

**ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO FORESTAL DE LA RESERVA
ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD
DE VALLEDUPAR – CESAR**



AUTORAS:

MARIA CAMILA LUGO SOCARRAS

GABRIELA SOFIA QUINTERO SERRANO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

**ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO FORESTAL DE LA RESERVA
ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD
DE VALLEDUPAR – CESAR**

AUTORAS:

MARIA CAMILA LUGO SOCARRAS

GABRIELA SOFIA QUINTERO SERRANO

DIRECTOR

KARINA PAOLA TORRES CERVERA

CONCURSANTE DOCTORADO CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero dedicarle este trabajo a Dios, por ser mi guía, por darme la sabiduría necesaria para afrontar cada dificultad que se me presenta, a mis padres que sin duda alguna han sido de gran ayuda para mi crecimiento profesional y personal, a mis hermanas, mi sobrino y a mi abuelita que para mí han sido ese motor que me han impulsado a terminar mi carrera con éxito.

María Camila Lugo Socarras

A Dios por mostrarme el camino y a mis padres Nancy Serrano Daza y Ramón Quintero Lesmes quienes han tomado mi mano y me han acompañado a lo largo de este proceso siempre inculcándome los mejor de cada uno, siendo ellos los pilares más importantes de mi vida, a mi hermana menor Manuela Quintero con quien tengo la responsabilidad de ser un ejemplo y a una persona especial María Isabel Zuleta que aunque ya no se encuentra entre nosotros siempre fue como una hermana y sé que desde el lugar en donde esta se alegra por mis logros y me envía sus bendiciones; solo siento Amor, respeto y gratitud para quienes desde siempre ha sido mi hogar.

Gabriela Sofia Quintero Serrano



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle a Dios, porque sin él nada podría ser posible, por darme la paciencia necesaria y el conocimiento para realizar satisfactoriamente mi tesis y culminar con éxito mi carrera, agradecerle a mis padres por apoyarme en todo momento y depositar en mí su confianza en lo largo de mi carrera, a mis compañeros de estudio, a mi directora de tesis, la Ingeniera Karina Torres, por el conocimiento brindado, agradecerle por confiar en mí, por apoyarme y ser mi guía en cada paso que di en mi carrera profesional.

María Camila Lugo Socarras



AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento al apoyo incondicional durante la realización de este proyecto de grado, el cual tiene un valioso significado para nosotras, siendo este el final de una etapa en nuestras vidas, pero también el comienzo de algo nuevo y que será la base para alcanzar nuestros más grandes propósitos, deseamos expresar nuestra gratitud primeramente a Dios por darnos la oportunidad de poder cumplir esta meta, por ser nuestra guía en cada paso y darnos la sabiduría necesaria para afrontar cada dificultad, a nuestros padres por darnos siempre su respaldo y en medio de sacrificios velar por nuestra educación y bienestar, a nuestra familia y amigos que siempre estuvieron ahí para darnos un consejo y voz de aliento cuando quizá en algún momento sentimos desfallecer y nos motivaron a continuar; a nuestros maestros, y en especial a nuestra Directora de proyecto, quién con sus conocimientos y años de experiencia en la ingeniería nos instruyó con paciencia para llegar al éxito; gracias porque sin lugar a dudas esta ha sido una de las mejores experiencias y con nosotras no sólo nos llevamos un título universitario, sino también valiosas enseñanzas, anécdotas y buenos momentos que perdurarán en el tiempo y en nuestros corazones

Gabriela Sofía Quintero Serrano



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	17
3. OBJETIVOS	19
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. MARCO REFERENCIAL.....	20
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
4.2. MARCO TEÓRICO	22
4.2.1. Bosques Secos Tropicales	22
4.2.2. Biomasa.....	23
4.2.3. Método de Muestreo de la Extensión Territorial.....	25
4.2.4. Modelos Alométricos.....	26
4.2.5. Lineamientos del IPCC	26
4.3. MARCO CONCEPTUAL	27
4.4. MARCO CONTEXTUAL.....	28
4.5. MARCO LEGAL	31
5. MARCO METODOLÓGICO.....	35
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN	35
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO	35
5.5. MUESTRA POBLACIONAL	36

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
5.7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	36
Fase 1. Inventario Del Bosque Seco Tropical Para Obtener Indicadores De Biodiversidad Como De Composición Y Estructura De Las Especies Forestales De La Reserva Ecológica Y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado En La Ciudad De Valledupar – Cesar.	36
Fase 2. Elaboración De Los Modelos Alométricos De Las Especies Forestales Del Bosque Seco Tropical Conforme A Los Lineamientos Del IPCC Para La Reserva Ecológica Y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado En La Ciudad De Valledupar – Cesar.	37
Fase 3. Formulación De Acciones De Recuperación Del Bosque Seco Tropical – BST, De La Reserva Ecológica Y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado En La Ciudad De Valledupar – Cesar.	38
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	39
6.1. INVENTARIO DEL BOSQUE SECO TROPICAL PARA OBTENER INDICADORES DE BIODIVERSIDAD COMO DE COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS ESPECIES FORESTALES DE LA RESERVA ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR. .	39
6.1.1. Delimitación De Las Parcelas	39
6.1.2. Trabajo de Campo.....	46
6.1.3. Obtención de indicadores de biodiversidad.....	52
6.2. ELABORACIÓN DE LOS MODELOS ALOMÉTRICOS DE LAS ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE SECO TROPICAL CONFORME A LOS LINEAMIENTOS DEL IPCC PARA LA RESERVA ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR. .	62
6.2.1. Estimación del Contenido de Carbono.....	62
6.2.2. Modelos Alométricos.....	81

6.3. FORMULACIÓN DE ACCIONES DE RECUPERACIÓN DEL BOSQUE SECO TROPICAL – BST, DE LA RESERVA ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR.	86
6.3.1. Acciones Preventivas	86
6.3.2. Acciones Correctivas	99
7. CONCLUSIONES	112
8. RECOMENDACIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de la ciudad de Valledupar.....	29
Figura 2. Delimitación de la primera parcela.	41
Figura 3. Delimitación de la segunda parcela.....	42
Figura 4. Delimitación de la tercera parcela.....	43
Figura 5. Delimitación de la cuarta parcela.....	44
Figura 6. Delimitación de las cuatro parcelas en el Cerro Hurtado de Valledupar.	45
Figura 7. Medición del diámetro normal con cinta métrica.	47
Figura 8. Distribución de familias identificadas.....	52
Figura 9. Clasificación de las especies arbóreas conforme a su nombre común.....	52
Figura 10. Distribución del número de especies por parcelas.	54
Figura 11. Especies arbóreas de la Parcela 1.....	55
Figura 12. Especies arbóreas de la Parcela 2.....	56
Figura 13. Especies arbóreas de la parcela 3.....	57
Figura 14. Especies arbóreas de la parcela 4.....	58
Figura 15. Toma de muestra para la determinación de la densidad de la madera a través de pruebas no destructivas.	63
Figura 16. Medición del peso seco de las muestras.	64
Figura 17. Muestras dispuestas en horno para el proceso de secado.	65
Figura 18. Distribución de densidades por especie en la parcela 1.	68
Figura 19. Distribución de densidades por especie en la parcela 2.	69
Figura 20. Distribución de densidades por especie en la parcela 3.	70
Figura 21. Distribución de densidades por especie en la parcela 4.	71
Figura 22. Resultados de la Biomasa del Fuste por especie.....	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Aspectos Legales importantes relacionados con la idea del Proyecto	31
Tabla 2. Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Primera Parcela)	48
Tabla 3. Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Segunda Parcela)	49
Tabla 4. Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Tercera Parcela).....	50
Tabla 5. Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Cuarta Parcela)	50
Tabla 6. Índice de Shannon.	59
Tabla 7. Índice de Simpson.	61
Tabla 8. Registro de los pesos obtenidos en cada una de las muestras.....	66
Tabla 9. Densidad de Referencia.	67
Tabla 10. Base de Datos de la Biomasa y Carbono Forestal por cada especie inventariada. .	76
Tabla 11. Modelo Alométrico para Predecir Volumen.	82
Tabla 12. Modelo Alométrico para Predecir la Altura.....	83
Tabla 13. Modelo Alométrico para predecir el Diámetro.	84
Tabla 14. Estrategia de Creación de Áreas Protegidas.....	86
Tabla 15. Estrategia de Educación Ambiental.....	88
Tabla 16. Estrategia de Monitoreo y Seguimiento.....	90
Tabla 17. Estrategia de Restauración de Hábitats.....	91
Tabla 18. Estrategia de Control de Especies Invasoras.....	93
Tabla 19. Estrategia de Regulación de Actividades Humanas.	94
Tabla 20. Estrategia de Colaboración con las Comunidades.....	96
Tabla 21. Estrategia de Protección de Especies en Peligro.	97
Tabla 22. Estrategia de Implementar Corredores Biológicos.	99
Tabla 23. Estrategia de Crear Programas de Reforestación Comunitaria	101
Tabla 24. Estrategia de Promover el Turismo Sostenible.	102
Tabla 25. Estrategia de Control a la Contaminación.....	104
Tabla 26. Estrategia de Restringir Actividades Extractivas.	105
Tabla 27. Estrategia de Monitoreo de Especies.	107
Tabla 28. Estrategia de Establecer un Fondo de Conservación.	108

RESUMEN

La presente tesis titulada "Estimación de la Biomasa y Carbono Forestal en la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado" tiene como objetivo principal evaluar y comprender la biodiversidad y la composición del Bosque Seco Tropical (BST) presente en esta reserva. Mediante un completo Inventario del BST, se obtuvieron indicadores de biodiversidad relacionados con la riqueza y abundancia de especies en el área de estudio, demostrando su importancia como hábitat vital para la conservación de la biodiversidad regional. Además, se elaboraron Modelos Alométricos utilizando variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la densidad de la madera, lo que permitió predecir el crecimiento y la biomasa de las especies forestales. Estos modelos son herramientas valiosas para la gestión y conservación adecuada del BST en la reserva.

El análisis de los datos obtenidos reveló una biomasa estimada del BST en el Cerro Hurtado de 14765,65 m³ y una biomasa por cada m² de 0,399 m³ de madera. Estos resultados brindan información fundamental para la toma de decisiones y la formulación de acciones preventivas y correctivas dirigidas a proteger y recuperar este valioso ecosistema.

Las recomendaciones presentadas en el capítulo final tienen como objetivo fortalecer la protección y manejo sostenible del Bosque Seco Tropical en la Reserva, enfocándose en la preservación de su rica biodiversidad y la sostenibilidad de sus ecosistemas.

Palabras clave: Bosque Seco Tropical, biodiversidad, Modelos Alométricos, biomasa, conservación.

ABSTRACT

The present thesis titled "Estimation of Forest Biomass and Carbon in the Ecological Reserve and Environmental Heritage of Cerro Hurtado" aims to assess and understand the biodiversity and composition of the Tropical Dry Forest (TDF) present in this reserve. Through a comprehensive TDF Inventory, biodiversity indicators related to species richness and abundance in the study area were obtained, highlighting its significance as a vital habitat for regional biodiversity conservation. Moreover, Allometric Models were developed using variables such as Diameter at Breast Height (DBH) and wood density, enabling the prediction of growth and biomass of forest species. These models serve as valuable tools for the adequate management and conservation of TDF in the reserve.

Analysis of the collected data revealed an estimated TDF biomass in Cerro Hurtado of 14765.65 m³ and a biomass per m² of 0.399 m³ of wood. These findings provide essential information for decision-making and the formulation of preventive and corrective actions aimed at protecting and restoring this valuable ecosystem.

The recommendations presented in the final chapter aim to strengthen the protection and sustainable management of the Tropical Dry Forest in the Reserve, focusing on the preservation of its rich biodiversity and ecosystem sustainability.

Keywords: *Tropical Dry Forest, biodiversity, Allometric Models, biomass, conservation.*

INTRODUCCIÓN

Los Bosques Secos Tropicales son importantes ecosistemas que aportan grandes beneficios y funciones ambientales gracias a los servicios ecológicos y de biodiversidad que brindan, además que son garantes de la provisión de estos para el sustento del ser humano, la seguridad hídrica y alimentaria. Debido a esto, su protección es prioridad, por ello, es necesario llevar a cabo investigaciones que permitan su reconocimiento y aumente el interés que tienen las comunidades para con este. (Organización internacional de las maderas forestales, 2023)

La reserva ecológica Cerro Hurtado (Concejo Municipal de Valledupar, 1996) es un relicto de Bosque Seco Tropical muy intervenido e impactado por las actividades antrópicas externas y la presión urbanísticas, sin embargo, es un fortín clave para el área urbana de Valledupar, ya que en el pasado ha prevenido inundaciones de flujos torrenciales y avenidas magnas que trae consigo el río Guatapurí; Actualmente este preserva y conserva una memoria histórica para el territorio y juega un papel fundamental como elemento del paisaje para la belleza escénica de la ciudad.

Por consiguiente y debido a como este se encuentra afectado es necesario realizar investigaciones que ayuden a comprender su estado y salud ecosistémica, resaltando la importancia de este en cuanto a la prestación de servicios ecosistémicos fundamentales como la mitigación al cambio climático mediante la fijación de carbono y producción de carbono forestal o biomasa, por lo cual las investigadoras centran su interés en poder formular estrategias preventivas y de corrección para la preservación, conservación, recuperación y restauración de este ecosistema estratégico.

De modo que, la metodología adoptada consiste en realizar inventario forestal de manera segmentada y estadística, con la finalidad de tomar una muestra representativa del sitio y posteriormente hacer laboratorios que permitan conocer el contenido real de carbono. El trabajo *in situ* consta de tomar mediciones que apoyarán la constitución de modelos Alométricos del crecimiento tendencial de las especies identificadas. Además, se tendrá un registro del inventario y se distinguirán variedades importantes y representativas de la zona y para el mejoramiento de las condiciones ecológicas de otros ecosistemas similares.

Para poder llevar a cabo este trabajo de investigación se formularon tres objetivos específicos que persiguen la idea inicial. Estos son:

- ✓ Realizar Inventario del Bosque Seco Tropical para obtener Indicadores de Biodiversidad como de Composición y Estructura de las Especies Forestales de la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar – Cesar.
- ✓ Elaborar los Modelos Alométricos de las especies forestales del Bosque Seco Tropical conforme a los lineamientos del IPCC para la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar – Cesar.
- ✓ Formular Acciones de Recuperación del Bosque Seco Tropical – BST, de la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar – Cesar.

Este documento fue constituido con los Lineamientos y Guía Orientadora para la Estructuración de Informes de Prácticas Académicas en el Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar. (UNICESAR, 2023). La estructura proponente en la mencionada guía se subdivide en cuatro capítulos:

- ✓ **Primer Capítulo:** constituido por el Planteamiento del Problema, Justificación del Proyecto, Objetivos General y Específicos.
- ✓ **Segundo Capítulo:** constituido por el Marco Referencial que contiene a su vez los Antecedentes de la Investigación, Marco Teórico, Marco Conceptual, Marco Contextual y Marco Legal.
- ✓ **Tercer Capítulo:** constituido por el Marco Metodológico que contiene la línea, sub línea y área temática de investigación, enfoque de la investigación, alcance de la investigación, población de estudio, muestra poblacional, diseño de la investigación y la estrategia metodológica.
- ✓ **Cuarto Capítulo:** constituido por los Resultados Esperados, Cronograma de Actividades, Presupuesto del Proyecto y Referencias Bibliográficas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bosques y toda especie forestal, arbórea y vegetal se encuentran amenazada por el cambio climático, por lo cual, la tala indiscriminada de los árboles por el aumento de la frontera urbanística y agrícola producen enormes cantidades de contaminantes atmosféricos que contribuyen indirectamente a su desaparición. (Banco Mundial, 2016).

Las principales actividades económicas que afectan a los bosques son las de producción agrícola y en especial las siembras de cacao y las palmas de aceite africana, las cuales, según las Organización de las Naciones Unidas [ONU], (2021), esta depende de 28 países que representan un aproximado del 75% del comercio mundial de productos que amenazan la integridad de los bosques. (ONU, 2021).

Latinoamérica y sus islas insulares poseen el 23% de las coberturas boscosas en el mundo, sin embargo, en los últimos 30 años de estudio se han reducido drásticamente y en especial los bosques naturales, desde 1990 a 2020 se perdió sistemáticamente entre un 46% a un 53% del territorio (CEPAL, 2021). De los datos estadísticos Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, presenta a Brasil como el país con mayor pérdida de cobertura con un 66,8% del total de hectáreas netas reducidas, Colombia es uno de los países con una tasa de deforestación más elevada, en cuanto a naturalidad y rareza, de 1990 a 2020, en promedio, tuvo una tasa de pérdida de 4,2% en las hectáreas netas reducidas. (Alonso, 2022).

En Colombia, los cambios de uso de las tierras propiciados por la deforestación produjeron un aumento en las emisiones totales entre las 0,8 gigatoneladas de carbono al año hasta las 2,4 gigatoneladas de carbono al año, lo que equivale al 20% del total de emisiones debidas a las acciones que ejercen las personas. (MINAMBIENTE, 2020).

Debido a las estadísticas que se tienen para el mencionado país urgen acciones para mitigar los impactos que recibe la cobertura forestal, entre enero y marzo del 2021, se deforestaron 50.400 hectáreas, siendo que para el 2020 solamente se había deforestado el 91% del valor presentado; en las últimas dos décadas supera los 3 millones de hectáreas. (World Wilde Foundation, 2022).

Uno de los ecosistemas más importante y poco valorado son los Bosques Secos Tropicales – BST, los cuales, en el país solo queda el 8% de los posibles 9 millones de hectáreas que antes lo representaban, además, se ha caracterizado que el sector que más lo han llevado a su desaparición son la agricultura intensiva y extensiva y el urbanismo mediante la construcción de obras para el hábitat humano. (Rico, 2017).

