J. Veneros, L. García, Ó. Gamarra, J. Farje, y M. Santistevan, «Técnicas no destructivas para la estimación de la biomasa forestal aérea», *Idesia Arica*, vol. 40, n.º 3, pp. 7-17, sep. 2022, doi: 10.4067/S0718-34292022000300007.

[91] T. D. Pham *et al.*, «Estimating Mangrove Above-Ground Biomass Using Extreme Gradient Boosting Decision Trees Algorithm with Fused Sentinel-2 and ALOS-2 PALSAR-2 Data in Can Gio Biosphere Reserve, Vietnam», *Remote Sens.*, vol. 12, n.º 5, Art. n.º 5, ene. 2020, doi: 10.3390/rs12050777.

[92] M. Rügnitz, M. Chacón, y R. Porro, «Guía para la determinación de carbono en pequeñas propriedades rurales», CIFOR-ICRAF. Accedido: 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/__35433/

[93] M. Henry *et al.*, «Recommendations for the use of tree models to estimate national forest biomass and assess their uncertainty», *Ann. For. Sci.*, vol. 72, n.º 6, pp. 769-777, sep. 2015, doi: 10.1007/s13595-015-0465-x.

[94] M. Eyherabide, H. Saínz Rozas, P. Barbieri, y H. E. Echeverría, «Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo», *Cienc. Suelo*, vol. 32, n.º 1, pp. 13-19, jun. 2014.

[95] F. Paz y J. Etchevers, «Distribución a profundidad del carbono orgánico en los suelos de México», *Terra Latinoam.*, vol. 34, n.º 3, pp. 339-355, sep. 2016.

[96] H. Aalde *et al.*, «Publications - IPCC-TFI». Accedido: 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html

[97] M. D. L. Á. Agostini, M. G. Monterubbianesi, G. A. Studdert, y S. Maurette, «Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente», *Cienc. Suelo*, vol. 32, n.º 2, pp. 171-176, dic. 2014.

[98] GLOSOLAN, *Procedimiento operativo estándar para el análisis de carbono orgánico del suelo Walkley-Black Métodos de titulación y colorimétrico*. Rome, Italy: FAO, 2019. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/documents/card/fr/c/CA7471ES

[99] M. Finol de Franco y J. L. Vera Solórzano, «Paradigmas, enfoques y métodos de investigación: análisis teórico», *Mundo Recursivo*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2020.

[100] M. Dzul Escamilla, «Diseño No-Experimental», 2013, Accedido: 18 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/14902

[101] E. J. Huaire Inacio, «Método de investigación», 2019, Accedido: 18 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.aacademica.org/edson.jorge.huaire.inacio/35

[102] «PDOT_PASAJE_2019-2023.pdf», Google Docs. Accedido: 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://drive.google.com/file/u/0/d/1S85jbvfmnjTl3mA--tRCmiX_b6FLiqn_/view?usp=sharing&pli=1&usp=embed_facebook

[103] MAATE, «Mapa interactivo». Accedido: 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/

[104] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Hayama, Kanagawa, 2003.

[105] S. Brown, «Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest–based projects», *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 360, n.º 1797, pp. 1669-1683, ago. 2002, doi: 10.1098/rsta.2002.1026.

[106] C. A. Salas Macías *et al.*, «Influence of the altitudinal gradient on the estimation of carbon stocks in above-ground live biomass and in the soils of the "Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands". Joa, Jipijapa», *Ecosistemas*, vol. 29, n.º 2, jul. 2020, doi: 10.7818/ECOS.1973.

[107] N. H. Ravindranath y M. Ostwald, *Carbon Inventory Methods Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. doi: 10.1007/978-1-4020-6547-7.

[108] B. Schlegel, J. Gayoso, y J. Guerra, «Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales», 2001.

[109] A. E. Zanne *et al.*, «Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum». [object Object], p. 2123413 bytes, 4 de febrero de 2009. doi: 10.5061/DRYAD.234.

[110] L. A. Castillo-Pacheco, J. I. Bojórquez-Serrano, A. Hernández-Jiménez, y D. García-Paredes, «Contents of soil organic carbon under different agricultural and vegetation cover», *Cultiv. Trop.*, 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.2035.4805.

[111] J. Chave *et al.*, «Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests», *Oecologia*, vol. 145, n.º 1, pp. 87-99, ago. 2005, doi: 10.1007/s00442-005-0100-x.

[112] P. Hidalgo C., «Determinación de las reservas totales de Carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María», *Rev. Aporte Santiaguino*, vol. 4, n.º 1, p. 87, jul. 2011, doi: 10.32911/as.2011.v4.n1.532.

[113] J. D. Hernández Lalinde *et al.*, «Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones», 2018.

[114] N. Jaramillo Díaz, Z. Aguirre Mendoza, y C. Yaguana Puglla, «Componente florístico del bosque seco, sector Bramaderos, parroquia Guachanama, cantón Paltas, suroccidente de la provincia de Loja, Ecuador», *Arnaldoa*, vol. 25, n.º 1, pp. 87-104, ene. 2018, doi: 10.22497/arnaldoa.251.25105.

[115] M. Cabrera Quezada, E. Segura Chávez, F. Sinche Chele, L. Maldonado Ortiz, y J. Tierres Mayorga, «Estructura y estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas. Caso Parque Ecológico Recreacional Lago Agrio, Sucumbíos», *Cienc. Tecnol.*, vol. 12, n.º 2, pp. 93-101, dic. 2019, doi: 10.18779/cyt.v12i2.329.

[116] N. A. Paipa Rios y M. A. Triana Gómez, «Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque húmedo tropical en Paimadó, Chocó», *Ing. USBMed*, vol. 9, n.º 1, pp. 18-29, feb. 2018, doi: 10.21500/20275846.3180.

[117] L. Zuluaga Zuluaga y E. S. Castro Escobar, «Valoración de servicios ambientales por captura de CO2 en un ecosistema de Bosque seco Tropical en el municipio de El Carmen de Bolívar, Colombia», *Luna Azul*, n.º 47, pp. 01-20, jul. 2018, doi: 10.17151/luaz.2019.47.1.