La ciudad de Valledupar se encuentra rodeada de relictos de Bosque Seco Tropical – BST, los cuales se encuentran amenazados por la expansión de la infraestructura; Uno de estos ecosistemas estratégicos que se encuentra dentro del perímetro urbano y que refleja los grandes problemas de la cobertura forestal es la reserva ecológica Hurtado, la cual ha sido afectada por la presión y actividades que ha afectado la provisión de los servicios ecosistémicos que este posee y brinda a los habitantes de la ciudad de Valledupar.

El cerro hurtado sufre impactos ambientales principalmente por la intención de urbanizar su falda noroccidental, principalmente iniciado por la instalación de una antena de telecomunicaciones, así como el despliegue de cobertura vegetal y lechos de roca ignimbrita de la composición geológica local para construcción de casas, extracción de material vegetal y forestal maderable, además, se ha transformado un depósito clandestino de residuos de construcción y demolición y un punto de encuentro para el consumo de estupefacientes.

Además, de manera externa se desarrollan actividades como la construcción del mirador Casa en el Aire, eventos macro en el Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera, así como otros tipos de actividades como senderismo y producción de fuegos que pueden dar origen a una conflagración masiva que afecte las sucesiones vegetales de este ecosistema.

Conforme a lo presentado en los párrafos anteriores, se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál será el valor Estimado de la Estimación de la Biomasa y Carbono Forestal de la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la Ciudad de Valledupar – Cesar?

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Esta investigación es importante porque persigue los objetivos de las políticas relacionadas con el Bosque Seco Tropical – BST del programa para la Gestión Integral del Bosque Seco Tropical del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en sus líneas estratégicas Preservación y Protección, y, Gestión del Riesgo y Cambio Climático (MINAMBIENTE, 2020), las cuales fueron adoptadas en el Plan de Desarrollo Municipal Valledupar en Orden 2020-2023, en su línea estratégica “Valledupar, territorio en orden” en su proyecto “Sostenibilidad Ambiental en Orden”. (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Este proyecto se estaba realizando debido a la importancia del Bosque Seco Tropical y espinoso que conservaba la Reserva Ecológica Hurtado, ya que tiene una conectividad histórica con los ecosistemas del río Guatapurí y es una zona de tránsito intermedia con el Humedal Sicarare, lo que lo convierte en un corredor biológico poco estudiado. Además, la reserva alberga una amplia gama de especies nativas, endémicas y exóticas.

Dada la relevancia de los ecosistemas estratégicos y los recursos y servicios ecosistémicos que proporcionan, es importante obtener información sobre la biodiversidad, la biomasa y el carbono vegetal presentes en la Reserva Ecológica Hurtado. Esta información permite evaluar el estado del ecosistema y su valor subjetivo, así como proporcionar datos relevantes para la toma de decisiones sobre la calidad de las composiciones vegetales presentes en el Cerro Hurtado.

Para el proyecto en cuestión, es importante obtener indicadores de biodiversidad e información de la biomasa y carbono vegetal para reconocer el estado del ecosistema del cerro Hurtado y el valor que se le asigna. Además, la realización de estas mediciones y obtención de información ayudaría a tener una mejor percepción y valoración cultural de los ecosistemas locales por parte de la comunidad. Se busca utilizar métodos que produzcan menos daño a los ecosistemas, ya que las muestras serán no intrusivas y permitirán conocer la composición de la flora y en particular, los árboles.

Por otra parte, la realización de estos sensores ambientales y la obtención de información permitirían tener una mejor percepción de los ecosistemas locales y de los servicios ecosistémicos que brindan. La comunidad en general también podría asignar más

valor cultural y estético a los relictos de Bosque Seco Tropical, al conocer la cantidad de funciones ecológicas que prestan.

Además, este trabajo implica el uso de métodos menos intrusivos para el ecosistema, lo que permitirá denotar cómo se constituye la vegetación y se compone la flora y en particular los árboles. La estimación de la biomasa y el carbono forestal serían indicadores apropiados para conocer el estado de este importante ecosistema urbano y permitirían la toma de decisiones más informadas sobre su manejo y conservación.

Es necesario llevar a cabo este trabajo ya que no se tiene un conocimiento claro de la composición vegetativa del cerro Hurtado, especialmente después de las afectaciones forestales y arbóreas que ha sufrido. Además, el desconocimiento y la falta de reconocimiento de la importancia del valor de este ecosistema urbano son los principales problemas que se solucionarían. Se tiene una referencia pionera que podría ser fácilmente replicada en otros ecosistemas estratégicos urbanos, como el cerro La Popa, el cerro San Alberto, el cerro del Ecce Homo, los humedales, entre otros periurbanos de importancia.



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar la Biomasa y Carbono Forestal de la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar – Cesar.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar Inventario del Bosque Seco Tropical para obtener Indicadores de Biodiversidad como de Composición y Estructura de las Especies Forestales de la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar – Cesar.

Elaborar los Modelos Alométricos de las especies forestales del Bosque Seco Tropical conforme a los lineamientos del IPCC para la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar – Cesar.

Formular Acciones de Recuperación del Bosque Seco Tropical – BST, de la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar – Cesar.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Solano et al., (2019), desarrollaron una investigación titulada "Ecuaciones alométricas para la estimación de la captura de carbono almacenado en árboles", con el objetivo de proponer ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono almacenado en árboles en diferentes ecosistemas de Colombia. Para ello, utilizaron datos de diámetros y alturas de árboles, así como de la densidad de la madera, obtenidos en estudios realizados en diferentes regiones del país. Como resultado, se obtuvieron ecuaciones alométricas específicas para cada región, que permiten una estimación precisa de la biomasa y el carbono almacenado en árboles. El aporte de esta investigación es de carácter metodológico y práctico, ya que las ecuaciones alométricas propuestas pueden ser utilizadas por investigadores y profesionales en la estimación de la biomasa y el carbono almacenado en árboles en diferentes ecosistemas de Colombia.

Godoy y Rueda et al., (2016), desarrollaron la investigación "El uso de inventarios forestales para entender la evolución, el mantenimiento, y el funcionamiento de la diversidad de especies" con el objetivo de demostrar la importancia de los inventarios forestales para comprender la evolución, el mantenimiento y el funcionamiento de la diversidad de especies en los bosques. La metodología utilizada consistió en la realización de un inventario forestal en un bosque tropical húmedo en Colombia, donde se registraron datos sobre la composición y estructura de la comunidad de árboles. Los resultados obtenidos permitieron entender la diversidad de especies presentes en el bosque y la relación que existe entre ellas. El aporte de este antecedente para la investigación es teórico, ya que proporciona una base conceptual sólida sobre el uso de inventarios forestales para entender la diversidad de especies en los bosques. Además, el aporte se seleccionó por criterios metodológicos, ya que se utilizó una metodología similar en la investigación actual para llevar a cabo el inventario forestal.

Quiceno et al., (2016), el estudio titulado Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia), tuvo como objetivo estimar el contenido de biomasa, la fijación de carbono y los servicios ambientales que proporciona un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco

Chigüiro-Chátare de Barrancominas en Colombia. Para ello, se utilizó un enfoque de muestreo sistemático de parcelas de 1,000 metros cuadrados en diferentes zonas del bosque, y se midieron la altura, el diámetro y la densidad de la madera, la biomasa aérea, la biomasa subterránea y el carbono almacenado en el área estudiada. Los resultados obtenidos mostraron que el bosque primario estudiado es una fuente importante de fijación de carbono y de servicios ambientales para la comunidad indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, y que la conservación de este bosque es crucial para mitigar los efectos del cambio climático y proteger la biodiversidad de la región. El aporte del antecedente para la investigación en curso es práctico, ya que presenta una metodología para estimar la biomasa y el carbono almacenado en un área de bosque primario similar a la que se encuentra en la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar-Cesar, Colombia.

Cuesta et al., (2016), desarrollaron la investigación titulada Estimación de la Biomasa Aérea y Subterránea en Bosques Andinos del Norte de Ecuador y Sur de Colombia. El objetivo de la investigación fue determinar la cantidad de biomasa forestal presente en estos bosques, lo que permitiría evaluar el potencial de estos ecosistemas como sumideros de carbono y diseñar estrategias de manejo forestal sostenible. Para cumplir con este objetivo, se utilizó una metodología basada en mediciones de diámetro y altura de los árboles, así como en análisis de suelo y raíces. Como resultado, se obtuvo información valiosa sobre la biomasa forestal y el carbono almacenado en estos bosques andinos, lo que podría ser útil para la gestión sostenible de los recursos naturales en la región. En este sentido, el aporte de este antecedente es principalmente metodológico, ya que proporciona una metodología para la estimación de biomasa en ecosistemas similares al de la reserva ecológica Cerro Hurtado en Valledupar-Cesar, lo que podría ser útil para la investigación que se propone en este trabajo.

Chave et al., (2014), llevaron a cabo una investigación para desarrollar ecuaciones alométricas para la estimación del carbono almacenado en los árboles. El objetivo de la investigación fue establecer una herramienta práctica para estimar la cantidad de carbono almacenado en los árboles y, de esta manera, ayudar en la toma de decisiones en la gestión forestal y en el diseño de políticas públicas para la mitigación del cambio climático. La metodología utilizada en la investigación consistió en medir el diámetro y la altura de los árboles y estimar la biomasa aérea mediante ecuaciones alométricas. Los resultados obtenidos permitieron establecer ecuaciones precisas para la estimación del carbono almacenado en los

árboles de diferentes especies y tamaños, lo que podría ser útil para la gestión forestal sostenible y la evaluación de los servicios ecosistémicos. En este sentido, el aporte de este antecedente es principalmente práctico, ya que proporciona una herramienta metodológica para la estimación del carbono almacenado en los árboles, lo que podría ser útil para la investigación que se propone en este trabajo.

Carrillo et al., (2014), realizaron una investigación con el objetivo de estimar la biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México. Los autores desarrollaron esta investigación debido a la importancia de comprender la cantidad de biomasa y carbono que albergan los bosques, para poder entender su papel en la regulación del clima y el mantenimiento de la biodiversidad. La metodología utilizada por los autores incluyó la realización de inventarios forestales y la aplicación de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono almacenado en dos especies arbóreas. Los resultados obtenidos en la investigación fueron la estimación de la biomasa y el carbono almacenado en las especies estudiadas, lo que permite entender la importancia de estos bosques en la mitigación del cambio climático. El aporte que realiza este antecedente para la investigación es práctico y metodológico, ya que proporciona información relevante sobre la estimación de la biomasa y el carbono en especies arbóreas, lo que puede ser aplicado en otras regiones y ecosistemas.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Bosques Secos Tropicales

El bosque seco tropical (BST), se define como una formación vegetal que presenta una cobertura boscosa continua y que se distribuye entre los 0-1000 m de altitud; presenta temperaturas superiores a los 24°C (piso térmico cálido) y precipitaciones entre los 700 y 2000 mm anuales, con uno o dos periodos marcados de sequía al año (IAvH 1998). De acuerdo con Hernández (1990) esta formación corresponde a los llamados bosques higrotropofíticos o BST de Holdridge.

Presenta una vegetación con características xerofíticas, correspondientes a formaciones secas tropicales. Estos ecosistemas se caracterizan por la diversidad de especies de fauna y flora con distintos tipos de adaptación a su medio ambiente, debido en particular a que están expuestas a regímenes de grave sequía y temperaturas extremas.

4.2.1.1. Inventario De Bosque Seco Tropical.

El Bosque Seco Tropical (BST) es un ecosistema de gran importancia ecológica y económica en América Latina, caracterizado por su alta diversidad biológica y endemismo de especies. En Colombia, el BST es el segundo tipo de bosque más importante después de la selva amazónica, y alberga alrededor de 2.500 especies de plantas, 400 especies de aves, 100 especies de mamíferos y 90 especies de reptiles (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

El Inventario Forestal es una herramienta fundamental para la gestión y conservación del BST, ya que permite obtener información detallada sobre la composición y estructura de las especies forestales presentes en una determinada área. La realización de un inventario forestal adecuado puede proporcionar información sobre el número de árboles, su diámetro, altura y especie, así como también sobre la densidad y diversidad de la comunidad forestal (Chazdon, 2016). Esta información es crucial para la toma de decisiones en la gestión del bosque y la formulación de políticas públicas de conservación y uso sostenible de los recursos forestales.

4.2.2. Biomasa

Según la unión europea la (UE), la biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales. (Cerdá E. , 2012).

4.2.2.1. Tipos De Biomasa.

Dentro de la Unión Europea, el observatorio que realiza el mejor seguimiento de la situación de las energías renovables (EurObserv'ER Barometer, por sus siglas en inglés) determina que, dentro de biomasa o también conocida como bioenergía, cuatro fuentes de biomásas diferentes: (1) biomasa sólida, (2) biogás, (3) Fracción Orgánica De Los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), y (4) biocarburentes (también llamados biocombustibles líquidos). De acuerdo con Cerdá, Caparrós y Ovando, (2008), la definición exacta de cada una de estas cuatro fuentes energéticas que constituyen lo que conocemos como biomasa, en sentido amplio, aparece al principio del párrafo dedicado a continuación a cada una de ellas (Cerdá E. , 2012).

- **Biomasa sólida:** Usos térmicos o eléctricos de sustancias orgánicas de origen vegetal o animal. Según el origen y composición de cada tipo de material y residuo utilizado, la biomasa sólida se clasifica en:

Primaria: Incluye cultos energéticos, que son cultivos de especies vegetales específicamente diseñados para producir biomasa para su uso como energía. Las especies agrícolas para la producción de biomasa lignocelulosa incluyen cardo, sorgo y canola etíope. Entre las especies arbóreas, se pueden mencionar especialmente chopos, sauces, eucaliptos y paulonia.

Residual o secundaria: Son los residuos forestales (como los desbroces o poda), residuos agrícolas de madera (como podas de olivos, viñedos y árboles frutales), residuos agrícolas de hierba (como la paja de cereales de invierno o el tallo del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, aserrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz, etc.). (Cerdá E. , 2012).

Biogás: La descomposición anaeróbica de los componentes de desechos orgánicos se denomina metanización. Esta fermentación es llevada a cabo por bacterias que prosperan en un ambiente libre de oxígeno. Durante el proceso de transformación de la materia orgánica, conocido como digestión, estas bacterias producen un gas, conocido como "biogás", en su origen.

El biogás de las aguas residuales municipales e industriales a menudo se produce en la misma planta de tratamiento de aguas residuales. Los desechos agrícolas y animales se pueden tratar en pequeñas plantas de biogás a nivel de finca o grupo de fincas. En términos de uso, el biogás se puede usar para producir calor y electricidad en calderas, producir electricidad en motores y turbinas, celdas de combustible después de limpiar la película de sulfuro de hidrógeno y otras impurezas, ingresa a la red de transmisión de gas natural después de la limpieza y reposición. aditivo necesario (sobre todo en Alemania, Suecia y Holanda), materia prima para la síntesis de productos de alto valor añadido como el metanol o el gas natural licuado, incluso como combustible para la industria del automóvil. (Cerdá E. , 2012).

Biocarburantes: El biocombustible es un combustible líquido de origen biológico que, por sus propiedades físico-químicas, es apto para la sustitución completa de la gasolina o el

gasóleo ya sea en mezclas con ellos o como aditivos. El tema de los biocombustibles, es decir, los combustibles líquidos, se ha tratado en otro artículo de este monográfico, por lo que en este artículo nos centraremos en la biomasa sólida y el biogás. (Cerdá E. , 2012).

4.2.2.2. Métodos para medir o estimar la Biomasa.

Existen 2 métodos para estimar y medir la biomasa aérea y biomasa sobre el suelo que son, el método directo y el método indirecto:

El método directo o destructivo: Es utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, y consiste en cosechar la biomasa de todos los árboles en un área conocida, secarla y pesarla. Posteriormente, el valor obtenido de biomasa seca se convierte a carbono aplicando un factor de conversión de 0,5, debido a que se ha establecido que el contenido de carbono corresponde a cerca del 50% de la biomasa. Este método destructivo es utilizado convencionalmente para proyectos locales, pero implica altas inversiones de tiempo, recursos y mano de obra, por lo cual no es recomendado para niveles regionales o escalas nacionales. (IDEAM, 2011)

El método indirecto: Consiste en utilizar las ecuaciones alométricas que actualmente existen en la literatura, y que fueron generados a partir del método directo, con el fin de realizar los cálculos de biomasa necesarios para los proyectos. En este caso, solo es necesario medir las variables ecuación seleccionada. En el presente protocolo se describirá el método indirecto para estimar la biomasa aérea o biomasa sobre el suelo, empleando ecuaciones alométricas desarrolladas para el contexto colombiano, las cuales permiten estimar los contenidos de carbono almacenados en los bosques naturales. Adicionalmente, se presentan algunas ecuaciones recomendadas en la literatura científica en el caso de plantaciones forestales. (IDEAM, 2011)

4.2.3. Método de Muestreo de la Extensión Territorial

El método de muestreo de la extensión territorial es una técnica estadística utilizada para determinar el área de estudio a parcelar en una reserva ecológica. Este método consiste en dividir el territorio en unidades de igual tamaño, generalmente décimas de hectárea, para luego seleccionar al azar una muestra representativa de dichas unidades y hacer el inventario forestal correspondiente. Esto permite obtener una estimación de la composición y estructura del bosque, así como de la biodiversidad de la reserva.

Según Pérez et al. (2017), el método de muestreo de la extensión territorial se ha utilizado en varias reservas ecológicas en Colombia y ha demostrado ser una técnica eficiente para el inventario y monitoreo de la biodiversidad forestal. Por ejemplo, en un estudio realizado en la Reserva Forestal Protectora Bosques de San Lorenzo en el departamento de Nariño, se utilizó este método para estimar la densidad y diversidad de especies forestales, obteniendo resultados confiables y precisos.

Es importante destacar que este método de muestreo requiere de una selección aleatoria de las unidades de muestra para garantizar su representatividad, así como de un diseño adecuado de la parcelación del territorio para asegurar la precisión y eficiencia de los resultados (Guevara, Sánchez, & Fernández, 2021). Además, es fundamental contar con personal capacitado y equipos adecuados para la recolección de datos, como cintas métricas, dendrómetros y GPS, entre otros.