[118] K. A. Polania, «Biomasa aérea en estados sucesionales del bosque seco tropical en el Norte del Tolima, Colombia», 2019.

[119] C. A. Salas Macías, J. C. Alegre Orihuela, y S. Iglesias Abad, «Estimation of above-ground live biomass and carbon stocks in different plant formations and in the soil of dry forests of the Ecuadorian coast», *Food Energy Secur.*, vol. 6, n.º 4, p. e00115, 2017, doi: 10.1002/fes3.115.

[120] «MBG: Research: Ecuador: Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador». Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.mobot.org/mobot/research/ecuador/vegetationsp.shtml

[121] J. P. Chávez Suazo, «Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático», 2018, Accedido: 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3346

[122] A. Vásquez y H. Arellano, «Estructura, Biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de Córdoba», 2012.

[123] Z. Aguirre Mendoza, R. Linares-Palomino, y L. P. Kvist, «Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú», *Arnaldoa*, 2006.

[124] J. M. Becknell, L. Kissing Kucek, y J. S. Powers, «Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis», *For. Ecol. Manag.*, vol. 276, pp. 88-95, jul. 2012, doi: 10.1016/j.foreco.2012.03.033.

[125] O. Jadán, B. Torres, y S. Günter, «Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador», *Rev. Amaz. Cienc. Tecnol.*, dic. 2012, doi: 10.59410/RACYT-v01n03ep02-0017.

[126] L. H. Tanner, M. T. Wilckens, M. A. Nivison, y K. M. Johnson, «Biomass and Soil Carbon Stocks in Wet Montane Forest, Monteverde Region, Costa Rica: Assessments and Challenges for Quantifying Accumulation Rates», *Int. J. For. Res.*, vol. 2016, pp. 1-8, 2016, doi: 10.1155/2016/5812043.

[127] S. C. Zaninovich, «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», dic. 2017, Accedido: 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/84021

[128] M. Acosta, J. D. Etchevers, C. Monreal, K. Quednow, y C. Hidalgo, «Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México.», 2001.

[129] A. D. Luna Florín, A. W. Sánchez Asanza, J. E. Maza Maza, y J. E. Castillo Figueroa, «Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas», *Rev. Científica Agroecosistemas*, 2021.

[130] J. Arnáez, P. Ruiz-Flaño, N. Lana-Renault, E. Nadal-Romero, T. Lasanta, y M. Cortijos-López, Eds., *Geografía: cambios, retos y adaptación*, 1.ª ed. Asociación Española de Geografía, 2023. doi: 10.21138/CG/2023.lc.

[131] D. Vidojevic, M. Manojlovic, A. Djordjevic, L. Nesic, y T. Predic, «Correlations between soil organic carbon, land use and soil type in Serbia», *Zb. Matice Srp. Za Prir. Nauke*, n.º 138, pp. 9-18, 2020, doi: 10.2298/ZMSPN2038009V.

[132] N. Parsamanesh, M. Zarrinkafsh, S. S. Shahoei, y W. Weisany, «Evaluation of Distribution Functions of Organic Carbon with Soil Depth in Vertisols and Inceptisols», vol. 2, 2013.

[133] M. Camino-Serrano *et al.*, «Linking variability in soil solution dissolved organic carbon to climate, soil type, and vegetation type», *Glob. Biogeochem. Cycles*, vol. 28, n.º 5, pp. 497-509, 2014, doi: 10.1002/2013GB004726.

[134] H. Moreno Ramón, S. Ibañez Asensio, y J. M. Gisbert Blanquer, «Alfisoles», nov. 2011, Accedido: 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://riunet.upv.es/handle/10251/13675

[135] S. Ibañez Asensio, J. M. Gisbert Blanquer, y H. Moreno Ramón, «Inceptisoles», nov. 2011, Accedido: 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://riunet.upv.es/handle/10251/12884

[136] C. M. Agraz-Hernández *et al.*, «Reserva de carbón en un ecosistema de manglar al norte de México: cambios ambientales durante 35 años», *Rev. Mex. Biodivers.*, vol. 91, n.º 0, p. 912910, jul. 2020, doi: 10.22201/ib.20078706e.2020.91.2910.

[137] «Visor geográfico – Catastro». Accedido: 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/visor-geo

ANEXOS

Anexo A. Ficha utilizada para la recolección de datos dasométricos

Toma de datos en campo				
Fecha:				
Número de parcela:				
Coordenadas UTM			X	Y
Nº arb	Código	Especie	DAP (cm)	Altura (m)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				

Anexo B. Fichas con datos recolectados de las parcelas 7, 11 y 20

Toma de datos en campo

Fecha: 10/01/19

Número de parcela: 01

Coordenadas UTM: X / Y

Nº arb	Código	Especie	DAP (cm)	Altura (m)
1		Guarumo	60+27	16
2		Guarumo	74+46	17,5
3		Guarumo	95	20
4		Guarumo	50	16
5	A001		47	16,5
6		Guarumo	30	15
7	A001		40	17
8		Guarumo	62	17,5
9		Guarumo	94+50	20-21
10		Guarumo	65	18
11	I001		35	8
12		Guarumo	95	17
13		Guarumo	40	21
14		Guarumo	47	17,5
15		Guarumo	57	16
16		Guarumo	61+66	20
17		Guarumo	80	22
18	G001		52	15
19	G001		41	13
20		Guarumo	49	18
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				

Escaneado con CamScanner

Toma de datos en campo

Fecha: 18/05/19

Número de parcela: 11

Coordenadas UTM: X / Y

Nº arb	Código	Especie	DAP (cm)	Altura (m)
1	S001		60	15
2	S001		37	10,5
3	Palmera (Inga)		72	21
4	S001		91	17
5	F001		53	13,7
6	G001		40	8
7		Rambutal	82	16
8	L001		40	9,5
9	L001		96	11
10	L001		40	9,8
11	G001		73+72	19
12	S001		~~84~~ 87	23
13		Rambutal	88	25
14	S001		83	17
15	G001		79	13
16	I001		53	18
17	S001		56	14
18	S001		56+35	11
19			125 ~~132~~	22
20	Palmera (Inga)		62	17
21	F001		46	15
22	G001		67	19,5
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				