4.2.4. Modelos Alométricos

Los modelos alométricos son herramientas matemáticas que permiten estimar la biomasa y el carbono almacenado en los árboles, utilizando variables como la altura y el diámetro del tronco. Estos modelos son fundamentales para la toma de decisiones en la gestión forestal, ya que permiten conocer la cantidad de biomasa y carbono que se encuentra almacenada en un bosque determinado, y así diseñar estrategias para su conservación y aprovechamiento sostenible (Guo, et al., 2019).

La elaboración de modelos alométricos se ha convertido en una práctica común en estudios de inventarios forestales, ya que permite estimar la biomasa y el carbono almacenado en los árboles de forma rápida y precisa. Además, estos modelos son importantes para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, ya que el sector forestal juega un papel importante en la absorción de CO₂ atmosférico (Monteiro, Santos, Carvalho, Azevedo, & Souza, 2018). En este sentido, la elaboración de modelos alométricos se convierte en una herramienta fundamental para la medición y monitoreo de la mitigación del cambio climático en la gestión forestal.

4.2.5. Lineamientos del IPCC

Los lineamientos del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) son una guía metodológica para la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero (GEI)

y la estimación de la captura y almacenamiento de carbono en los bosques y otros ecosistemas. Estos lineamientos establecen los principios y requisitos técnicos para la medición, monitoreo y reporte de las emisiones y remociones de GEI, así como para el cálculo de los cambios en el carbono almacenado en la biomasa y el suelo.

La utilización de los lineamientos del IPCC para la elaboración de modelos alométricos permiten asegurar una adecuada comparabilidad y consistencia de los datos, además de garantizar la calidad y la precisión en las estimaciones de carbono almacenado en los bosques. La aplicación de estos lineamientos ha sido ampliamente adoptada en los estudios de inventario de carbono forestal, especialmente en los países en desarrollo que buscan implementar estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

Por ejemplo, en Colombia se ha adoptado la metodología del IPCC para la elaboración de los inventarios forestales y la estimación de la captura y almacenamiento de carbono en los bosques. Según el último informe presentado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, se estima que el país cuenta con una cobertura forestal de 60,4 millones de hectáreas, lo que equivale al 51,4% del territorio nacional, y que la captura de carbono en los bosques asciende a 191,2 millones de toneladas de CO₂ equivalente al año (MADS, 2020).

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Bosque seco tropical: Es un tipo de bosque tropical que se encuentra en regiones con estaciones secas prolongadas. Es un ecosistema único que alberga una alta biodiversidad y se considera uno de los ecosistemas más amenazados del mundo (Chave, Chidumayo, Colgan, Delitti, & Sánchez, 2014).

Cambio climático: El cambio climático es la alteración del clima y las temperaturas de la Tierra que afecta a los ecosistemas y origina cambios que directa o indirectamente son producidos por la actividad humana. (Manos Unidas, 2022).

Desarrollo sostenible: Se refiere al desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Es un enfoque integral que aborda el equilibrio entre el crecimiento económico,

la equidad social y la protección del medio ambiente (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987).

Indicadores de biodiversidad: El indicador mide la variación espacio temporal promedio de la superficie de vegetación existente en las AP. (CEPAL, 2017)

Inventario forestal: El inventario forestal es una técnica y metodología que permite evaluar los recursos forestales y los recursos de árboles del bosque y proporciona información cualitativa y cuantitativa sobre el estado, utilización, ordenación y tendencias de estos recursos. (FAO, 2023)

Modelos alométricos: Son ecuaciones matemáticas que se utilizan para estimar la biomasa de los árboles a partir de medidas no destructivas, como la circunferencia del tronco y la altura. Estos modelos son importantes para la evaluación de los recursos forestales y la gestión sostenible de los bosques (Chave et al., 2014).

Reserva forestal: La reserva forestal es un área que se encuentra protegido por el Estado, ya que posee gran importancia para la vida silvestre, flora o la fauna del país, al mismo tiempo que ofrece al hombre la oportunidad de realizar investigaciones en pro a la conservación de las especies. (Redacción, 2022)

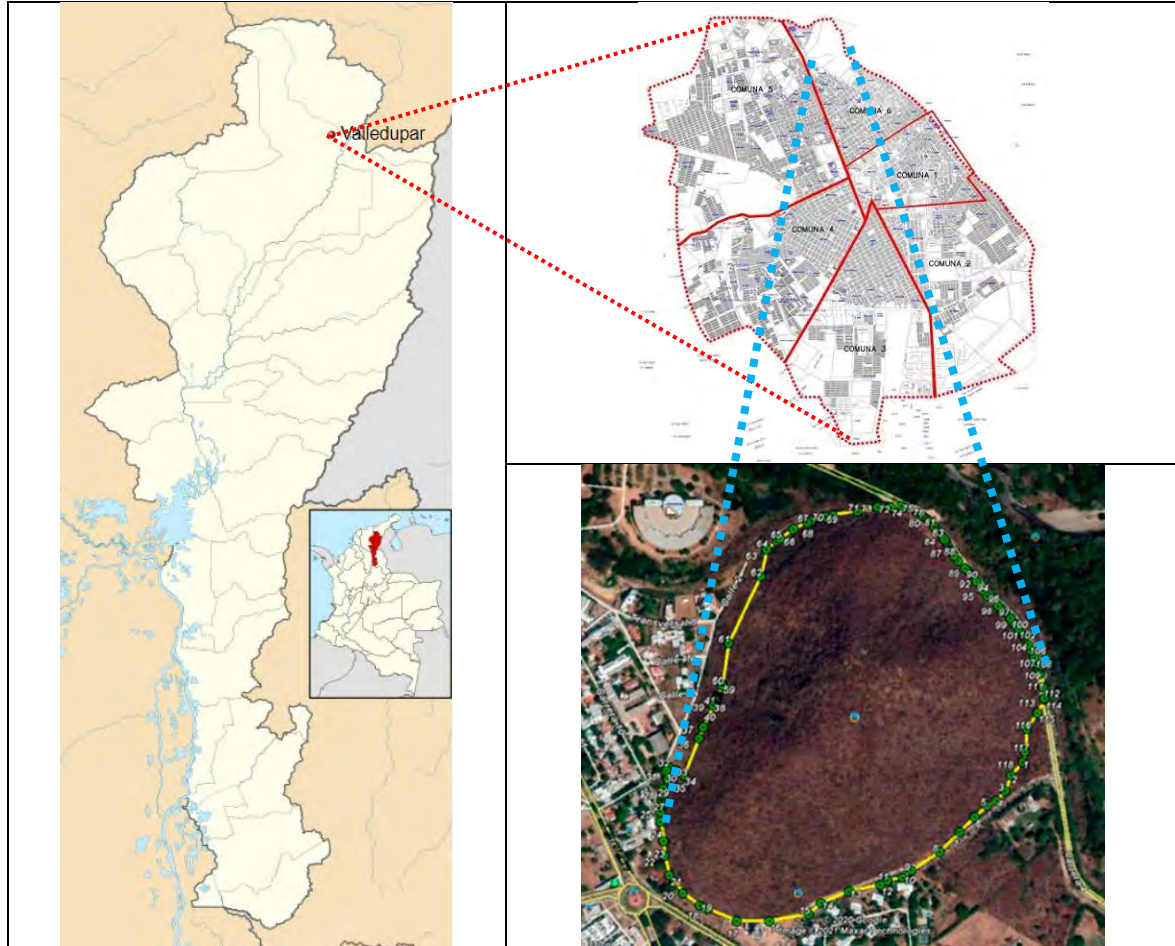
4.4. MARCO CONTEXTUAL

Valledupar, también llamada Ciudad de los Santos Reyes del Valle de Upar, es un municipio colombiano, capital del departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 149 km², 559.462 habitantes y junto a su área metropolitana reúne 691.266 habitantes; está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas. (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Está ubicada al nororiente de la Costa Atlántica colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al occidente y la serranía del Perijá al oriente. (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Figura 1.

Localización de la ciudad de Valledupar



Nota: Tomado por las Autoras de Internet, 2023.

Economía

Actualmente la ciudad de Valledupar empieza a diversificar su economía abriendo nuevas perspectivas distintas a la tradicional vocación agropecuaria de gran validez histórica. Desde la creación del departamento del Cesar y la designación de la ciudad como su capital, el desarrollo económico de la nueva ciudad creció hasta alcanzar niveles nunca más alcanzados, que en materia agropecuaria logró consolidarse como el primer productor nacional de algodón y la segunda cabaña bovina más grande del país después de Córdoba; trayendo consigo nuevas inversiones y un bienestar realmente palpable. Hacia mediados de los años 90, la ciudad al igual que el resto del país se sume en una profunda crisis económica que a pesar de grandes dificultades y falencias administrativas se logra superar sino completamente en gran parte. La caída del negocio del algodón, la violencia generalizada y el arribo a la ciudad de un gran

número de desplazados forzaron que la ciudad empezara a abrir nuevos horizontes en materia de sustento no sin gran dificultad. (Alcaldía de Valledupar, 2020)

Hidrografía

El territorio del municipio de Valledupar es recorrido por los ríos Cesar, Badillo, Guatapurí (con su afluente el río Donachuí), Ariguaní, Cesarito, río Seco, Diluvio y Mariangola. El valle del río Cesar cubre la mayor parte de la superficie del municipio. La Sierra Nevada de Santa Marta constituye el sistema montañoso más importante, y con la serranía de Perijá y la serranía de Valledupar configuran el extenso valle por donde corre el Cesar. (Alcaldía de Valledupar, 2020)

Vegetación

El valle del río Cesar pertenece a la clasificación climática Bosque Seco Tropical, estando cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la importante cabaña bovina existente en sus campos. Las especies más representativas de la región, que corresponde a bosque seco tropical, están representadas por los géneros Cassia, Tabebuia, Crescentia e Inga entre otras con nombres comunes como acacias, cañaguates, guanábanos, cedros, ceibas y una importante variedad de especies foráneas muy adaptadas ya al medio local como los mangos, eucaliptos y cítricos. (Alcaldía de Valledupar, 2020)

4.5. MARCO LEGAL

Tabla 1.

Aspectos Legales importantes relacionados con la idea del Proyecto

Normativa	Descripción	Aplicación
Constitución Política de Colombia de 1991	<p>ARTÍCULO 8. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.</p> <p>ARTICULO 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p>ARTICULO 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así</p>	<p>Principios que deben cumplirse como derechos y deberes de los colombianos.</p>

Normativa	Descripción	Aplicación
	mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.	
Ley 2 de 1959 Economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables.	Zonas de reserva forestal y bosques nacionales, para la protección de la economía forestal y protección de suelos, aguas y la vida silvestre.	Debido a que se realizara una investigación en campo para recolectar los datos que serán utilizados en la construcción de los modelos alometricos.
Ley 1449 de 1977	Por el cual se reglamenta parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley No. 2811 de 1974. Artículo 3. Protección y conservación de los bosques, en relación con Áreas Forestales Protectoras.	Necesaria para la elaboración de las estrategias para la conservación y protección del ecosistema en estudio.
Ley 99 de 1993 Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental.	Adquisición por la Nación de áreas o ecosistemas de interés estratégico para la conservación de los recursos naturales.	Aplica debido a que el ecosistema en estudio es un área protegida según el acuerdo 032 de 1996 expedido por el concejo municipal de la ciudad de Valledupar-Cesar.

Normativa	Descripción	Aplicación
Ley 461 de 1998 Por la cual se aprueba la "Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular África" hecha en París el 17 de junio de 1994	Reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento. Busca velar por una gestión integrada y sostenible de los recursos naturales, que abarque: - Las tierras agrícolas y de pastoreo. - La cubierta vegetal y la flora y fauna silvestres. - Los bosques. - Los recursos hídricos y su conservación y, - La diversidad biológica	Realización de inventario forestal para determinación de indicadores de biodiversidad.
Decreto 2811 de 1974 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Dominio de los recursos naturales renovables; manejo de los suelos forestales por su naturaleza y de los bosques que contienen (áreas forestales).	Debido a que se pretenden elaborar estrategias o medidas de conservación para la reserva forestal ecológica del cerro Hurtado en la ciudad de Valledupar-Cesar es necesario soportes reglamentarios en este campo.

Normativa	Descripción	Aplicación
Decreto 877 de 1976	(Artículo 6) Prioridades referentes a los diversos usos del recurso forestal, a su aprovechamiento y al otorgamiento de permisos y concesiones y se dictan otras disposiciones. Aprovechamiento forestal, determinará las limitaciones y condiciones al aprovechamiento forestal en las áreas forestales protectoras y productoras que se encuentren en la zona.	Construcción de modelos alométricos y estimación de contenido de carbono
Decreto 2372 de 2010 Por el cual se reglamenta el Decreto 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993 (Reglamentar el Sistema Nacional de Áreas Protegidas).	Establece el deber del Estado a proteger la diversidad e integralidad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para lograr estos fines. Artículo 10. Áreas protegidas por el SINAP.	Aplica debido a que el ecosistema en estudio es un área protegida según el acuerdo 032 de 1996 expedido por el concejo municipal de la ciudad de Valledupar-Cesar.
Decreto 1076 del 2015	Decreto Único Reglamentario Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Normalizado en el Libro 2 Parte 2 Título 2ª referente a la Biodiversidad Capítulo 1, 2 y 4.

Nota: Tomado de la sección Normativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (MINAMBIENTE, 2022).

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto se apoya en la línea de investigación sostenibilidad y gestión ambiental la cual adopta el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Universidad Popular del Cesar, apoyándose en la sublínea de investigación de gestión integral de la biodiversidad y del patrimonio ambiental y el área temática Ecosistemas estratégicos para la conservación y desarrollo de la región puesto que dentro de este proyecto se trabajará en la estimación de biomasa y captación de carbono dentro de la reserva forestal del cerro hurtado el cual es considerado como un ecosistema estratégico para conservación y desarrollo de la región. (UNICESAR, 2021).

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto se basó en un enfoque de investigación cuantitativa ya que se realizó una estimación de la biomasa y captación de carbono en la reserva de bosque seco tropical en el cerro Hurtado de la ciudad de Valledupar utilizando modelos alometricos, obteniendo de esta manera indicadores de biodiversidad que permitieron establecer las condiciones de este ecosistema actualmente y las medidas o estrategias se plantearon para su conservación y protección puesto a su importancia como ecosistema estratégico y los servicios ecosistémicos que este provee, obediendo un proceso sistémico de medición, tal como lo indica Hernández S. (2018).

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto se basó en un alcance de investigación descriptivo, ya que se recopiló información sobre características particulares del ecosistema estratégico de estudio para lograr comprender su estado y status, conforme a indicadores de biodiversidad y capacidad. (Hernández S., Fernández C., & Baptista L., Metodología de la Investigación, 2014).

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Esta investigación se realizó específicamente en relicto de Bosque Seco Tropical, el cual es considerado importante por las funciones ecológicas y niveles de endemismo que presenta. Particularmente a aquellos que se encuentra situados en piso climático térmico de acuerdo con la clasificación de climas de Köppen y Geiger. (1936).

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

La muestra poblacional es no probabilística y dirigida (Bencardino M., 2012), seleccionando como unidad de análisis a relicto de Bosque Seco Tropical y Espinoso de la Reserva Ecológica Cerro Hurtado, localizado al norte de la ciudad de Valledupar, dentro de su perímetro urbano, el cual colinda con carrera 4ta, calle 2 y DPA.

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental de tipo transeccional, puesto que la toma de información de campo no necesita ser corroborado ya que representa un hecho singular de un único momento que no es afectado considerablemente por variables extrínsecas que lo permitan hacer variar. Por lo cual, no existe una variable de control definida.

5.7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Fase 1. Inventario Del Bosque Seco Tropical Para Obtener Indicadores De Biodiversidad Como De Composición Y Estructura De Las Especies Forestales De La Reserva Ecológica Y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado En La Ciudad De Valledupar – Cesar.

Actividad 1.1 Delimitación De Las Parcelas.

Descripción: Se determinó el área de estudio a parcelar por un método estadístico denominado décimo de hectárea, que consistió en hacer un estadístico demostrado a partir de la extensión territorial que poseía la reserva. El método del décimo de hectárea fue ampliamente utilizado en estudios de biodiversidad y permitió obtener una muestra representativa de la diversidad biológica en una zona determinada. En este caso, se continuó para definir las parcelas que fueron delimitadas en la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado. Además, era importante tener en cuenta la altitud del cerro y las caras de orientación, ya que estos factores influyeron en la distribución de la vegetación y la diversidad biológica.

Actividad 1.2. Trabajo De Campo.

Descripción: Se recolectaron datos sobre las especies forestales presentes en el área de estudio. Para ello, se utilizaron herramientas de medición y equipos especializados para registrar información como el diámetro a la altura del pecho y la altitud de los árboles. Asimismo, se procedió a identificar cada especie registrada, tanto con su nombre común como con su nombre científico. Esta tarea resultó importante, ya que permitió establecer una relación entre las características de cada especie y su entorno, lo que a su vez contribuyó a la

comprensión de la estructura y composición del bosque. Además, se tomaron fotografías de las especies identificadas para complementar el registro y facilitar su identificación en futuros trabajos de campo. Una vez finalizada la recolección de datos, se procedió a realizar los cálculos estadísticos descriptivos necesarios para interpretar los datos recogidos y establecer patrones y tendencias en la biodiversidad del Bosque Seco Tropical.

Actividad 1.3. Obtención De Indicadores De Biodiversidad.

Descripción: La obtención de indicadores de biodiversidad era fundamental para la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas y la toma de decisiones en cuanto a su manejo y conservación. En la actividad de obtención de indicadores de biodiversidad se recolectó información a partir del inventario forestal realizado en la fase de delimitación de las parcelas y se hizo una caracterización detallada para la obtención de los indicadores de composición y estructura para el área de estudio. Los indicadores de composición permitieron conocer la riqueza y abundancia de las especies inventariadas, mientras que los indicadores de estructura proporcionaron información sobre la distribución espacial y el estado de salud de la vegetación. Los indicadores obtenidos se utilizaron para identificar las especies más importantes y los ecosistemas más representativos, así como para evaluar el estado de conservación de la biodiversidad en la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en la Ciudad de Valledupar – Cesar.

Fase 2. Elaboración De Los Modelos Alométricos De Las Especies Forestales Del Bosque Seco Tropical Conforme A Los Lineamientos Del IPCC Para La Reserva Ecológica Y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado En La Ciudad De Valledupar – Cesar.

Actividad 2.1. Estimación del Contenido de Carbono.

Descripción: Se tomó una muestra representativa de hojarasca, hojas y corteza de los árboles en la zona de estudio. Posteriormente, estas muestras fueron llevadas a un laboratorio especializado en el análisis de carbono, donde se realizaron pruebas químicas para determinar la cantidad de carbono presente en las muestras. Esta información resultó fundamental para el desarrollo de los modelos alométricos, que son herramientas matemáticas utilizadas para estimar el carbono almacenado en los árboles y la biomasa forestal en general. De esta manera, la estimación del contenido de carbono fue un paso importante en la evaluación de la contribución de los bosques a la mitigación del cambio climático.

Actividad 2.1: Modelos Alométricos.

Descripción: Los alométricos son una herramienta estadística utilizada para predecir el crecimiento y la biomasa de una especie forestal a partir de sus características físicas, como su diámetro a la altura del pecho (DAP), altura, densidad de la madera, entre otros. En esta fase del proyecto se definieron las variables a utilizar en la construcción de los modelos alométricos de múltiples variables para cada una de las especies identificadas en la reserva ecológica y patrimonio ambiental Cerro Hurtado. Estas variables se complementan con datos de los inventarios de biomasa y carbono forestal del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), que permitieron construir modelos precisos y fiables para predecir el crecimiento de las especies forestales en la zona.

Fase 3. Formulación De Acciones De Recuperación Del Bosque Seco Tropical – BST, De La Reserva Ecológica Y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado En La Ciudad De Valledupar – Cesar.

Actividad 3.1. Acciones Preventivas.

Descripción: Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron en las actividades previas, se establecieron medidas preventivas para evitar impactos al entorno y que estas pudieran ser tenidas en cuenta en la toma de decisiones, garantizando así la protección del ecosistema en el cual se desarrollaban las especies identificadas y, en especial, para aquellas que se encontraban en algún estado de conservación y que representaban importancia para el ecosistema del Bosque Seco Tropical.

Actividad 3.2. Acciones Correctivas.

Descripción: Conforme a los resultados obtenidos en las actividades anteriores, se establecieron medidas correctivas para garantizar que se mejoraran las condiciones del entorno y el ecosistema en el cual se desarrollaban las especies identificadas y, en especial, para aquellas que se encontraban en algún estado de conservación y que representaban importancia para el ecosistema del Bosque Seco Tropical.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. INVENTARIO DEL BOSQUE SECO TROPICAL PARA OBTENER INDICADORES DE BIODIVERSIDAD COMO DE COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS ESPECIES FORESTALES DE LA RESERVA ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR.

6.1.1. *Delimitación De Las Cuatro Parcelas en el Cerro Hurtado de Valledupar*

En la investigación llevada a cabo en la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado, se utilizó el método décimo por hectárea para llevar a cabo la delimitación de las parcelas. En este enfoque, se seleccionó una muestra representativa del área total mediante la toma de cuatro parcelas, cada una con una extensión de 4000 metros cuadrados. Estas parcelas fueron dispuestas de manera aleatoria sobre la superficie total de 37 hectáreas que tiene el Cerro Hurtado (Ovalle, 2022).

La delimitación precisa de las cuatro parcelas según este método es fundamental para garantizar la representatividad de la muestra y obtener resultados que puedan ser extrapolados al área total de la reserva. Cada parcela fue cuidadosamente delimitada utilizando herramientas de medición. Dentro de cada una de las cuatro parcelas, se procedió a identificar y medir los árboles con un perímetro mayor a 30 cm, utilizando cintas métricas y otros instrumentos de medición. Este criterio de selección se estableció para enfocar el estudio en los árboles de mayor tamaño, los cuales suelen tener una contribución significativa a la biomasa y el carbono forestal.

La primera parcela se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: punto inicial $10^{\circ}29'26.93''N - 73^{\circ}15'44.73''O$ y punto final $10^{\circ}29'28.39''N - 73^{\circ}15'42.01''O$. La trayectoria de esta parcela abarca una distancia de 100 metros, con 40 metros de ancho a cada lado. En total, la superficie de la parcela es de 4000 metros cuadrados. El punto inicial y el punto final definen los límites de la trayectoria, mientras que la distancia de 100 metros y el ancho de 20 metros a cada lado determinan el tamaño y la forma de la parcela. (ver la **Figura 2**).

La segunda parcela se encuentra definida por las siguientes coordenadas geográficas: punto inicial $10^{\circ}29'35.67''N - 73^{\circ}15'32.98''O$ y punto final $10^{\circ}29'36.80''N - 73^{\circ}15'31.43''O$. La trayectoria de esta parcela abarca una distancia de 50 metros, con un ancho de 80 metros a cada lado. Estas coordenadas geográficas y características de la parcela son esenciales para la delimitación precisa y el estudio de la vegetación y los ecosistemas presentes en esta área. (ver **Figura 3**).

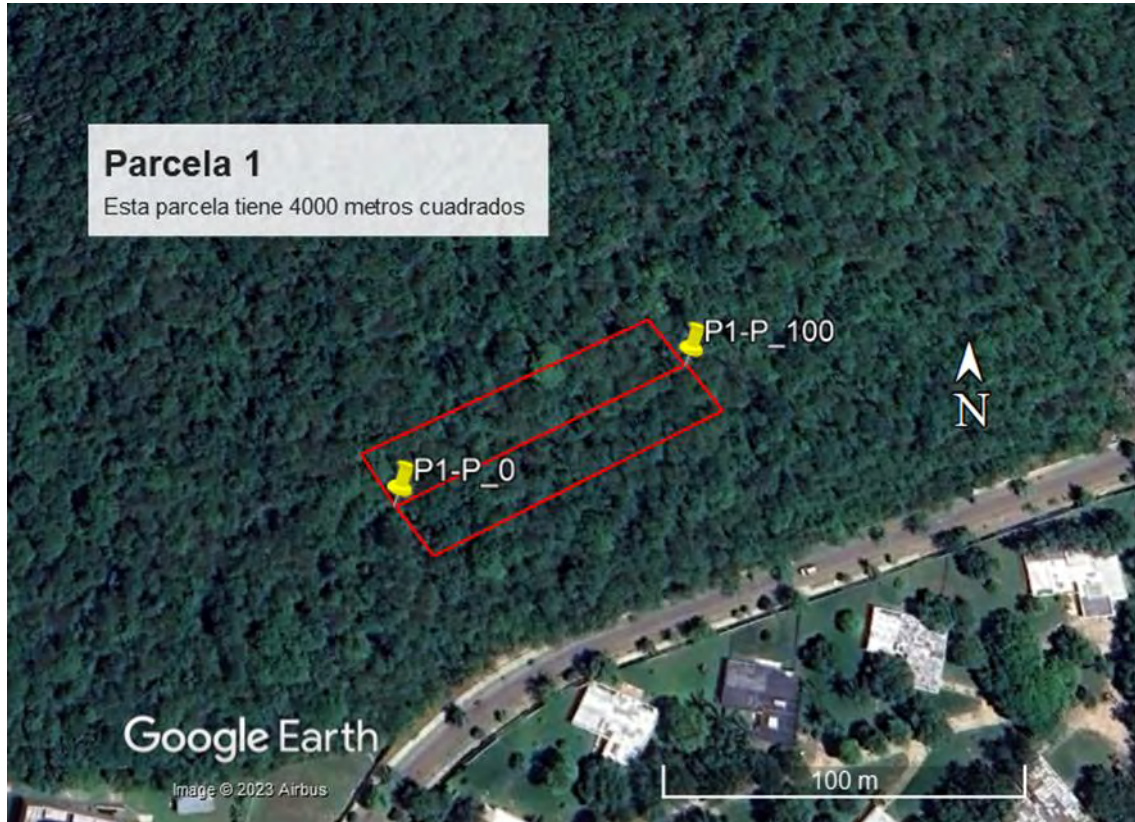
La tercera parcela se encuentra definida por las siguientes coordenadas geográficas: punto inicial $10^{\circ}29'38.66''N - 73^{\circ}15'47.87''O$ y punto final $10^{\circ}29'40.51''N - 73^{\circ}15'49.88''O$. La trayectoria de esta parcela abarca una distancia de 80 metros, con un ancho de 50 metros, estos datos resultan en una superficie total de 4000 metros cuadrados para la tercera parcela. Esta información es relevante para comprender el tamaño y la forma de la parcela (ver **Figura 4**)

La cuarta parcela se encuentra definida por las siguientes coordenadas geográficas: punto inicial $10^{\circ}29'27.08''N - 73^{\circ}15'48.28''O$ y punto final $10^{\circ}29'25.42''N - 73^{\circ}15'45.82''O$. La trayectoria de esta parcela abarca una distancia de 80 metros, con un ancho de 50 metros a cada lado. La trayectoria de 80 metros y el ancho de 25 metros a cada lado resultan en una superficie total de 4000 metros cuadrados para la cuarta parcela (ver **Figura 5**).



Figura 2.

Delimitación de la primera parcela.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

En la primera parcela, a partir del punto inicial, se observó la presencia de residuos sólidos, como botellas plásticas y de vidrio, prendas de vestir, preservativos, entre otros. Además, se pudo evidenciar prácticas de deforestación, donde se observaron áreas donde los árboles habían sido talados. También se observaron indicios de quema de basuras y de árboles en algunas zonas de la parcela. Además, se encontraron heces fecales tanto de animales como de personas.

Estos hallazgos indican la presencia de actividades humanas no adecuadas en la primera parcela de la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado. La acumulación de residuos sólidos y la práctica de deforestación y quema de basuras y árboles representan una amenaza para el ecosistema y la biodiversidad del Bosque Seco Tropical. Asimismo, la presencia de heces fecales puede indicar la presencia de animales y/o visitantes no regulados en la zona.

Figura 3.

Delimitación de la segunda parcela.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Durante la exploración e intervención en la segunda parcela seleccionada del área de campo a trabajar, se pudo constatar que esta se destacó por ser la más afectada en términos de contaminación por residuos sólidos, a diferencia de las otras tres parcelas. Además, se evidenció la quema de algunos de estos residuos, lo cual provocó la pérdida de algunas especies presentes en la zona. Los restos de estos residuos se encuentran acumulados tanto en el suelo como entre la vegetación, como consecuencia del fácil acceso que tienen ciertas personas que trabajan de manera informal o los habitantes de la calle, quienes utilizan este lugar como depósito de escombros de obras civiles y residuos domésticos, dado que el área limita con una vía automovilística.

Esta parcela presentaba una menor densidad de vegetación en comparación con las otras áreas del cerro Hurtado que fueron seleccionadas. Los árboles y arbustos eran menos numerosos y de menor tamaño, y en general, la flora lucía menos frondosa y saludable. La

presencia de estos residuos afecta la calidad del suelo, dificultando así el crecimiento y la proliferación de la vegetación.

Figura 4.

Delimitación de la tercera parcela.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

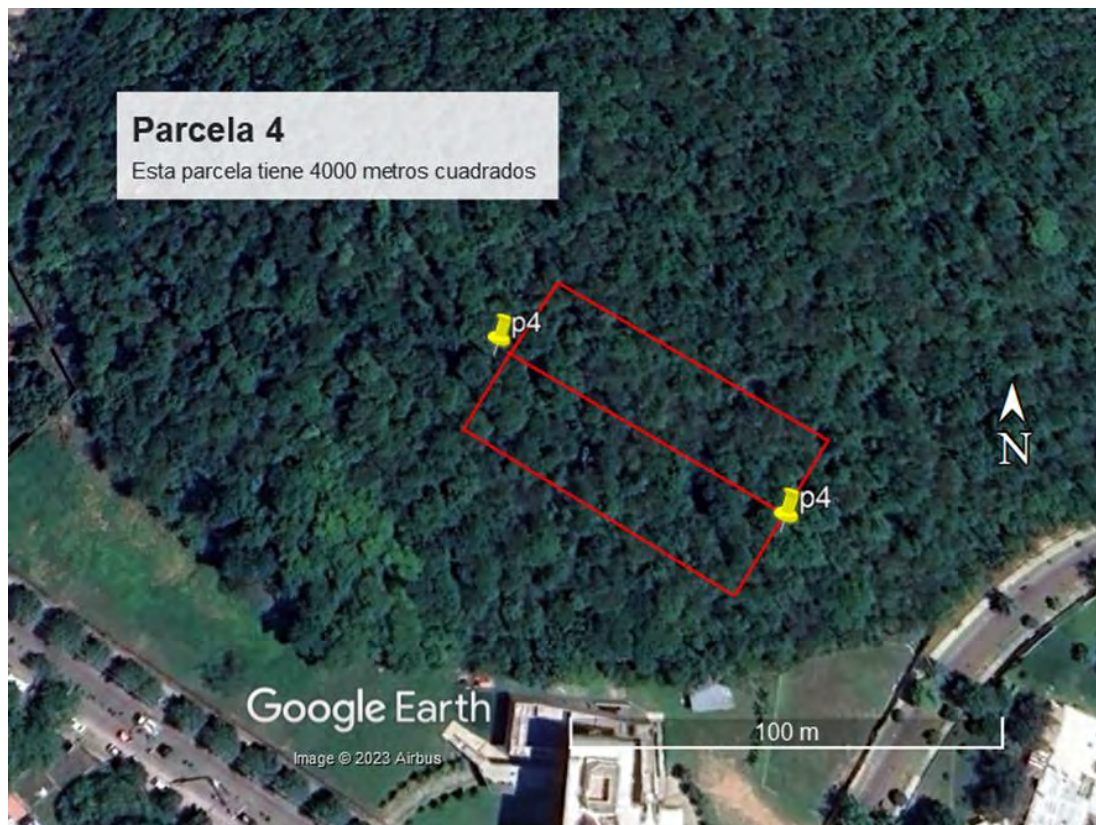
La parcela número tres se sitúa en el límite de la zona urbana de la ciudad de Valledupar, lo que facilita el acceso a las personas que deseen ingresar a esta área. Al llegar a dicho punto, se pudo observar que la zona ya había experimentado intervenciones, ya que se encontró una visible obra civil donde se llevó a cabo la instalación de una antena de telecomunicaciones por parte de la empresa TOWER 3 SAS. Tanto el departamento de planeación municipal como la autoridad ambiental competente en este caso, Corpocesar, se vieron involucrados en un conflicto debido a que es importante recalcar que el bosque seco tropical fue declarado Reserva Natural y Patrimonio Ecológico de la ciudad mediante el Acuerdo 032 de 2015. La falta de tramitación del permiso para el aprovechamiento forestal se convirtió en un detonante de dicha situación (EL PILON, 2022). Esta circunstancia indica que, para llevar a cabo la ejecución de

dicha obra, fue necesario deforestar el área, lo cual se evidenció por las marcas con aerosol de color amarillo a la altura del pecho en algunos árboles circundantes.

En ese mismo lugar, se encontró una especie de gran tamaño y dominante dentro de la zona del cerro Hurtado, conocida localmente como Majagua colorada, y científicamente denominada "*Pseudobombax septenatum*". Esta especie presenta un diámetro de 3,21 metros y una inclinación pronunciada, lo cual indica la longevidad de la especie y su importancia dentro del ecosistema.

Figura 5.

Delimitación de la cuarta parcela.



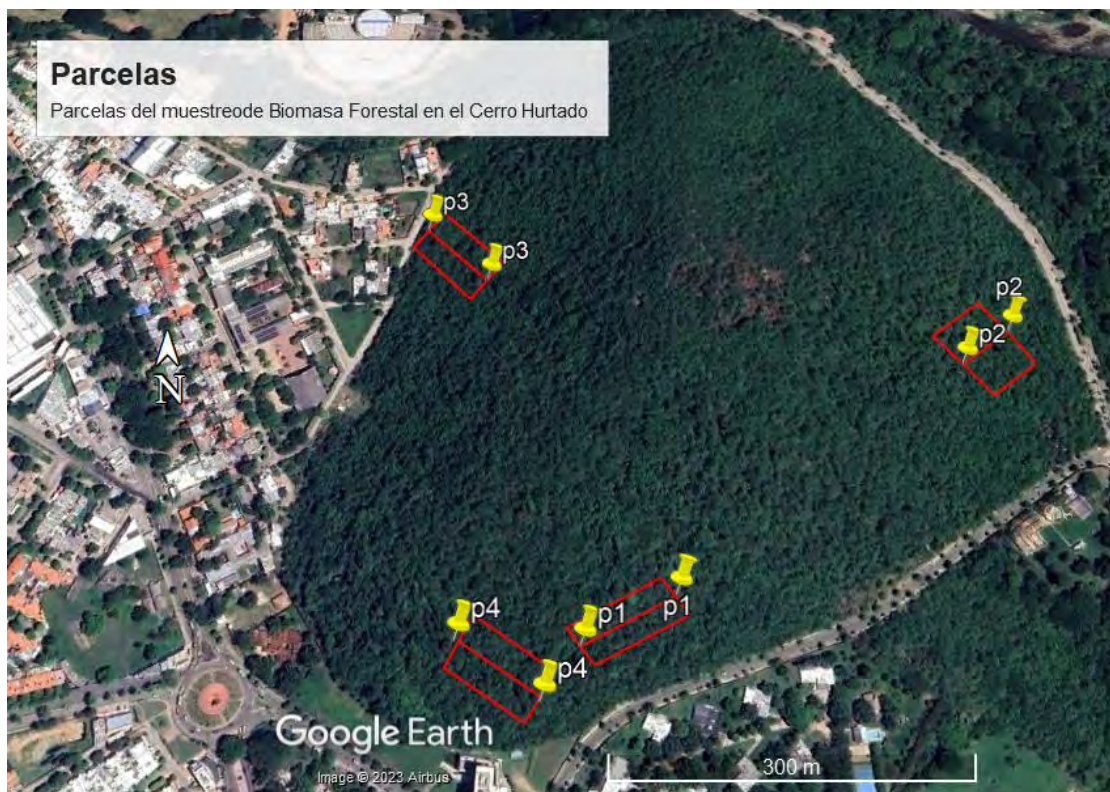
Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Durante la observación en el área, se pudo percibir que en la parcela número cuatro el terreno presentaba una ligera inclinación en comparación con las demás parcelas. La vegetación era exuberante y densa, tanto que en algunos puntos fue necesario abrir paso manualmente para realizar las mediciones en ciertos segmentos del terreno.