Escaneado con CamScanner

Toma de datos en campo

Fecha: 21/01/19

Número de parcela: 20

Coordenadas UTM: X / Y

Nº arb	Código	Especie	DAP (cm)	Altura (m)
1		Miconia	97	22
2		Miconia	53	18
3	F001		71	19
4		Rambutal	77	22
5	O001		60	15
6		Miconia	41	17,9
7		Miconia	74	20
8		Rambutal	217	26
9	N001		41	15,2
10	N001		59	18
11		Miconia	34	16,8
12		Higueron	49	23
13		Higueron	103	29
14	F001		40	20
15		Miconia	74	26
16		Miconia	65	17,9
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				

Escaneado con CamScanner

Anexo C. Formato de la etiqueta utilizada en las muestras de suelo

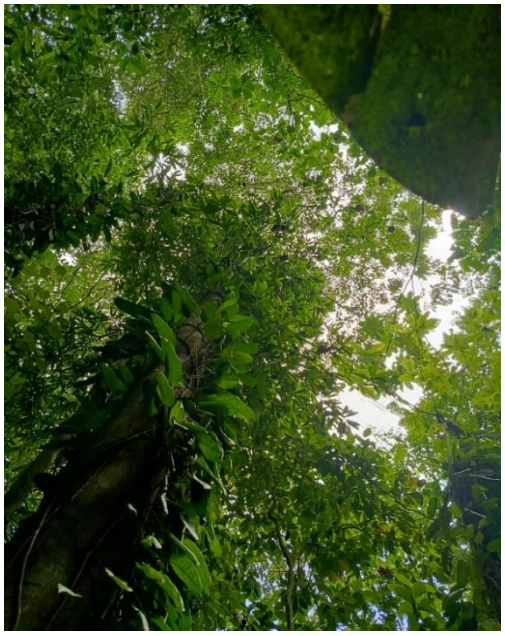
Parcela 1 MO	
Coordenadas	
x	Y
Fecha	Hora
Profundidad	

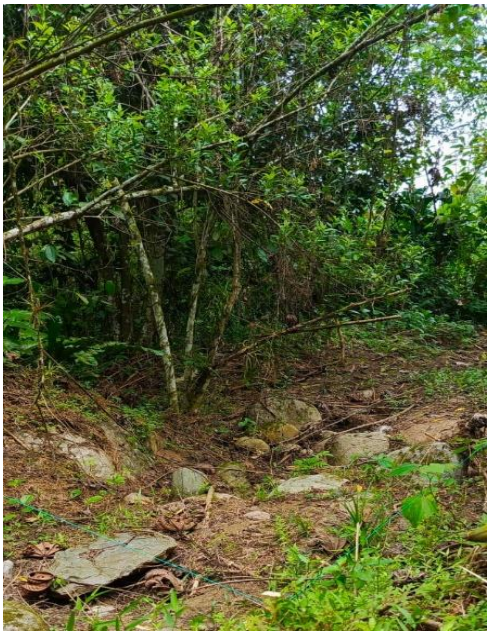
Parcela 1 DA	
Coordenadas	
x	Y
Fecha	Hora
Profundidad	

Parcela 2 MO	
Coordenadas	
x	Y
Fecha	Hora
Profundidad	

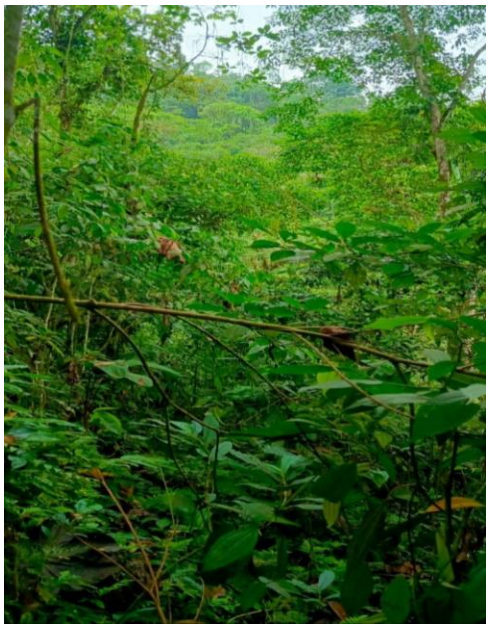
Anexo D. Fotografías de la conformación de parcelas

Anexo E. Fotografías del ecosistema semideciduo





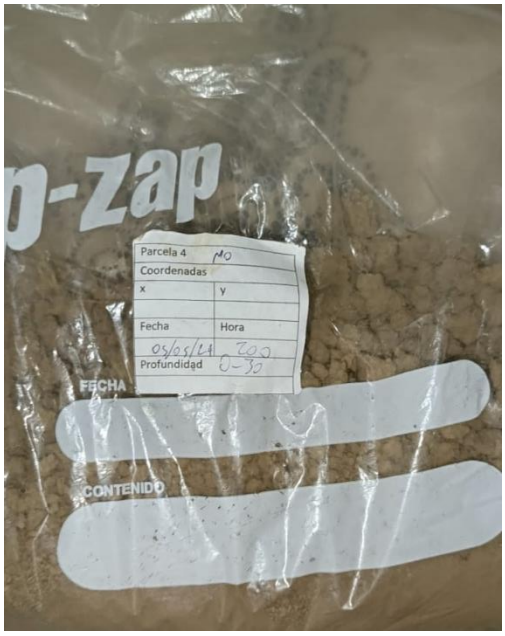
Anexo F. Fotografías del ecosistema siempreverde



Anexo G. Fotografías de la medición de datos dasométricos

Anexo H. Fotografías de la toma de muestras de suelo para densidad aparente

Anexo I. Fotografías de la toma de muestras de suelo para materia orgánica

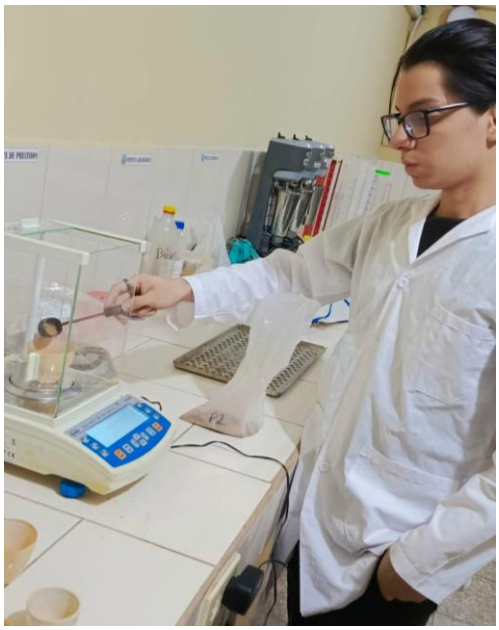


Anexo J. Fotografías de procesamiento de muestras de suelo en laboratorio para densidad aparente