Además, se apreció una capa de hojarasca proveniente de los árboles que cubría el suelo y contribuía a mantener la humedad en la zona. En esta área en particular, se pudo constatar la ausencia de cualquier tipo de intervención. La parcela se encontraba en un estado saludable en comparación con las demás parcelas, donde se encontraron una gran cantidad de residuos sólidos y diversas problemáticas como la quema y la tala de especies.

Figura 6.

Delimitación de las cuatro parcelas en el Cerro Hurtado de Valledupar.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Al realizar la delimitación de las cuatro parcelas en el cerro Hurtado, se pudieron identificar diversos aspectos relacionados con el entorno natural y los posibles impactos ambientales presentes. Se encontró que cada parcela presentaba características particulares en cuanto a la topografía, la vegetación y la presencia de residuos sólidos.

Se observó que las parcelas más cercanas a la zona urbana sufrían una mayor influencia de la intervención humana, con la presencia de quema y tala de especies, así como la acumulación de residuos sólidos. Estos impactos pueden tener efectos negativos en la biodiversidad y la calidad ambiental del área.

Por otro lado, se destacó la importancia de la vegetación en el cerro Hurtado, ya que desempeña un papel crucial en la conservación del ecosistema. La densa y abundante vegetación presente en algunas parcelas contribuye a mantener la humedad del suelo y proporciona hábitat para diversas especies. Asimismo, se evidenció la presencia de especies de gran tamaño y dominantes en la zona, como la Majagua colorada *Pseudobombax septenatum*.

6.1.2. Trabajo de Campo

El trabajo de campo empleado contó con la participación de un equipo multidisciplinario compuesto por estudiantes de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, Ingenieros Ambientales y Sanitarios, el guía ambiental Luis Maestre, el experto en especies arbóreas Luis Ballestas, así como la colaboración de la Policía de Carabineros y Protección Ambiental.

Durante el desarrollo de la actividad de campo, este equipo de trabajo se encargó de recolectar datos sobre las especies forestales presentes en el área de estudio. Utilizando herramientas de medición y equipos especializados, se registraron datos como el diámetro a la altura del pecho y la altitud de los árboles, permitiendo así obtener información precisa para la estimación de la biomasa y el carbono forestal en la reserva. Además, se realizó la identificación de cada especie registrada, tanto por su nombre común como por su nombre científico. Esta labor resultó fundamental para establecer una relación entre las características de cada especie y su entorno, lo que contribuyó significativamente a la comprensión de la estructura y composición del bosque en estudio.

Durante el trabajo de campo, se contó con la colaboración del guía ambiental Luis Maestre, quien aportó sus conocimientos especializados sobre el ecosistema del Cerro Hurtado y contribuyó en la identificación precisa de las especies. Asimismo, el experto en especies arbóreas Luis Ballestas brindó su experiencia para el reconocimiento y clasificación adecuada de los árboles presentes en el área de estudio.

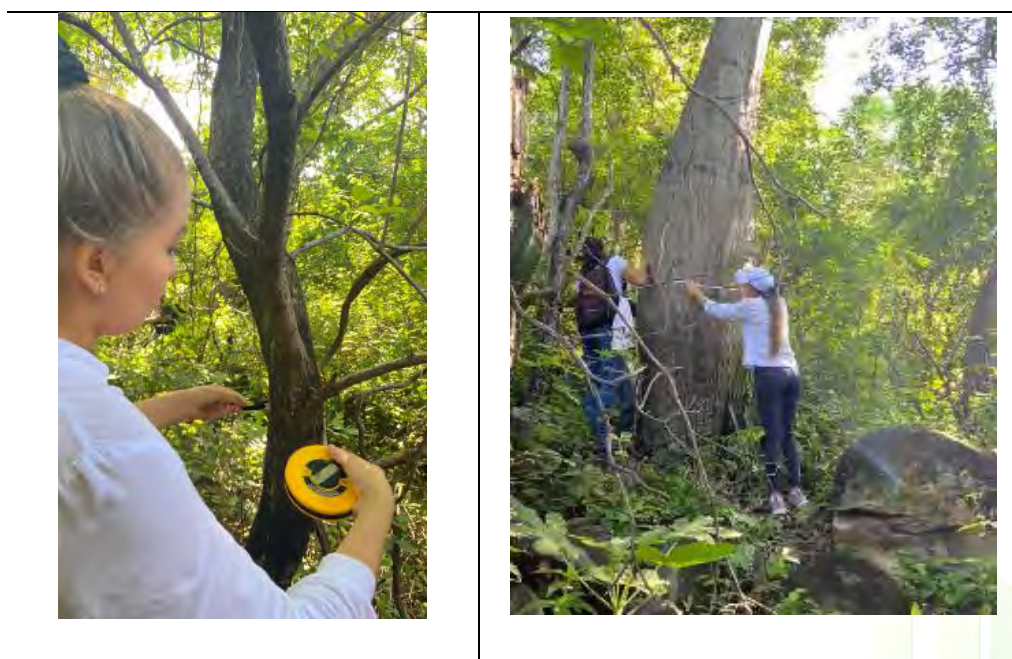
La presencia de la Policía de Carabineros y Protección Ambiental fue de vital importancia para garantizar el cumplimiento de las normativas y reglamentos ambientales durante el trabajo de campo, asegurando así el cuidado y la preservación del ecosistema.

Durante el desarrollo de la investigación en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado, se llevó a cabo un exhaustivo trabajo en campo para medir y registrar los árboles presentes en las parcelas de estudio. Este proceso implicó la delimitación y marcado de las áreas de muestreo, donde se establecieron cuatro parcelas de 4000 m² cada una. Con meticulosidad, se identificaron y registraron todas las especies arbóreas presentes en estas áreas, y para cada árbol se registraron variables importantes como altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y estado general de salud.

Cada dato recopilado fue cuidadosamente anotado y luego ingresado en una base de datos, asegurando la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Figura 7.

Medición del diámetro normal con cinta métrica.



Nota: Fotografías tomadas por las Autoras, 2023.

Se realizó la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles utilizando cinta métrica. Esta técnica consiste en medir la circunferencia del tronco del árbol a una altura estándar de 1.30 metros desde la base del suelo. Para llevar a cabo la medición, un investigador sostenía la cinta métrica alrededor del tronco, asegurándose de que estuviera paralela al suelo y ajustada alrededor del tronco sin apretar demasiado. Luego, se leía el valor en la cinta métrica

que indicaba el diámetro del árbol en centímetros. Este procedimiento se repitió para cada árbol dentro de las parcelas de estudio

De acuerdo con las parcelas delimitadas en el área de estudio y el trabajo de campo realizado se presentan a continuación las especies arbóreas encontradas en cada una de las parcelas.

Tabla 2.

Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Primera Parcela)

Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Cantidad de Especies
Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae	4
Bijo	<i>Bixa orellana</i>	Bixaceae	2
Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	Acanthaceae	1
Resbalamono	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	1
Papayote	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae	2
Puy	<i>Handroanthus billbergii</i>	Bignoniaceae	15
Látigo	<i>Machaerium arboreum</i>	leguminosae	1
Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	Cactaceae	4
Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	Malvaceae	7
Tío Toño	<i>Tío Toño</i>	N.I.	2
TOTAL			39

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023. N.I: no identificado.

Estos resultados son de gran relevancia ya que nos brindan información valiosa sobre la diversidad y la composición del bosque en la primera parcela del Cerro Hurtado. Cada una de estas especies arbóreas juega un papel crucial en el ecosistema y presenta características únicas que contribuyen a la salud y el equilibrio del lugar.

Dentro de las especies identificadas, una que destaca por su importancia significativa en el Cerro Hurtado es *Handroanthus billbergii*, conocido comúnmente como "Puy o Guayacán". Esta especie se encontró en una cantidad considerable de 15 árboles en la parcela,

lo que indica su abundancia en el área. Es importante destacar que todas las especies encontradas en el inventario forestal desempeñan un papel importante en el Cerro Hurtado. Cada una de ellas contribuye a la diversidad biológica y al funcionamiento del ecosistema. Además, estas especies pueden tener adaptaciones específicas para enfrentar las condiciones ambientales del lugar, como la disponibilidad limitada de agua y la alta incidencia de luz solar.

Tabla 3.
Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Segunda Parcela)

Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Cantidad de Especies
Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae	1
Palo Santo	<i>Bursera graveolens</i>	Burseraceae	1
Puy	<i>Handroanthus billbergii</i>	Bignoniaceae	5
Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	Cactaceae	1
Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	Malvaceae	10
Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	N.I.	3
Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae	1
TOTAL			21

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023. N.I: no identificado.

Estos resultados son de gran importancia, ya que nos brindan información sobre la diversidad y composición del bosque en esta área del Cerro Hurtado. A pesar de que el número de árboles inventariados es relativamente bajo, cada una de estas especies desempeña un papel vital en el ecosistema.

Dentro de las especies identificadas, una que destaca por su importancia significativa en el Cerro Hurtado es *Pseudobombax septenatum*, esta especie desempeña un papel importante en el ecosistema, proporcionando hábitat y alimento para diversas especies de fauna y flora. Sus características distintivas, como su tamaño impresionante y sus flores llamativas, contribuyen a la biodiversidad y al valor estético del bosque en el Cerro Hurtado. Además, *Pseudobombax septenatum* puede tener adaptaciones específicas para sobrevivir en las condiciones del bosque seco tropical, como su capacidad para resistir periodos de sequía y su

habilidad para almacenar agua en su tronco. Estas características lo convierten en un componente esencial del ecosistema y en un indicador de la salud y vitalidad del Cerro Hurtado.

Tabla 4.
Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Tercera Parcela)

Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Cantidad de Especies
Bijo	<i>Bixa orellana</i>	Bixaceae	1
Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	Acanthaceae	3
Puy	<i>Handroanthus billbergii</i>	Bignoniaceae	15
Látigo	<i>Machaerium arboreum</i>	leguminosae	2
Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	Malvaceae	5
Volador	<i>Ruprechtia ramiflora</i>	Polygonaceae	1
Yuca de Monte	<i>Manihot cartagenesis</i>	N.I.	1
Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	N.I.	3
TOTAL			31

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023. N.I: no identificado.

Dentro de las especies identificadas, una que destaca por su importancia significativa en el Cerro Hurtado es *Handroanthus billbergii*, Es importante tener en cuenta que todas las especies encontradas en el inventario forestal tienen importancia en el Cerro Hurtado. Cada una de ellas contribuye a la diversidad biológica y al funcionamiento del ecosistema. Además, estas especies pueden tener adaptaciones específicas para sobrevivir en las condiciones ambientales del lugar.

Tabla 5.
Especies y Familias Identificadas en el Inventario Forestal (Cuarta Parcela)

Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Cantidad de Especies
Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae	5
Bijo	<i>Bixa orellana</i>	Bixacea	1

Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Cantidad de Especies
Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	Acanthaceae	4
Papayote	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae	1
Guayacan Chaparro	<i>Guaiacum officinale</i>	Zygophyllaceae	1
Puy	<i>Handroanthus billbergii</i>	Bignoniaceae	7
Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	Cactaceae	1
Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	Malvaceae	5
Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	N.I.	3
TOTAL			28

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023. N.I: no identificado.

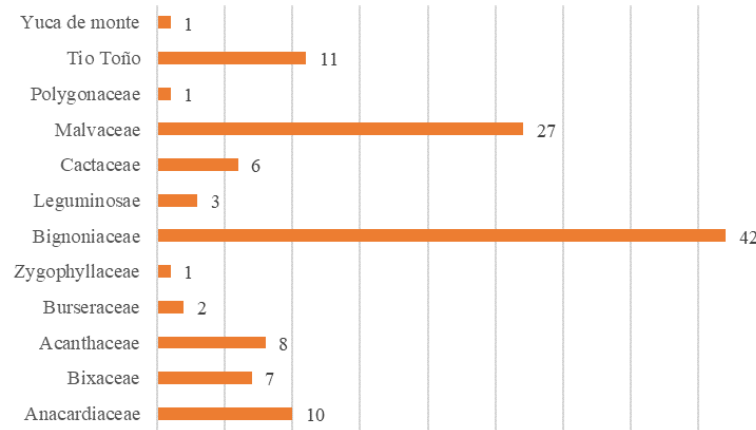
El inventario forestal de la cuarta parcela del Cerro Hurtado ha proporcionado información valiosa sobre la diversidad y la importancia de las especies arbóreas presentes en este ecosistema. El Puy (*Handroanthus billbergii*) destaca por su presencia en la zona, pero todas las especies identificadas desempeñan un papel relevante en el equilibrio ecológico y la conservación del Cerro Hurtado. Estos resultados subrayan la necesidad de conservar y proteger este valioso patrimonio natural, promoviendo la preservación de las especies y la gestión sostenible del Cerro Hurtado.

De la información recopilada, se pudieron obtener estadísticas que ayudan a tener una noción de la distribución de familias y especies, en las siguientes figuras se presentan esta.



Figura 8.

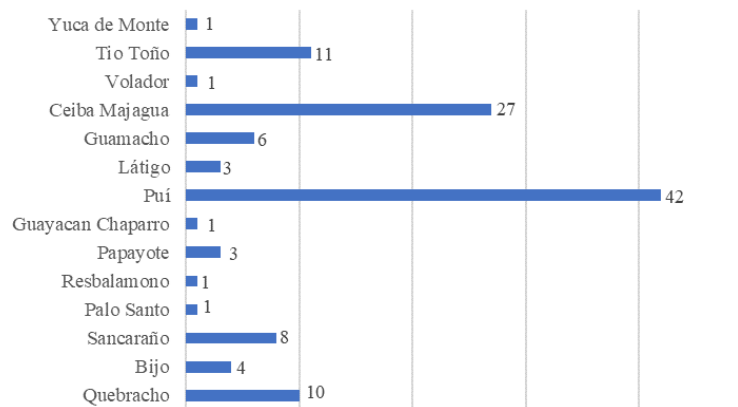
Distribución de familias identificadas



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Figura 9.

Clasificación de las especies arbóreas conforme a su nombre común



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

6.1.3. Obtención de indicadores de biodiversidad

Esta actividad ha sido desarrollada como una fase crucial dentro del estudio, con el objetivo primordial de obtener información valiosa y detallada sobre la composición y estructura de la biodiversidad presente en el área de estudio. La ejecución de esta actividad se basó en el aprovechamiento del inventario forestal previamente realizado en la fase de delimitación de las parcelas, lo que permitió obtener datos precisos y confiables para su posterior análisis.

Para calcular el volumen de los árboles en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado, se utilizó el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) obtenido en campo mediante la medición con una cinta métrica. El DAP proporciona una medida precisa del diámetro del tronco a una altura estándar de 1.30 metros del suelo. Este dato es fundamental para estimar el volumen de los árboles y, posteriormente, realizar los indicadores de biodiversidad.

Basado en la siguiente fórmula se estimó el volumen total y comercial.

AB = es el área basal de acuerdo con el DAP

$$AB = \left[\frac{\pi}{4} * (DAP)^2 / 10000 \right]$$

De acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene entonces que:

$$\text{Área Basal Total} \cong 17,29 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol.} = 0,711 * AB * H$$

El volumen total es igual a:

$$\text{Volumen Total} = \text{Área Basal Total} * \sum HC * 0,711$$

$$\text{Volumen Total} = 0,711 * 17,28916782 \text{ m}^2 * 519,43 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 6385,14 \text{ m}^3$$

$$\text{Número Total de individuos} = 119$$

Teniendo en cuentas esta información se procedió a realizar los indicadores de composición y riqueza de la Reserva ecológica.

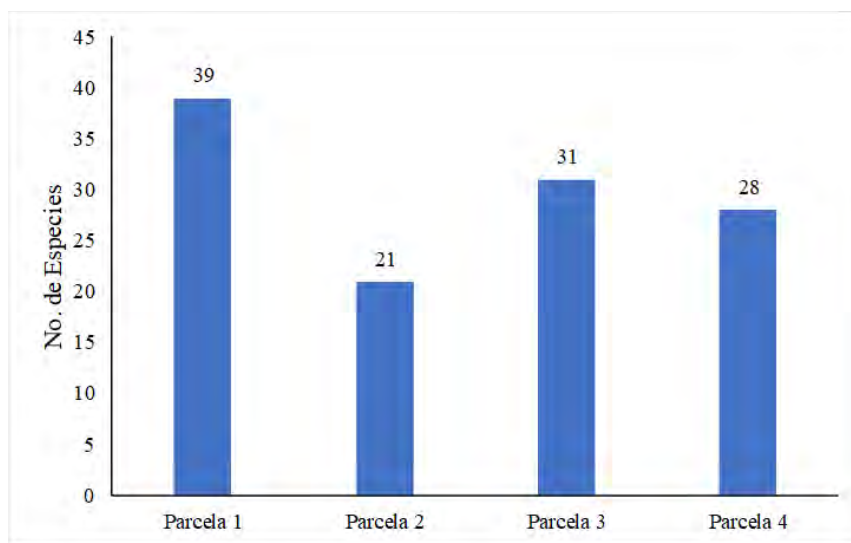
Los resultados obtenidos mediante la actividad de obtención de indicadores de biodiversidad han proporcionado una visión detallada y significativa sobre la composición y estructura de la biodiversidad en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado. A continuación, se presentan los principales resultados que surgieron de este análisis:

Indicadores de Composición:

Riqueza de Especies: Se llevó a cabo un análisis minucioso para determinar la riqueza de especies presentes en el área de estudio de la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado. Durante el proceso de recolección de datos en las parcelas muestreadas, se identificaron un total de 119 especies de flora.