P5
P6
P7
P8

CONTROLS
Safety Thermostat
Heating Selector
POWER

Anexo K. Fotografías de procesamiento de muestras de suelo en laboratorio para materia orgánica

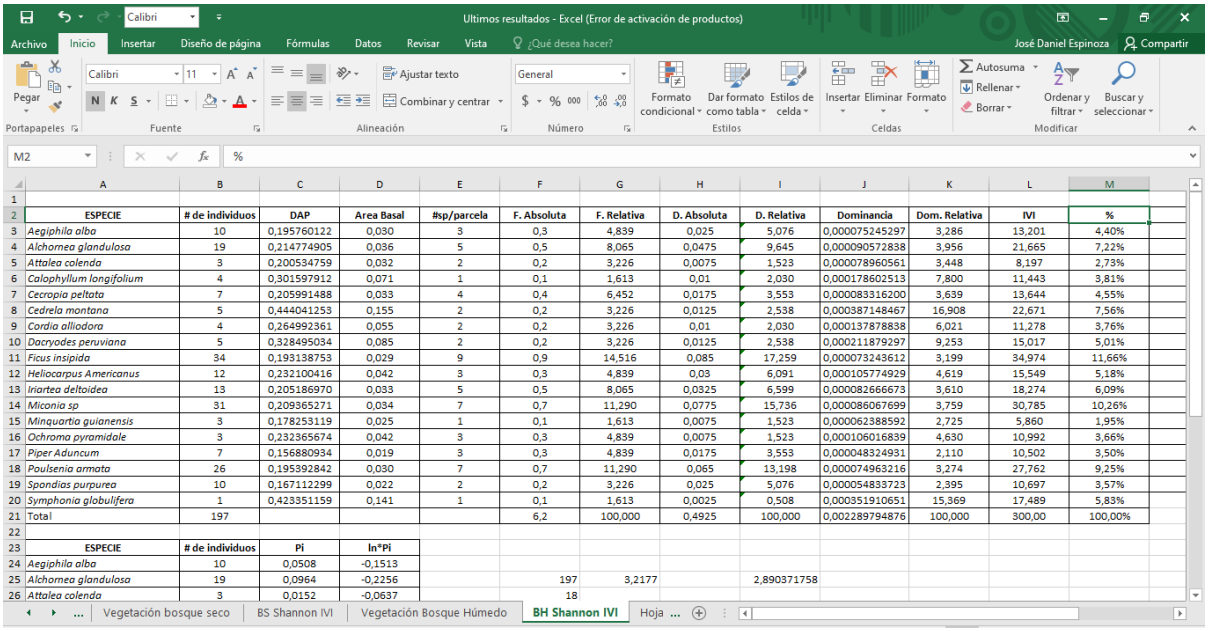


Anexo L. Excel del cálculo de IVI de las especies del bosque semideciduo

ESPECIE	# de individuos	DAP	Area Basal	#sp/parcela	F. Absoluta	F. Relativa	D. Absoluta	D. Relativa	Dom. Absoluta	Dom. Relativa	IVI	%
Aegiphila alba	5	0,1362	0,015	3	0,3	5,882	0,01250	3,247	0,00003644321	3,308	12,437	4,15%
Cecropia peltata	42	0,2057	0,033	9	0,9	17,647	0,10500	27,273	0,00008307115	7,540	52,459	17,49%
Ficus insipida	19	0,1585	0,020	7	0,7	13,725	0,04750	12,338	0,00004931786	4,476	30,539	10,18%
Gallesia integrifolia	2	0,1585	0,020	1	0,1	1,961	0,00500	1,299	0,00004931786	4,476	7,736	2,58%
Heliocarpus Americanus	9	0,1489	0,017	4	0,4	7,843	0,02250	5,844	0,00004353197	3,951	17,638	5,88%
Miconia sp.	1	0,1528	0,018	1	0,1	1,961	0,00250	0,649	0,00004583652	4,160	6,770	2,26%
Minquartia guianensis	4	0,4697	0,173	3	0,3	5,882	0,01000	2,597	0,00043311932	39,310	47,790	15,93%
Ochroma pyramidale	8	0,1942	0,030	2	0,2	3,922	0,02000	5,195	0,00007402677	6,719	15,835	5,28%
Piper Aduncum	15	0,1418	0,016	6	0,6	11,765	0,03750	9,740	0,00003945477	3,581	25,086	8,36%
Poulsenia armata	8	0,2240	0,039	3	0,3	5,882	0,02000	5,195	0,00009852942	8,943	20,020	6,67%
Spondias Purpurea	8	0,1393	0,015	3	0,3	5,882	0,02000	5,195	0,00003807897	3,456	14,533	4,84%
Theobroma cacae	9	0,1666	0,022	2	0,2	3,922	0,02250	5,844	0,00005448613	4,945	14,711	4,90%
Triplaris cumingiana	24	0,1698	0,023	7	0,7	13,725	0,06000	15,584	0,00005658829	5,136	34,446	11,48%
Total	154		0,441		5,1	100,000	0,38500	100	0,00110180224	100,000	300,000	100%

ESPECIE	# de individuos	Pi	ln*Pi	AB	Fr	Dr
Aegiphila alba	5	0,0325	-0,1113	0,015	5,882	
Cecropia peltata	42	0,2727	-0,3543	0,033	17,647	
Ficus sp.	19	0,1234	-0,2582	0,020	13,725	
Gallesia integrifolia	2	0,0130	-0,0564	0,020	1,961	
Heliocarpus Americanus	9	0,0584	-0,1660	0,017	7,843	
Minquartia guianensis	4	0,0260	-0,0948	0,018	1,961	
Miconia sp.	1	0,0065	-0,0327	0,173	5,882	
Ochroma pyramidale	8	0,0519	-0,1536	0,030	3,922	