Figura 10.

Distribución del número de especies por parcelas.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Los datos muestran que la Parcela 1 presenta la mayor riqueza de especies con un total de 39 especies identificadas. Esto sugiere que esta zona particular de la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado alberga una amplia variedad de flora, lo que la convierte en un área de alta diversidad biológica. Esta riqueza de especies puede ser indicativa de un ecosistema saludable y equilibrado que brinda hábitats adecuados para múltiples formas de vida. Es probable que esta parcela sea un área de gran valor para la conservación, ya que alberga una mayor diversidad de flora, lo que a su vez puede proporcionar refugio y recursos para diversas especies de fauna, promoviendo así la estabilidad y resiliencia del ecosistema en su conjunto.

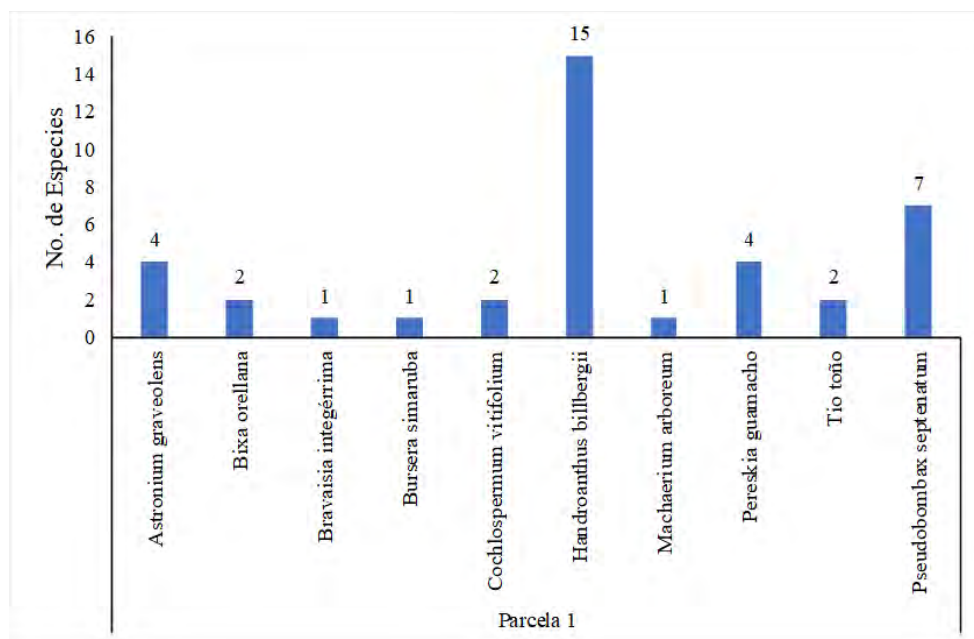
Las Parcelas 2, 3 y 4 exhiben una riqueza de especies ligeramente menor en comparación con la Parcela 1, con 21, 31 y 28 especies respectivamente. Esta cantidad de especies entre las parcelas puede estar influenciada por diversos factores ambientales, como la

heterogeneidad del hábitat, la disponibilidad de recursos y la historia de perturbaciones naturales o antropogénicas.

Abundancia Relativa: A partir de los datos recopilados, se determina la abundancia relativa de cada especie en las distintas parcelas muestreadas. Esto permitió identificar las especies dominantes y aquellas que presentaban una menor representatividad.

Figura 11.

Especies arbóreas de la Parcela 1.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

La Parcela 1 de la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado exhibe una interesante distribución de especies en términos de abundancia relativa. Al analizar la presencia de especies específicas en la muestra, se destacan algunas observaciones clave:

Especie Dominante: *Handroanthus billbergii* (15 especies) se destaca como la especie más abundante en la Parcela 1. La alta prevalencia de esta especie puede indicar que es una especie bien adaptada al ambiente local o que desempeña un papel importante en el ecosistema de la reserva.

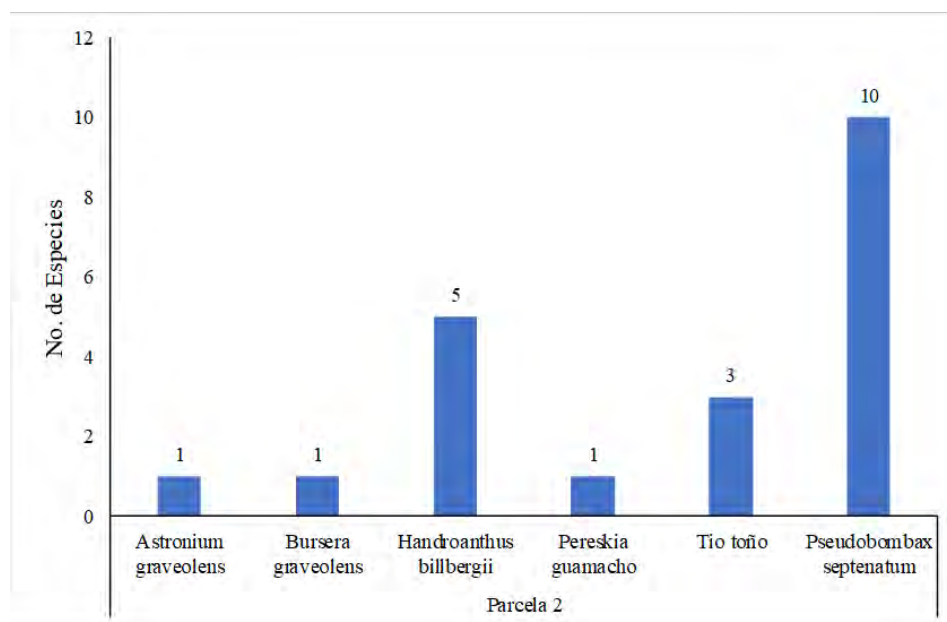
Especies Raras: Por otro lado, hay varias especies que se presentan en menor cantidad, representadas por una sola especie. Estas especies, como *Bravaisia integerrima*, *Bursera*

simaruba, *Machaerium arboreum* y *Pereskia guamacho*, son consideradas "raras" en la muestra, lo que sugiere que pueden ser especies menos comunes en la zona de estudio.

La Parcela 1 alberga un total de (39) especies distintas, cada una con una contribución única a la biodiversidad del área. Esta diversidad de especies es fundamental para mantener la estabilidad y resiliencia del ecosistema, ya que diferentes especies desempeñan roles específicos en los procesos ecológicos. La presencia de múltiples especies con diferentes niveles de abundancia en la Parcela 1 sugiere que el área puede tener una heterogeneidad de microhábitats y nichos ecológicos. Esta variabilidad ambiental es esencial para el mantenimiento de la biodiversidad, ya que proporciona oportunidades para que diferentes especies prosperen en condiciones específicas.

Figura 12.

Especies arbóreas de la Parcela 2.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Especie Dominante: *Pseudobombax septenatum* (10 especies) se destaca como especie dominante en la Parcela 2, contribuyendo significativamente a la composición de la vegetación en esta área. *Handroanthus billbergii* (5 especies) es otra especie abundante en la Parcela 2. Aunque su presencia es significativa, la abundancia de esta especie es menor en comparación

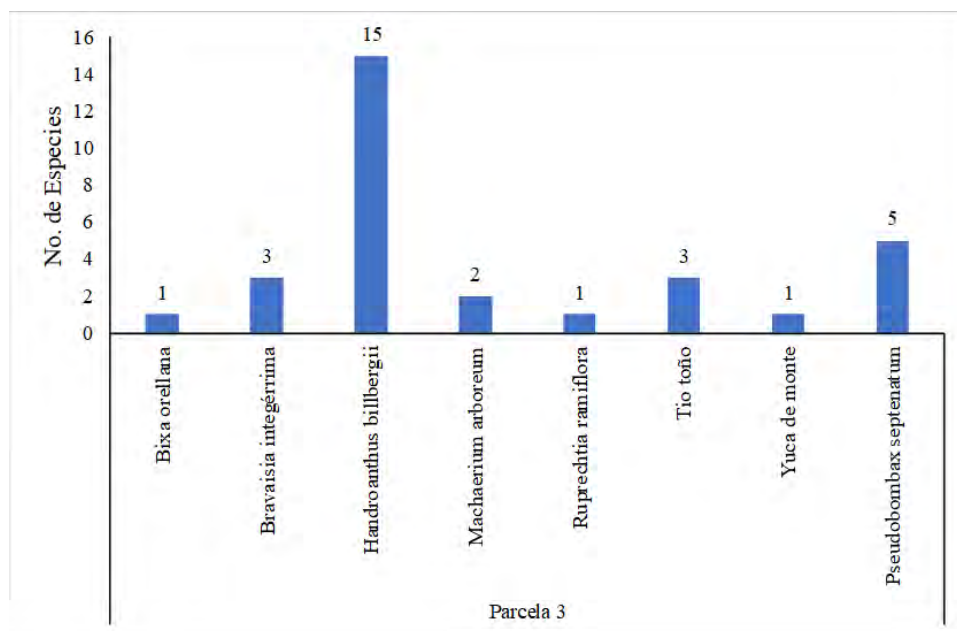
con la Parcela 1. Sin embargo, aún juega un papel relevante en la composición de la vegetación en esta parcela.

Especies Raras: Al igual que en la Parcela 1, la Parcela 2 también presenta varias especies representadas por una sola especie, como *Astronium graveolens*, *Bursera graveolens*, *Pereskia guamacho* y Tio Toño. Estas especies se consideran "raras" en esta muestra, lo que sugiere que pueden ser menos comunes en esta zona específica de la reserva.

La variación en la abundancia relativa de especies en la Parcela 2 puede deberse a la influencia de diferentes factores ambientales, como la disponibilidad de recursos, la topografía y las condiciones micro climáticas específicas.

Figura 13.

Especies arbóreas de la parcela 3.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

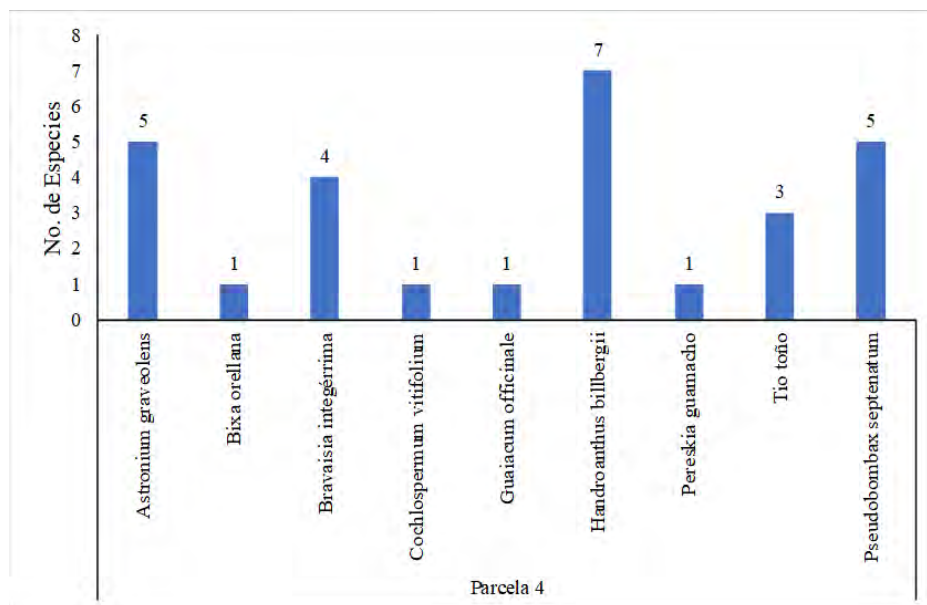
Especie Dominante: *Handroanthus billbergii* (15 especies) es la especie más abundante en la Parcela 3. Esta especie es la misma que dominaba en la Parcela 1, lo que sugiere que es una especie bien adaptada y ampliamente distribuida en diferentes áreas de la reserva. *Bravaisia integerrima* (3 especies) también destaca como una especie dominante en la Parcela 3, contribuyendo significativamente a la composición de la vegetación en esta área.

Especies Raras: Al igual que en las Parcelas 1 y 2, la Parcela 3 también presenta varias especies representadas por una sola especie, como *Bixa orellana*, *Ruprechtia ramiflora* y Yuca de Monte. Estas especies se consideran "raras" en esta muestra, lo que sugiere que pueden ser menos comunes en esta zona específica de la reserva.

Al igual que la Parcela 2, la Parcela 3 alberga un menor número de especies distintas en comparación con la Parcela 1. Esto indica una menor diversidad en esta área específica de la reserva. Aunque *Pseudobombax septenatum* está presente en la Parcela 3, su abundancia es menor en comparación con la Parcela 1. Esto muestra cómo la abundancia relativa de ciertas especies puede variar entre diferentes áreas de la reserva.

Figura 14.

Especies arbóreas de la parcela 4.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Especie Dominante: *Astronium graveolens* (5 especies) se destaca como la especie más abundante en la Parcela 4. Esta especie, que también está presente en las demás parcelas, es claramente una de las especies más adaptables y ampliamente distribuidas en el área de estudio. *Handroanthus billbergii* (7 especies) y *Bravaisia integerrima* (4 especies) también son especies dominantes en la Parcela 4. Estas especies tienen una presencia significativa y contribuyen de manera importante a la composición de la vegetación en esta área. La especie *Pseudobombax septenatum* también está presente en la Parcela 4, con una cantidad similar de

especies que en la Parcela 1. Esto sugiere cierta consistencia en la abundancia de esta especie en diferentes áreas de la reserva.

Especies Raras y de Baja Abundancia: Algunas especies como *Bixa orellana*, *Cochlospermum vitifolium*, *Guaiacum officinale*, *Pereskia guamacho* y *Tio Toño* están representadas por una sola especie o en cantidades limitadas en la Parcela 4. Estas especies pueden ser consideradas "raras" o menos comunes en esta zona específica de la reserva.

Durante el estudio en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado, se utilizaron los índices de Shannon y Simpson como herramientas para evaluar la diversidad y abundancia de especies presentes en las parcelas de estudio. Estos índices son ampliamente utilizados en ecología para medir la diversidad biológica en un área determinada.

Índice de Shannon

El índice de Shannon se empleó para estimar la diversidad de especies en las parcelas. Este índice tiene en cuenta tanto la riqueza de especies como la equidad de su distribución en el ecosistema. Valores más altos del índice de Shannon indican una mayor diversidad y una distribución más uniforme de las especies presentes. Este índice se calcula usando la siguiente fórmula:

$$H = - \sum (\pi * \ln(\pi))$$

Donde,

Σ = Sumatoria

Π = Pi. 3,14159

Ln = Logaritmo natural

Tabla 6.

Índice de Shannon.

Especies	Frecuencia	Índice de Shannon
<i>Astronium graveolens</i>	10	0,2081
<i>Bixa orellana</i>	4	0,1140
<i>Bravaisia integerrima</i>	8	0,1815

<i>Bursera graveolens</i>	1	0,0402
<i>Bursera simaruba</i>	1	0,0402
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	3	0,0928
<i>Guaiacum officinale</i>	1	0,0402
<i>Handroanthus billbergii</i>	42	0,3676
<i>Machaerium arboreum</i>	3	0,0928
<i>Pereskia guamacho</i>	6	0,1506
<i>Pseudobombax septenatum</i>	27	0,3365
<i>Ruprechtia ramiflora</i>	1	0,0402
<i>Tio toño</i>	11	0,2201
<i>Yuca de monte</i>	1	0,0402
Total	119	1,9649

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

El índice de Shannon es una medida importante de la diversidad y equidad de especies en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado. Los resultados generales muestran que la comunidad vegetal en la reserva presenta un nivel significativo de diversidad, con varias especies que contribuyen de manera importante a la riqueza y equidad en la distribución.

Especies como *Handroanthus billbergii* y *Pseudobombax septenatum* muestran altos valores en el índice de Shannon, lo que indica que son especies abundantes y bien distribuidas en el área de estudio, y juegan un papel clave en el mantenimiento de la diversidad de la comunidad. Por otro lado, especies como *Bursera graveolens*, *Bursera simaruba*, *Guaiacum officinale* y *Ruprechtia ramiflora* presentan índices de Shannon más bajos, lo que sugiere que tienen una presencia más limitada en el ecosistema. La alta diversidad y equidad en la comunidad vegetal de la Reserva Cerro Hurtado son indicativos de un ecosistema saludable y resiliente. Esta diversidad es fundamental para mantener el equilibrio ecológico y la estabilidad de los servicios ambientales que ofrece el bosque, como la captura de carbono, la regulación del clima, la conservación de la biodiversidad y la protección del suelo y los recursos hídricos.

Índice de Simpson

El índice de Simpson fue utilizado para evaluar la dominancia de especies en las parcelas. Este índice toma en cuenta la abundancia relativa de las especies y proporciona una medida de qué tan dominante es una especie en particular en comparación con las demás.

Valores más bajos del índice de Simpson indican una mayor diversidad y menor dominancia de especies.

Este índice se calcula con la siguiente formula:

$$D = \sum \frac{[n(n - 1)]}{[N(N - 1)]}$$

Donde,

n = Número total de individuos por una especie determinada

N = Número total de individuos de todas las especies

Tabla 7.

Índice de Simpson.