Anexo M. Excel del cálculo de IVI de las especies del bosque siempreverde

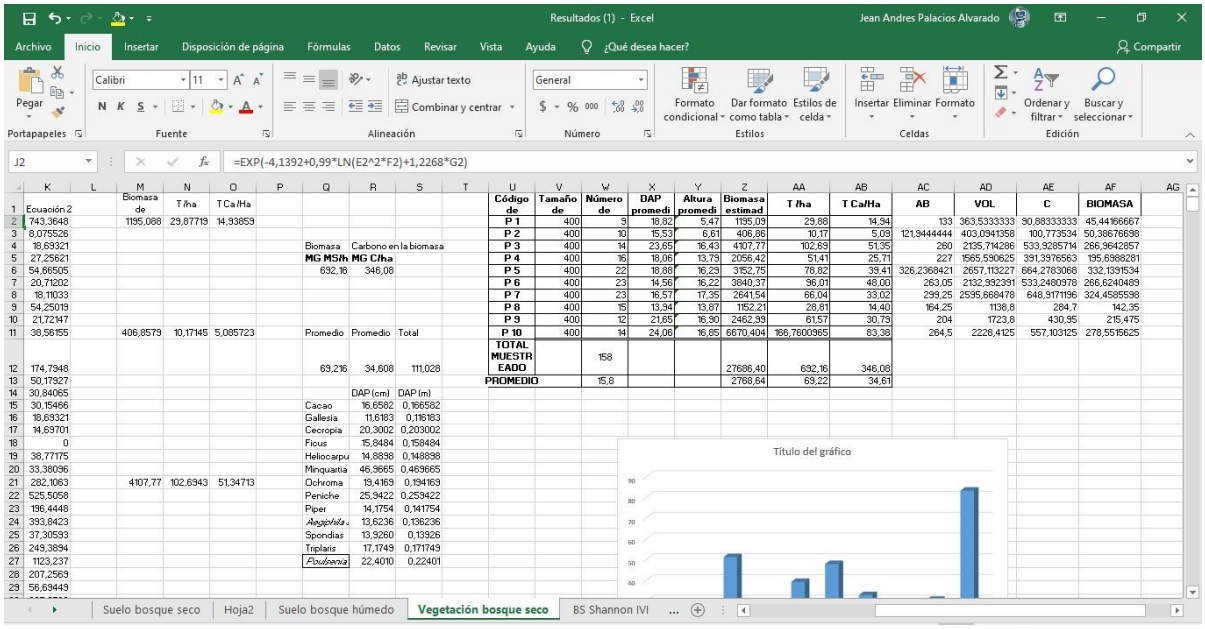


ESPECIE	# de individuos	DAP	Area Basal	#sp/parcela	F. Absoluta	F. Relativa	D. Absoluta	D. Relativa	Dominancia	Dom. Relativa	IVI	%
Aegiphila alba	10	0,195760122	0,030	3	0,3	4,839	0,025	5,076	0,000075245297	3,286	13,201	4,40%
Alchornea glandulosa	19	0,214774905	0,036	5	0,5	8,065	0,0475	9,645	0,000090572838	3,956	21,665	7,22%
Attalea colenda	3	0,200534759	0,032	2	0,2	3,226	0,0075	1,523	0,000078960561	3,448	8,197	2,73%
Calophyllum longifolium	4	0,301597912	0,071	1	0,1	1,613	0,01	2,030	0,000178602513	7,800	11,443	3,81%
Cecropia peltata	7	0,205991488	0,033	4	0,4	6,452	0,0175	3,553	0,000083316200	3,639	13,644	4,55%
Cedrela montana	5	0,444041253	0,155	2	0,2	3,226	0,0125	2,538	0,000387148467	16,908	22,671	7,56%
Cordia alliodora	4	0,264992361	0,055	2	0,2	3,226	0,01	2,030	0,000137878838	6,021	11,278	3,76%
Dacryodes peruviana	5	0,328495034	0,085	2	0,2	3,226	0,0125	2,538	0,000211879297	9,253	15,017	5,01%
Ficus insipida	34	0,193138753	0,029	9	0,9	14,516	0,085	17,259	0,000073243612	3,199	34,974	11,66%
Heliocarpus Americanus	12	0,232100416	0,042	3	0,3	4,839	0,03	6,091	0,000105774929	4,619	15,549	5,18%
Iriartea deltoidea	13	0,205186970	0,033	5	0,5	8,065	0,0325	6,599	0,000082666673	3,610	18,274	6,09%
Miconia sp	31	0,209365271	0,034	7	0,7	11,290	0,0775	15,736	0,000086067699	3,759	30,785	10,26%
Minquartia guianensis	3	0,178253119	0,025	1	0,1	1,613	0,0075	1,523	0,000062388592	2,725	5,860	1,95%
Ochroma pyramidale	3	0,232365674	0,042	3	0,3	4,839	0,0075	1,523	0,000106016839	4,630	10,992	3,66%
Piper Aduncum	7	0,156880934	0,019	3	0,3	4,839	0,0175	3,553	0,000048324931	2,110	10,502	3,50%
Poulsenia armata	26	0,195392842	0,030	7	0,7	11,290	0,065	13,198	0,000074963216	3,274	27,762	9,25%
Spondias purpurea	10	0,167112299	0,022	2	0,2	3,226	0,025	5,076	0,000054833723	2,395	10,697	3,57%
Symphonia globulifera	1	0,423351159	0,141	1	0,1	1,613	0,0025	0,508	0,000351910651	15,369	17,489	5,83%
Total	197				6,2	100,000	0,4925	100,000	0,002289794876	100,000	300,00	100,00%

ESPECIE	# de individuos	Pi	ln*Pi
Aegiphila alba	10	0,0508	-0,1513
Alchornea glandulosa	19	0,0964	-0,2256
Attalea colenda	3	0,0152	-0,0637