Especies	Frecuencia	Índice de Simpson
<i>Astronium graveolens</i>	10	90
<i>Bixa orellana</i>	4	12
<i>Bravaisia integerrima</i>	8	56
<i>Bursera graveolens</i>	1	0
<i>Bursera simaruba</i>	1	0
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	3	6
<i>Guaiacum officinale</i>	1	0
<i>Handroanthus billbergii</i>	42	1722
<i>Machaerium arboreum</i>	3	6
<i>Pereskia guamacho</i>	6	30
<i>Pseudobombax septenatum</i>	27	702
<i>Ruprechtia ramiflora</i>	1	0
<i>Tio toño</i>	11	110
<i>Yuca de monte</i>	1	0
Total	119	0,1947

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

El índice de Simpson es otra medida clave para evaluar la diversidad de especies en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado. Los resultados generales muestran que la comunidad vegetal en la reserva tiene una diversidad considerable, con varias especies contribuyendo a la riqueza y abundancia.

Especies como *Handroanthus billbergii* y *Pseudobombax septenatum* presentan valores altos en el índice de Simpson, lo que indica que son especies dominantes en el área de estudio y tienen una presencia significativa en la comunidad. Estas especies pueden estar adaptadas y prosperando en las condiciones específicas del ecosistema. Por otro lado, especies como *Bursera graveolens*, *Bursera simaruba*, *Guaiacum officinale* y *Ruprechtia ramiflora* tienen valores de cero en el índice de Simpson, lo que sugiere que su presencia es muy limitada.

El alto índice de Simpson muestra que hay una distribución más equitativa de la abundancia de especies en la comunidad vegetal de la Reserva Cerro Hurtado. Esto puede ser indicativo de una comunidad más estable y resistente a perturbaciones ambientales.

Al combinar ambos índices, se obtuvo una visión completa de la diversidad y estructura de la comunidad vegetal en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado. Estas herramientas de análisis fueron fundamentales para evaluar el estado de conservación de la biodiversidad en el área de estudio.

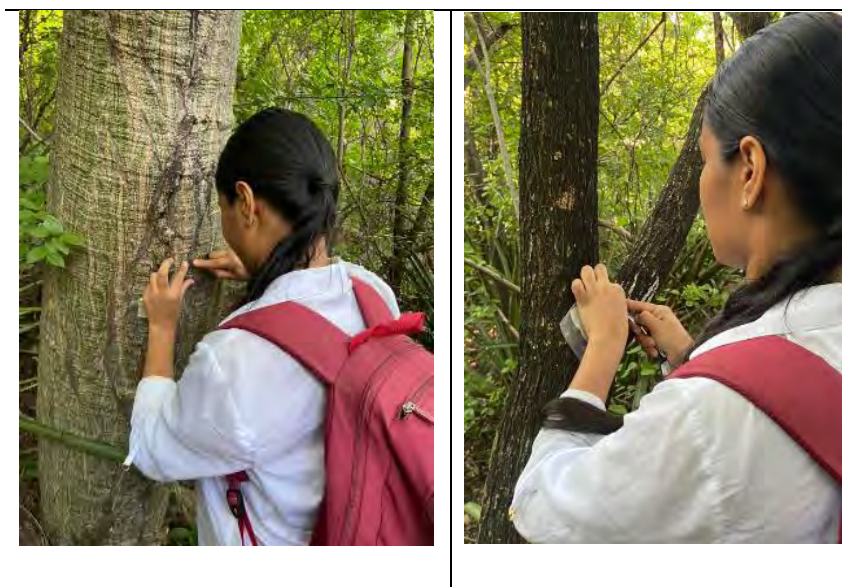
6.2. ELABORACIÓN DE LOS MODELOS ALOMÉTRICOS DE LAS ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE SECO TROPICAL CONFORME A LOS LINEAMIENTOS DEL IPCC PARA LA RESERVA ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR.

6.2.1. Estimación del Contenido de Carbono

La contribución de los bosques a la mitigación del cambio climático se ha convertido en una preocupación cada vez más importante en el contexto actual de crisis ambiental. La Reserva Ecológica del Cerro Hurtado, con su invaluable riqueza biológica y diversidad de ecosistemas, se erige como un ecosistema clave para entender y cuantificar el papel que desempeñan los bosques en la captura y almacenamiento de carbono. Esta actividad representó un paso crucial en el esfuerzo por evaluar y comprender el papel de los bosques de la reserva en la mitigación del cambio climático.

Figura 15.

Toma de muestra para la determinación de la densidad de la madera a través de pruebas no destructivas.



Nota: Fotografías tomadas por las Autoras, 2023.

La actividad comenzó seleccionando cuidadosamente una muestra representativa de corteza de los árboles presentes en la zona de estudio. Estas muestras fueron recopiladas con para garantizar una representatividad adecuada y poder capturar la variabilidad de carbono presente en los diferentes componentes del ecosistema forestal.

6.2.1.1. Trabajo De Laboratorio

Durante el desarrollo del proyecto de investigación, una etapa fundamental consistió en llevar a cabo el trabajo de laboratorio para determinar el volumen de las muestras de madera recolectadas. Una vez obtenidas las muestras, estas fueron cuidadosamente trasladadas al laboratorio, donde se aplicó el método de desplazamiento de agua para calcular el volumen.

El método de desplazamiento de agua se basa en el conocido Principio de Arquímedes, el cual establece que "un cuerpo que flota o se sumerge en un líquido es empujado hacia arriba con una fuerza igual al peso del líquido desalojado por el objeto". Esta técnica resultó especialmente adecuada para la medición del volumen de muestras con formas irregulares.

La fórmula aplicada para determinar la Densidad fue la siguiente:

$$DM = \frac{PS(g)}{V(cm^3)}$$

Donde,

DM = Densidad aparente o peso específico

PS = Peso seco

V = Volumen

Inicialmente, cada muestra de madera se coloca cuidadosamente dentro de unas cajas de Petri para posteriormente disponerlas en una balanza de precisión para medir su peso seco, lo que proporciona una referencia confiable de la masa de madera sin la influencia del agua contenida en ella. Una vez obtenidos estos datos, las muestras son hidratadas durante un periodo específico de 48 horas, el objetivo era determinar el volumen en cm^3 de cada muestra.

Figura 16.

Medición del peso seco de las muestras.



Nota: Fotografías tomadas por las Autoras, 2023.

Una vez que las muestras de madera han sido hidratadas durante 48 horas, es fundamental pesar nuevamente para obtener el peso húmedo. Este paso es crucial para calcular la densidad aparente de la madera.

El peso húmedo se determinó al pesar las muestras después de que absorbieron la humedad durante el período de hidratación. Esta medición reflejó el peso total de la muestra,

incluyendo tanto la masa de la madera como la del agua que fue absorbida. La obtención del peso húmedo resultó esencial, ya que proporcionó información valiosa sobre la cantidad de agua que las muestras retuvieron y cómo esto afectó la densidad de la madera.

Luego de obtener los valores del peso natural y del peso húmedo, se procedió a realizar el secado de las unidades de evaluación para obtener el peso de la madera seca al horno. Este proceso fue esencial para eliminar completamente la humedad absorbida por las muestras durante la etapa de hidratación y obtener una medición precisa del peso seco de la madera.

El secado se llevó a cabo utilizando un horno calibrado a una temperatura constante de 100°C, y las muestras fueron colocadas en su interior durante un período de 72 horas. Durante este tiempo, la humedad presente en la madera se evaporó gradualmente, lo que permitió obtener el peso final de la madera una vez completamente seca.

Figura 17.

Muestras dispuestas en horno para el proceso de secado.



Nota: Fotografías tomadas por las Autoras, 2023.

Al determinar el peso de la madera seca al horno, se obtuvo un valor exacto y libre de humedad que representa la masa real de la madera en su estado natural. Esta medición es crucial

para el cálculo preciso de la densidad aparente, ya que se utiliza como divisor en la fórmula para obtener dicha densidad.

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los pesos de cada una de las muestras:

Tabla 8.

Registro de los pesos obtenidos en cada una de las muestras.

Nº De Parcela	Especie	Peso Natural	Peso Húmedo	Peso Seco
1	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	15,4	29,4	8,1
1	<i>Bravaisia integerrima</i>	4,3	13,5	3,3
1	<i>Tio Toño</i>	9,3	18,5	7,1
1	<i>Psuedobombax septenatum</i>	13,9	24,4	10,2
1	<i>Pereskia guamacho</i>	1,7	4,7	1,4
1	<i>Handroanthus billbergii</i>	11,3	22,8	9,5
1	<i>Astronium graveolens</i>	21,9	34	17,8
1	<i>Bursera simaruba</i>	2,4	9	1,9
1	<i>Bixa orellana</i>	25,4	38,1	20,7
2	<i>Psuedobombax septenatum</i>	26,6	32,5	15,3
2	<i>Handroanthus billbergii</i>	9,2	23,5	7,7
2	<i>Tio Toño</i>	8,9	18,4	7,1
2	<i>Bixa orellana</i>	3,8	6,3	1,8
2	<i>Astronium graveolens</i>	4,5	7,1	1,9
3	<i>Tio Toño</i>	15,4	21,9	4,6
3	<i>Bravaisia integerrima</i>	25	29,8	5,4
3	<i>Ruprechtia ramiflora</i>	10,1	16,1	6,6
3	<i>Psuedobombax septenatum</i>	19,7	28,5	11,5
3	<i>Bixa orellana</i>	14,8	19,5	5,6
3	<i>Machaerium arboreum</i>	14,5	20,8	7
3	<i>Handroanthus billbergii</i>	20,3	29,2	9,9
3	<i>Yuca de monte</i>	29,5	33,2	5,5
4	<i>Pereskia guamacho</i>	23,8	29,1	13,2
4	<i>Guaiacum officinale</i>	15	20,3	8,5
4	<i>Bravaisia integerrima</i>	22,3	29,1	5,2
4	<i>Psuedobombax septenatum</i>	22,5	28,2	11,7
4	<i>Tio Toño</i>	13,1	18,2	7,7
4	<i>Bixa orellana</i>	14,9	19,1	6,9
4	<i>Handroanthus billbergii</i>	14	19,9	17,7
4	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	10,2	18,1	6,7
4	<i>Astronium graveolens</i>	28,2	36,8	16,8

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

De acuerdo con los pesos registrados se realizó el cálculo de la densidad de la madera para cada especie, se realizó un análisis de estas densidades obtenidas en comparación a las referencias de densidades de cada una de las especies.

Tabla 9.

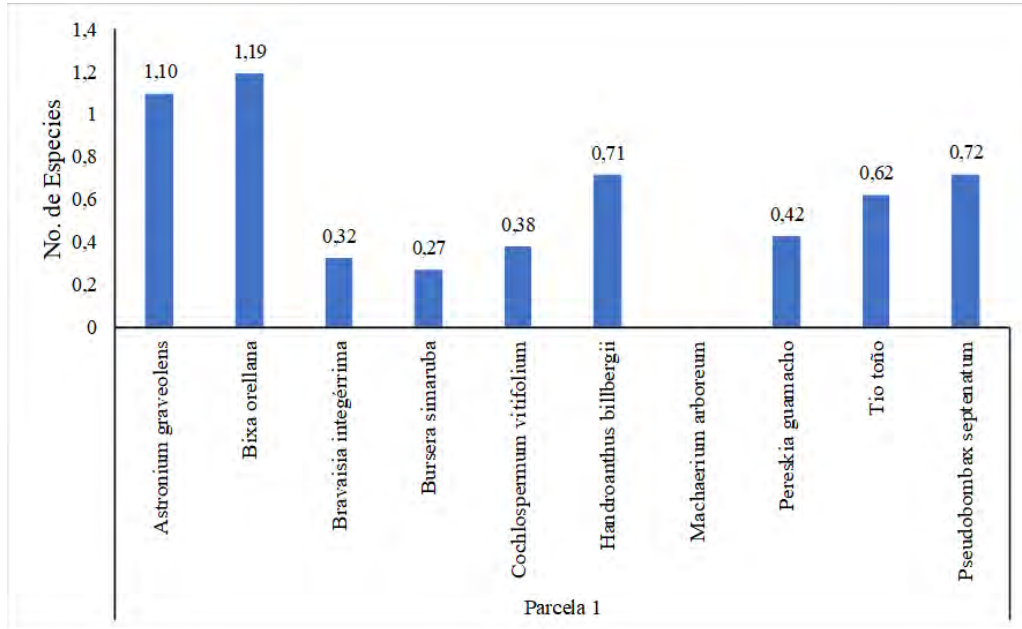
Densidad de Referencia.

Especies	Densidad de Referencia
<i>Astronium graveolens</i>	0,84-0,86
<i>Bixa orellana</i>	0,28-0,35
<i>Bravaisia integerrima</i>	
<i>Bursera graveolens</i>	
<i>Bursera simaruba</i>	0,3
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	0,14-0,17
<i>Guaiacum officinale</i>	1,20-1,36
<i>Handroanthus billbergii</i>	0,93-1,27
<i>Machaerium arboreum</i>	
<i>Pereskia guamacho</i>	
<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,18
<i>Ruprechtia ramiflora</i>	
<i>Tio toño</i>	
<i>Yuca de monte</i>	

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

A continuación. Se presenta los resultados de las densidades obtenidas de las muestras de estudio de cada especie y en cada parcela.

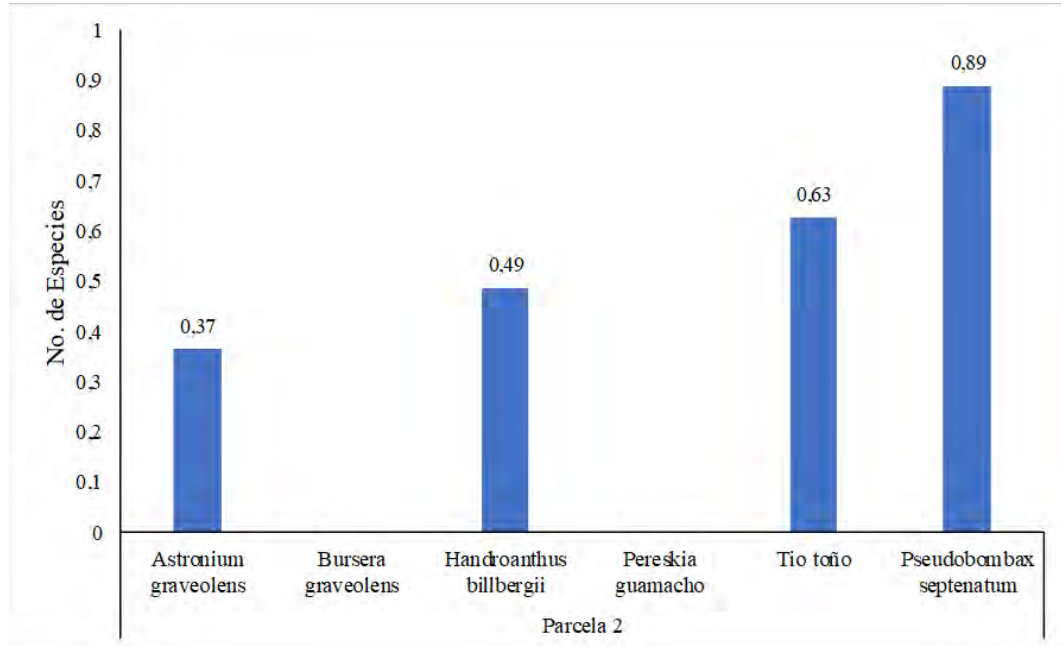


Figura 18.
Distribución de densidades por especie en la parcela 1.


Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

La mayoría de las densidades promedio obtenidas en la parcela 1 se encuentran dentro de los rangos esperados, lo que indica que las especies están mostrando comportamientos consistentes con lo que se ha reportado en la literatura científica. Sin embargo, la variabilidad en las densidades de algunas especies, como *Bravaisia integerrima* y *Bursera simaruba*, puede deberse a factores ambientales o características específicas del sitio.

La muestra de la especie *Machaerium arboreum* fue accidentalmente coccionada a altas temperaturas lo que produjo un efecto significativo en esta, ocasionando su pérdida, por lo tanto, no fue considerada para los resultados en este análisis.

Figura 19.
Distribución de densidades por especie en la parcela 2.


Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

En la parcela 2, se observan discrepancias en las densidades promedio de algunas especies con respecto a los valores esperados basados en la literatura científica. Específicamente, las especies *Astronium graveolens* y *Handroanthus billbergii* presentan densidades promedio por debajo del rango esperado (0.84-0.86 gr/cm³ y 0.93-1.27 gr/cm³, respectivamente). Esto sugiere que estas especies en particular tienen densidades más bajas en la parcela 2 en comparación con lo que comúnmente se ha observado en investigaciones anteriores.

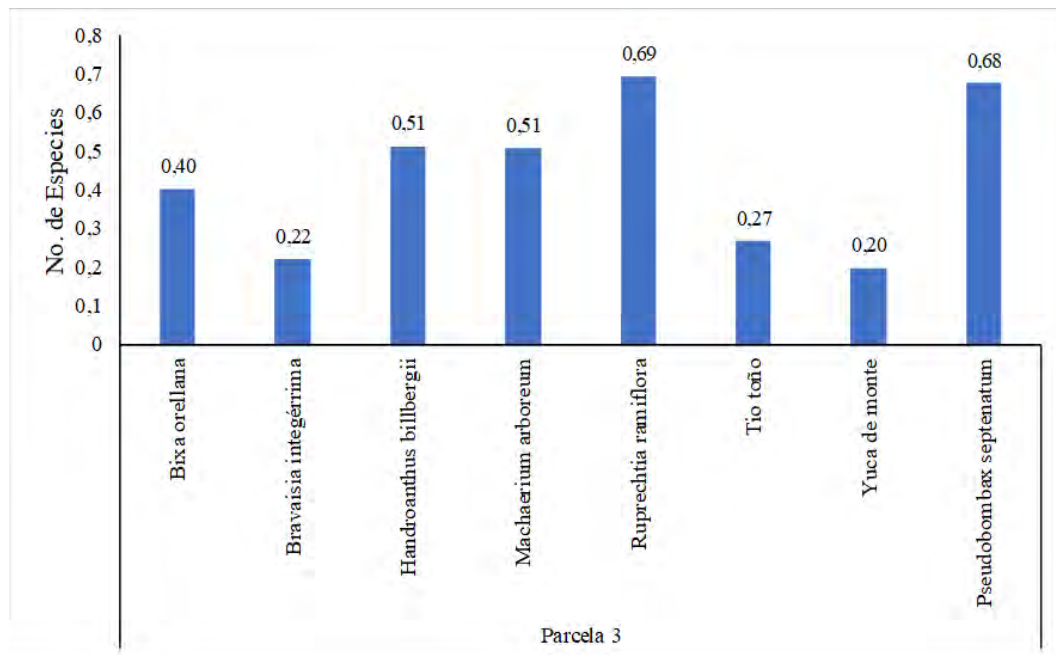
Es importante tener en cuenta que las discrepancias en las densidades promedio pueden ser influenciadas por factores ambientales específicos del sitio, como las condiciones del suelo, el clima y la edad de los árboles en la parcela 2. Además, la variabilidad natural en las densidades dentro de una población de una especie dada también puede contribuir a estas diferencias.