197	3,2177		2,890371758
18			

Anexo N. Excel del cálculo de carbono en biomasa del bosque semideciduo



Ecuación 2	Biomasa de	T /ha	T Ca/Ha
743,3648	1195,088	29,87719	14,93859
8,075526			
18,69321			
27,25621			
54,66505			
20,71202			
18,11033			
54,25019			
21,72147			
38,56155	406,8579	10,17145	5,085723
174,7948			
50,17327			
30,84065			
30,15466			
18,69321			
14,69701			
0			
38,77175			
33,38096			
282,1063	4107,77	102,6943	51,34713
525,5058			
196,4448			
333,8423			
37,30593			
249,3894			
1123,237			
207,2569			
56,69449			

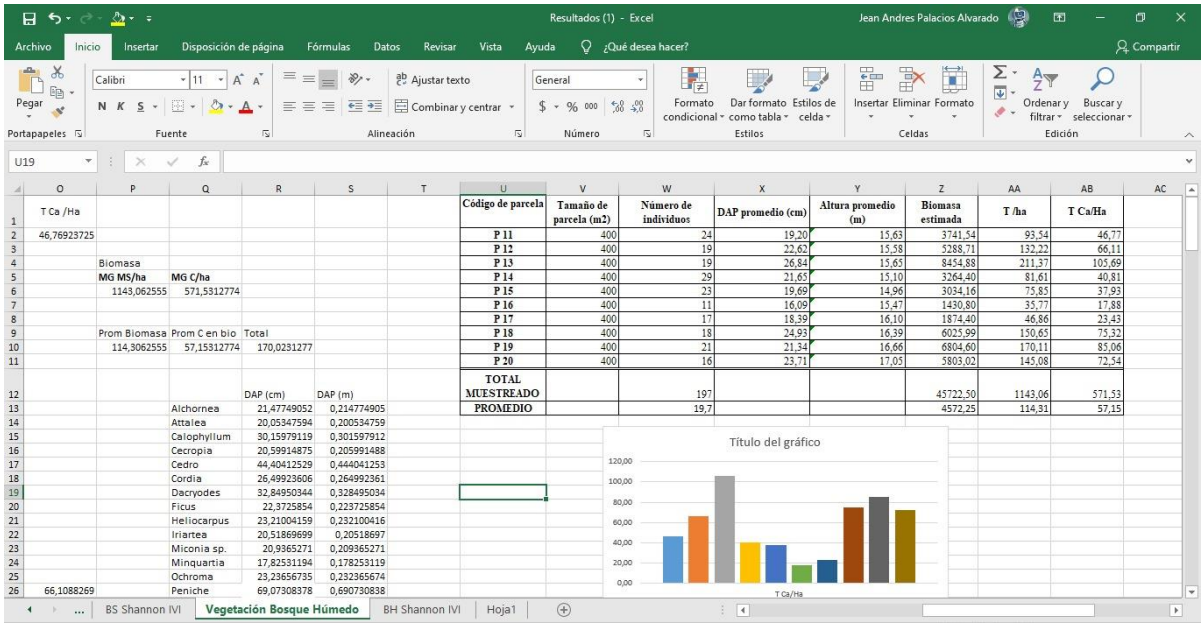
Biomasa	Carbono en la biomasa
MG MS/h	**MG C/ha**
692,16	346,08

Promedio	Promedio	Total
69,216	34,608	111,028

	DAP (cm)	DAP (m)
Cacao	16,6582	0,166582
Gallesia	11,6183	0,116183
Cecropia	20,3002	0,203002
Ficus	15,8484	0,158484
Heliocarpu	14,8898	0,148898
Minquartia	46,9665	0,469665
Ochroma	19,4169	0,194169
Periche	25,9422	0,259422
Piper	14,1754	0,141754
Aegiphila	13,6236	0,136236
Spondias	13,9260	0,13926
Triplaris	17,1749	0,171749
Poulsenia	22,4010	0,22401

Código de	Tamaño de	Número de	DAP promedi	Altura promedi	Biomasa estimad	T /ha	T Ca/Ha	AB	VOL	C	BIOMASA
P 1	400	9	18,82	5,47	1195,09	29,88	14,94	133	363,5333333	90,88333333	45,44166667
P 2	400	10	15,53	6,61	406,86	10,17	5,09	121,9444444	403,0941358	100,773534	50,38676698
P 3	400	14	23,65	16,43	4107,77	102,69	51,35	260	2135,714286	533,9285714	266,9642857
P 4	400	16	18,06	13,79	2056,42	51,41	25,71	227	1565,530625	391,3376563	195,6688281
P 5	400	22	18,88	16,23	3152,75	78,82	39,41	326,2368421	2657,113227	664,2783068	332,1391534
P 6	400	23	14,56	16,22	3840,37	96,01	48,00	263,05	2132,992391	533,2480978	266,6240489
P 7	400	23	16,57	17,35	2641,54	66,04	33,02	299,25	2595,668478	648,9171196	324,4585598
P 8	400	15	13,94	13,87	1152,21	28,81	14,40	164,25	1138,8	284,7	142,35
P 9	400	12	21,65	16,90	2462,99	61,57	30,79	204	1723,8	430,95	215,475
P 10	400	14	24,06	16,85	6670,404	166,7600965	83,38	264,5	2228,4125	557,103125	278,5515625
TOTAL MUESTREADO		158			27686,40	692,16	346,08				
PROMEDIO		15,8			2768,64	69,22	34,61				

Anexo O. Excel del cálculo de carbono en biomasa del bosque siempreverde



Código de parcela	Tamaño de parcela (m2)	Número de individuos	DAP promedio (cm)	Altura promedio (m)	Biomasa estimada	T /ha	T Ca/Ha
P 11	400	24	19,20	15,63	3741,54	93,54	46,77
P 12	400	19	22,62	15,58	5288,71	132,22	66,11
P 13	400	19	26,84	15,65	8454,88	211,37	105,69
P 14	400	29	21,65	15,10	3264,40	81,61	40,81
P 15	400	23	19,69	14,96	3034,16	75,85	37,93
P 16	400	11	16,09	13,47	1430,80	35,77	17,88
P 17	400	17	18,39	16,10	1874,40	46,86	23,43
P 18	400	18	24,93	16,39	6025,99	150,65	75,32
P 19	400	21	21,34	16,66	6804,60	170,11	85,06
P 20	400	16	23,71	17,05	5803,02	145,08	72,54
TOTAL MUESTREADO		197			45722,50	1143,06	571,53
PROMEDIO		19,7			4572,25	114,31	57,15

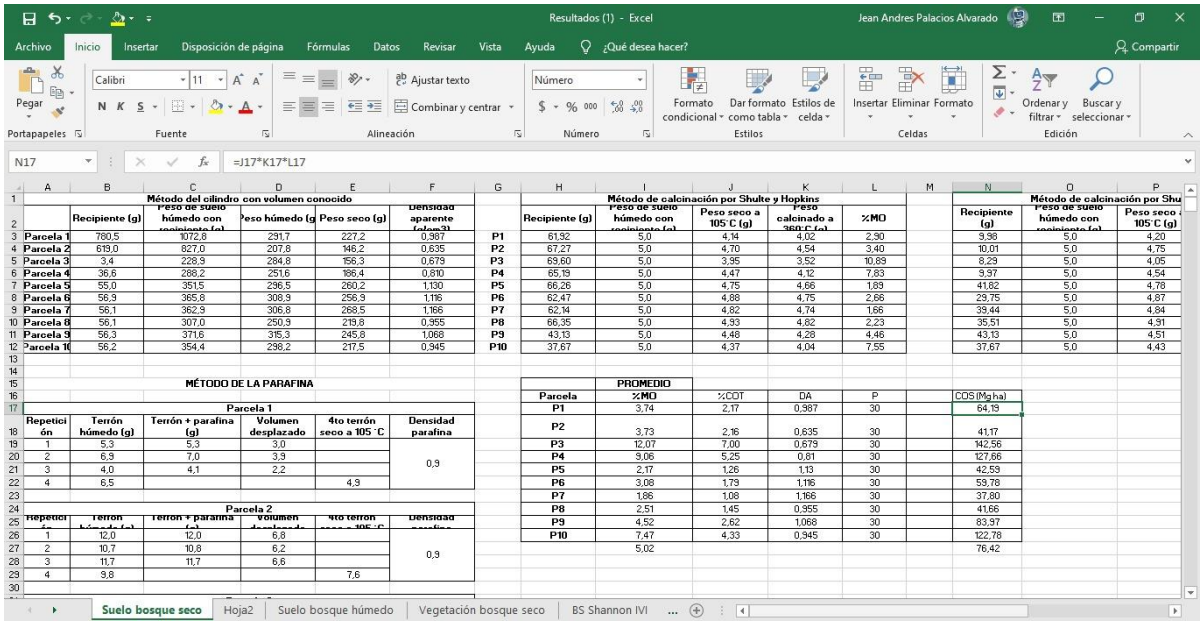
T Ca /Ha	Biomasa MG MS/ha	MG C/ha
46,76923725	1143,062555	571,5312774

Prom Biomasa	Prom C en bio	Total
114,3062555	57,15312774	170,0231277

	DAP (cm)	DAP (m)
Alchornea	21,47749052	0,214774905
Attalea	20,05347594	0,200534759
Calophyllum	30,15979119	0,301597912
Cecropia	20,59914875	0,205991488
Cedro	44,40412529	0,444041253
Cordia	26,49923606	0,264992361
Dacryodes	32,84950344	0,328495034
Ficus	22,3725854	0,223725854
Heliocarpus	23,21004159	0,232100416
Iriartea	20,51869699	0,20518697
Miconia sp.	20,9365271	0,209365271
Minquartia	17,82531194	0,178253119
Ochroma	23,23656735	0,232365674
Peniche	69,07308378	0,690730838

66,1088269

Anexo P. Excel del cálculo de COS del bosque semideciduo



Método del cilindro con volumen conocido

	Recipiente (g)	Peso de suelo húmedo con recipiente (g)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Densidad aparente (g/cm3)
Parcela 1	780,5	1072,8	291,7	227,2	0,987
Parcela 2	619,0	827,0	207,8	146,2	0,635
Parcela 3	3,4	228,9	284,8	156,3	0,679
Parcela 4	36,6	288,2	251,6	186,4	0,810
Parcela 5	55,0	351,5	296,5	260,2	1,130
Parcela 6	56,3	365,8	308,3	256,3	1,116
Parcela 7	56,1	362,9	306,8	268,5	1,166
Parcela 8	56,1	307,0	250,9	219,8	0,955
Parcela 9	56,3	371,6	315,3	245,8	1,068
Parcela 10	56,2	354,4	298,2	217,5	0,945

Método de calcinación por Shulte y Hopkins

	Recipiente (g)	Peso de suelo húmedo con recipiente (g)	Peso seco a 105°C (g)	Peso calcinado a 360°C (g)	%MO
P1	61,92	5,0	4,14	4,02	2,90
P2	67,27	5,0	4,70	4,54	3,40
P3	69,60	5,0	3,95	3,52	10,89
P4	65,19	5,0	4,47	4,12	7,83
P5	66,26	5,0	4,75	4,66	1,89
P6	62,47	5,0	4,88	4,75	2,66
P7	62,14	5,0	4,82	4,74	1,66
P8	66,35	5,0	4,93	4,82	2,23
P9	43,13	5,0	4,48	4,28	4,46
P10	37,67	5,0	4,37	4,04	7,55

Método de calcinación por Shu

	Recipiente (g)	Peso de suelo húmedo con recipiente (g)	Peso seco a 105°C (g)
	9,98	5,0	4,20
	10,01	5,0	4,75
	8,29	5,0	4,05
	9,97	5,0	4,54
	41,82	5,0	4,78
	29,75	5,0	4,87
	39,44	5,0	4,84
	35,51	5,0	4,91
	43,13	5,0	4,51
	37,67	5,0	4,43

MÉTODO DE LA PARAFINA

Parcela 1

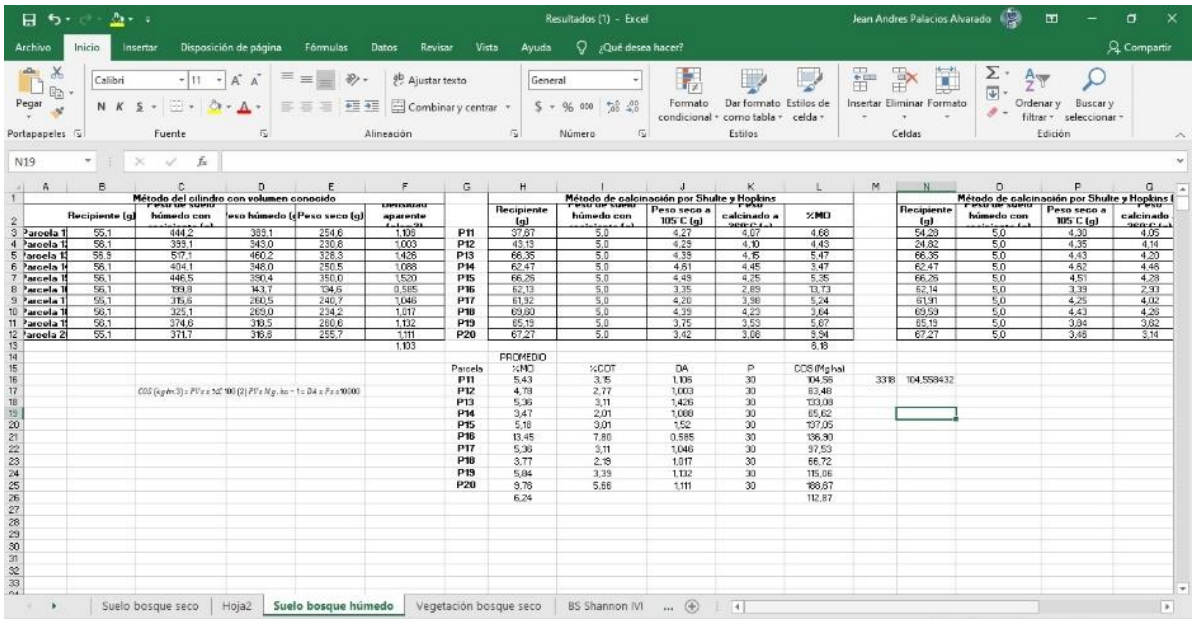
Repetición	Terrón húmedo (g)	Terrón + parafina (g)	Volumen desplazado	4to terrón seco a 105 °C	Densidad parafina
1	5,3	5,3	3,0		0,9
2	6,9	7,0	3,9		
3	4,0	4,1	2,2		
4	6,5			4,9	

Parcela 2

Repetición	Terrón húmedo (g)	Terrón + parafina (g)	Volumen desplazado	4to terrón seco a 105 °C	Densidad parafina
1	12,0	12,0	6,8		0,9
2	10,7	10,8	6,2		
3	11,7	11,7	6,6		
4	9,8			7,6	

Parcela	PROMEDIO %MO	%COT	DA	P	COS (Mg/ha)
P1	3,74	2,17	0,987	30	64,19
P2	3,73	2,16	0,635	30	41,17
P3	12,07	7,00	0,679	30	142,56
P4	9,06	5,25	0,81	30	127,66
P5	2,17	1,26	1,13	30	42,59
P6	3,08	1,79	1,116	30	59,78
P7	1,86	1,08	1,166	30	37,80
P8	2,51	1,45	0,955	30	41,66
P9	4,52	2,62	1,068	30	83,37
P10	7,47	4,33	0,945	30	122,78
	5,02				76,42

Anexo Q. Excel del cálculo de COS del bosque siempreverde



Resultados (1) - Excel

Método del cilindro con volumen conocido

	Recipiente (g)	Peso de suelo húmedo con recipiente (g)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Densidad aparente (g/cm3)
Parcela 1	55,1	444,2	389,1	254,6	1,108
Parcela 1	55,1	398,1	343,0	230,8	1,003
Parcela 1	55,5	517,1	460,2	328,5	1,426
Parcela 1	55,1	404,1	348,0	250,5	1,088
Parcela 1	55,1	446,5	390,4	350,0	1,520
Parcela 1	55,1	199,8	143,7	134,6	0,585
Parcela 1	55,1	315,6	260,5	240,7	1,046
Parcela 1	55,1	325,1	269,9	234,2	1,017
Parcela 1	55,1	374,6	319,5	260,6	1,132
Parcela 2	55,1	371,7	316,6	255,7	1,111
					1,103

$COS\ (kg/m3) = PVe \times \%C/100\ (2)\ PVe\ Mg.ha-1 = DA \times Pe \times 10000$

Método de calcinación por Shulte y Hopkins

	Recipiente (g)	Peso de suelo húmedo con recipiente (g)	Peso seco a 105°C (g)	Peso calcinado a 360°C (g)	%MO
P11	37,87	5,0	4,27	4,07	4,68
P12	45,13	5,0	4,29	4,10	4,43
P13	66,35	5,0	4,38	4,16	5,47
P14	62,47	5,0	4,61	4,45	3,47
P15	66,26	5,0	4,48	4,25	5,35
P16	62,13	5,0	3,35	2,89	13,73
P17	61,92	5,0	4,20	3,98	5,24
P18	69,80	5,0	4,39	4,23	3,64
P19	65,19	5,0	3,75	3,53	5,87
P20	67,27	5,0	3,42	3,08	9,94
					6,18

PROMEDIO

Parcela	%MO	%COT	DA	P	COS (Mg/ha)
P11	5,43	3,15	1,108	30	104,56
P12	4,78	2,77	1,003	30	83,48
P13	5,36	3,11	1,426	30	133,08
P14	3,47	2,01	1,088	30	65,62
P15	5,18	3,01	1,52	30	137,05
P16	13,45	7,80	0,585	30	136,30
P17	5,36	3,11	1,046	30	97,53
P18	3,77	2,18	1,017	30	66,72
P19	5,84	3,39	1,132	30	115,06
P20	9,78	5,66	1,111	30	188,67
	6,24				112,87

3318 104,5584432

Suelo bosque seco | Hoja2 | Suelo bosque húmedo | Vegetación bosque seco | BS Shannon IVI