Las especies *Bursera graveolens* y *Pereskia guamacho* también fueron contempladas para este trabajo, sin embargo, durante el procedimiento de cocción fueron accidentalmente

destruidas, por lo tanto, no se pudo contar para cálculos posteriores, a pesar de esto, no producen efectos negativos significativos.

Figura 20.

Distribución de densidades por especie en la parcela 3.

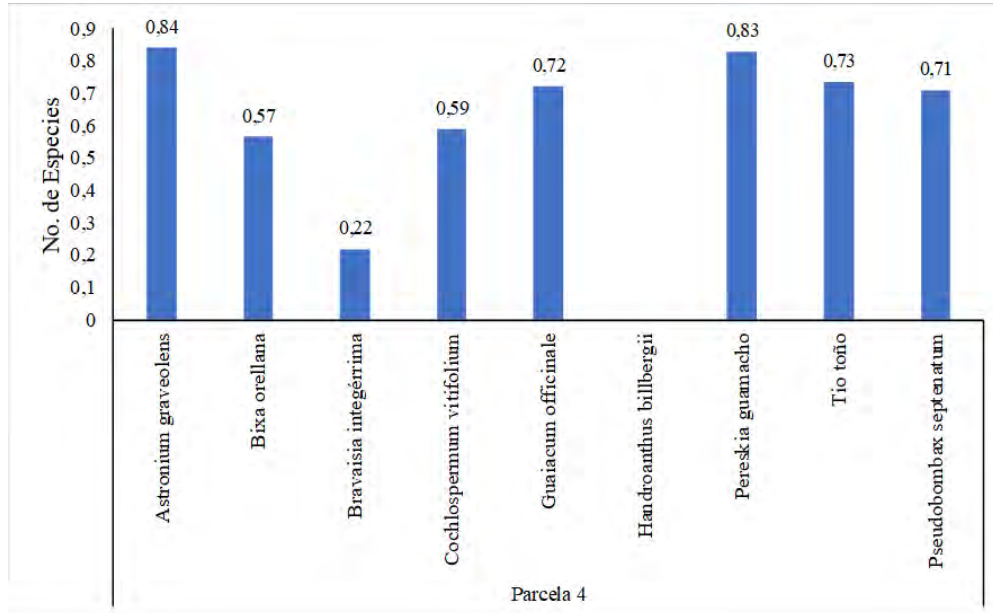


Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

La presencia de especies con densidades promedios por encima de lo esperado, como *Pseudobombax septenatum* y Tio Toño, podría indicar una mayor competitividad o preferencia de estas especies por las condiciones ambientales presentes en la parcela 3. Por otro lado, la presencia de especies con densidades promedios más bajas que lo esperado, como *Bravaisia integrerrima*, *Ruprechtia ramiflora* y Yuca de Monte, podría estar influenciada por factores como la disponibilidad de recursos o las interacciones con otras especies. Estos resultados indican que el área de estudio alberga una variedad de especies con diferentes densidades, lo que sugiere la existencia de distintos microhábitats y condiciones ecológicas en esta zona.

Figura 21.

Distribución de densidades por especie en la parcela 4.



Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

La parcela 4 muestra un patrón general de densidades de especies que se encuentran en línea con los valores esperados en la literatura científica. Esto sugiere que el área de estudio en esta parcela presenta condiciones ambientales y ecológicas propicias para el crecimiento y desarrollo de las especies analizadas.

La especie *Astronium graveolens* presenta una densidad promedio de 0,84, que coincide con el rango esperado de 0,84-0,86 gr/cm³. Esto indica que la densidad de *Astronium graveolens* en la parcela 4 está en línea con lo que comúnmente se ha encontrado en investigaciones anteriores. Lo mismo ocurre con *Bixa orellana*, cuya densidad promedio es de 0,57, dentro del rango esperado de 0,28-0,35 gr/cm³. Esto sugiere que esta especie también se encuentra en un rango de densidades acorde con lo que comúnmente se ha observado en otras investigaciones.

Al igual que en los laboratorios de la parcela 1, la muestra de la especie *Handroanthus bilbergii* fue altamente afectada por la cocción realizada en el horno.

Es importante destacar que las diferencias observadas pueden deberse a factores ambientales específicos y la variabilidad natural en las densidades de las especies.

6.2.1.2. Cálculo De La Biomasa Forestal

Después de realizar el proceso de secado de las muestras y obtener el peso de la madera seca al horno, la siguiente etapa consistiría en calcular la biomasa forestal para cada muestra. La biomasa, que representa la cantidad total de materia orgánica en los árboles, se evalúa individualmente para cada especie y muestra de madera recolectada en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado.

Se utilizaron relaciones alométricas específicas para cada especie de árbol, previamente establecidas en base a estudios científicos, que relacionan el peso seco de la madera con la biomasa total. Estas relaciones permitieron estimar la biomasa de cada árbol a partir del peso seco de sus muestras.

Para realizar este procedimiento, primero se calculó la Biomasa del Fuste en Kilogramos, teniendo en cuenta la siguiente formula simple:

$$\text{Biomasa del fuste} = \frac{(V \text{ m}^3) \left(\text{Densidad} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}{(100)^3}$$

Posteriormente a la realización de este cálculo se determinó la Biomasa Aérea, teniendo en cuenta la relación alométrica empleada en el Protocolo para la Estimación Nacional y Subnacional de Biomasa y Carbono en Colombia por parte del IDEAM, donde la relación alométrica escogida fue para el Bosque Seco Tropical (Bs-T), la formula fue la siguiente:

$$\ln(BA) = a + b \ln(D) + c (\ln(D))^2 + d (\ln(D))^3 + B1 \ln(p)$$

Donde las constantes obtienen los valores:

$$a = 4,040$$

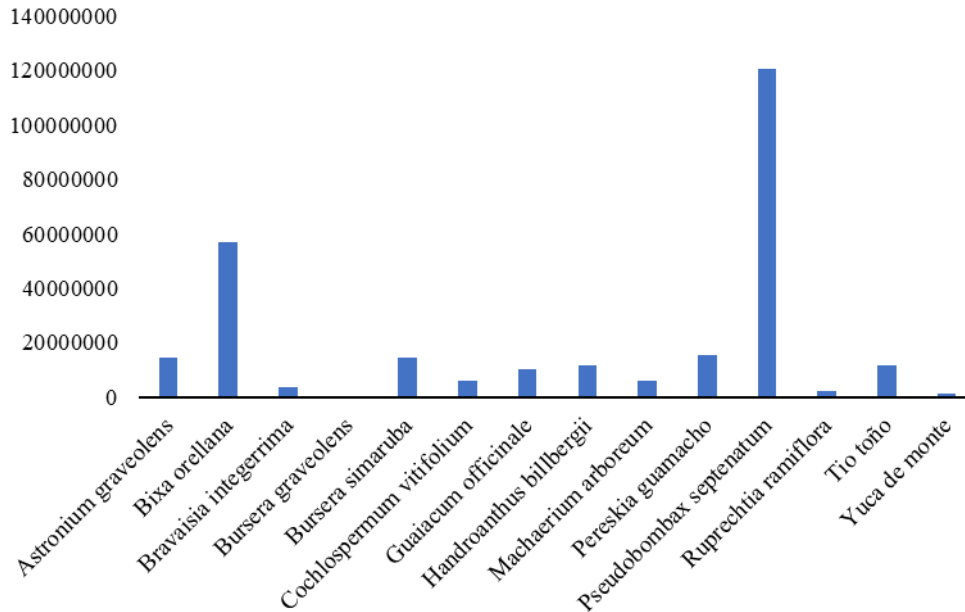
$$b = -1,991$$

$$c = 1,237$$

$$d = -0,126$$

$$B1 = 1,283$$

Mediante la aplicación de las relaciones alométricas correspondientes, se calculó la biomasa total de cada árbol representado por las muestras. La suma de las biomásas individuales proporcionó una estimación inicial de la biomasa total presente en la reserva.

Figura 22.
Resultados de la Biomasa del Fuste por especie.


Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

El cálculo de la biomasa del fuste fue realizado mediante la aplicación de fórmulas alométricas específicas para cada especie de árbol en estudio. Para la especie *Pseudobombax septenatum*, también conocida como ceiba majagua, se obtuvo la mayor biomasa del fuste en comparación con otras especies presentes en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado.

Los resultados revelaron que *Pseudobombax septenatum* presentó una biomasa del fuste significativamente alta, lo que indica que esta especie tiene un gran potencial para almacenar carbono y contribuir a la mitigación del cambio climático en el área de estudio. Esto se debe a su estructura y crecimiento característico, que le permite desarrollar troncos robustos con una gran cantidad de materia orgánica acumulada a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la especie *Bixa orellana*, conocida comúnmente como Bijo, también mostró una biomasa del fuste considerable, aunque ligeramente menor que la de *Pseudobombax septenatum*. Esto sugiere que el Bijo también desempeña un papel importante en el almacenamiento de carbono y la contribución a la mitigación del cambio climático en la reserva. Si bien su biomasa del fuste es inferior a la de la ceiba majagua, sigue siendo una especie relevante en términos de su capacidad para almacenar carbono en el ecosistema.

La biomasa total del área de estudio en el Cerro Hurtado es un indicador clave para evaluar la cantidad de materia orgánica almacenada en forma de madera en el bosque. La biomasa forestal es fundamental para comprender el papel de los bosques en la captura y retención de carbono, lo que contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático. Además, proporciona información valiosa sobre la salud y la productividad del ecosistema.

$$\text{Biomasa del fuste total} = 4321,543239 \text{ Kg}$$

$$\text{Biomasa Estimada del Cerro Hurtado} = 14765,65 \text{ m}^3$$

$$\text{Biomasa por cada m}^2 = 0,399$$

Este resultado es relevante para el Cerro Hurtado, ya que indica que el bosque en esta área tiene una cantidad significativa de biomasa, lo que implica que es un ecosistema con una alta capacidad de almacenamiento de carbono. Los bosques con una biomasa sustancial son esenciales para la mitigación del cambio climático, ya que actúan como sumideros de carbono, capturando y almacenando grandes cantidades de dióxido de carbono atmosférico, un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global.

La alta biomasa total del área de estudio también sugiere que el Cerro Hurtado es un ecosistema saludable y bien conservado, con una diversidad y abundancia de árboles que contribuyen a su resiliencia y estabilidad. Además, estos datos son fundamentales para respaldar la toma de decisiones en la gestión y conservación de la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado.

6.2.1.3. Cálculo Del Carbono Forestal

El cálculo del carbono forestal se realiza utilizando los datos de biomasa obtenidos previamente en las parcelas de estudio en la Reserva Ecológica del Cerro Hurtado. La biomasa total del fuste es una medida concluyente para determinar la cantidad de carbono almacenado en los árboles del área de estudio.

Con los valores de BA, se obtienen los contenidos de carbono aéreo, luego de multiplicar esta variable por 0,5. La fórmula es la siguiente:

$$CA = (BA)(0,5)$$

Luego de hacer este cálculo para cada una de las especies inventariadas se obtuvo el carbono forestal total presente en el área de estudio, dando como resultado:

$$\text{Carbono Forestal} = 191,58 \text{ Ton}$$

El hecho de que la Reserva almacene 191,58 toneladas de carbono en forma de biomasa forestal indica que juega un papel fundamental en la captura y retención de dióxido de carbono de la atmósfera. Esto es crucial para reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero y mitigar el calentamiento global.

La alta cantidad de carbono almacenada en los árboles sugiere una riqueza y diversidad de especies, lo que indica un ecosistema saludable y equilibrado. Además de mitigar el cambio climático, la Reserva proporciona otros servicios ecosistémicos esenciales, como la protección del suelo, la conservación del agua y la provisión de hábitat para la fauna.

A continuación, se presenta los datos de la Estimación de Biomasa y Carbono Forestal por cada especie inventariada en cada una de las parcelas.



Tabla 10.

Base de Datos de la Biomasa y Carbono Forestal por cada especie inventariada.

No.	Nombre Común	Nombre Científico	Densidad (gr/cm ³)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa Aérea (kg)	Carbono Forestal (kg)
1	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	1,10	0,029	10,58	1219,15	609,58
2	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	1,10	0,032	11,66	1344,97	672,48
3	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	1,10	0,040	14,82	1716,88	858,44
4	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	1,10	0,048	17,88	2082,66	1041,33
5	Bijo	<i>Bixa orellana</i>	1,19	0,255	94,17	12199,02	6099,51
6	Bijo	<i>Bixa orellana</i>	1,19	0,103	38,20	5087,43	2543,71
7	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,32	0,031	11,30	481,98	240,99
8	Resbalamono	<i>Bursera simaruba</i>	0,27	0,145	53,56	2183,20	1091,60
9	Papayote	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	0,38	0,058	21,24	988,78	494,39
10	Papayote	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	0,38	0,051	18,80	872,28	436,14
11	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,029	10,58	744,43	372,22
12	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,015	5,44	387,17	193,59
13	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,118	43,73	3167,18	1583,59
14	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,023	8,57	602,77	301,39
15	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,041	15,24	1078,99	539,50
16	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,046	16,97	1205,26	602,63
17	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,037	13,60	960,20	480,10
18	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,018	6,77	478,12	239,06
19	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,014	5,19	370,26	185,13
20	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,040	14,82	1048,35	524,18
21	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,027	9,88	695,06	347,53
22	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,029	10,58	744,43	372,22
23	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,035	12,80	903,19	451,59
24	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,020	7,35	518,01	259,00
25	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,71	0,026	9,54	671,10	335,55

No.	Nombre Común	Nombre Científico	Densidad (gr/cm ³)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa Aérea (kg)	Carbono Forestal (kg)
26	Látigo	<i>Machaerium arboreum</i>	Muestra Dañada	0,152	55,98		
27	Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	0,42	0,018	6,77	329,55	164,78
28	Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	0,42	0,016	5,95	290,75	145,38
29	Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	0,42	0,089	33,02	1643,92	821,96
30	Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	0,42	0,058	21,24	1046,15	523,08
31	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,72	0,167	61,78	4474,96	2237,48
32	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,72	0,478	176,43	11465,33	5732,66
33	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,72	0,128	47,41	3450,56	1725,28
34	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,72	1,242	458,53	22250,40	11125,20
35	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,72	0,920	339,77	18529,78	9264,89
36	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,72	0,637	235,37	14337,44	7168,72
37	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,72	0,584	215,83	13431,26	6715,63
38	Tio Toño	<i>Tio toño</i>	0,62	0,177	65,25	4173,88	2086,94
39	Tio Toño	<i>Tio toño</i>	0,62	0,034	12,42	778,45	389,23
40	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	0,37	0,013	4,70	215,91	107,95
41	Palo Santo	<i>Bursera graveolens</i>	Muestra Dañada	0,425	156,83		
42	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,49	0,039	14,40	760,98	380,49
43	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,49	0,602	222,28	10212,76	5106,38
44	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,49	0,107	39,54	2139,15	1069,58
45	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,49	0,035	12,80	675,03	337,52
46	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,49	0,029	10,58	556,38	278,19
47	Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	Muestra Dañada	0,026	9,54		
48	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,303	111,75	9688,23	4844,12
49	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,130	48,14	4364,03	2182,01
50	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,403	148,78	12412,33	6206,16
51	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,036	13,20	1166,30	583,15
52	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,497	183,69	14752,19	7376,09
53	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,204	75,24	6733,40	3366,70

No.	Nombre Común	Nombre Científico	Densidad (gr/cm ³)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa Aérea (kg)	Carbono Forestal (kg)
54	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,145	53,56	4848,78	2424,39
55	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,458	169,26	13810,13	6905,07
56	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,364	134,60	11399,72	5699,86
57	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,89	0,815	300,95	21285,92	10642,96
58	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,63	0,037	13,60	859,92	429,96
59	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,63	0,017	6,22	394,16	197,08
60	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,63	0,033	12,04	759,52	379,76
61	Bijo	<i>Bixa orellana</i>	0,40	0,080	29,39	1420,27	710,13
62	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,22	0,019	7,06	264,48	132,24
63	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,22	0,021	7,64	285,83	142,91
64	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,22	0,018	6,49	243,79	121,90
65	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,031	11,30	614,58	307,29
66	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,032	11,66	634,30	317,15
67	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,036	13,20	719,41	359,71
68	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,023	8,57	465,56	232,78
69	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,026	9,54	518,33	259,16
70	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,023	8,57	465,56	232,78
71	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,100	36,86	2059,80	1029,90
72	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,024	8,89	482,97	241,48
73	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,031	11,30	614,58	307,29
74	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,036	13,20	719,41	359,71
75	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,093	34,28	1913,80	956,90
76	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,041	15,24	833,37	416,68
77	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,018	6,49	354,43	177,21
78	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,118	43,73	2446,19	1223,10
79	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	0,51	0,020	7,35	400,09	200,04
80	Látigo	<i>Machaerium arboreum</i>	0,51	0,022	8,25	445,24	222,62
81	Látigo	<i>Machaerium arboreum</i>	0,51	0,039	14,40	780,67	390,33

No.	Nombre Común	Nombre Científico	Densidad (gr/cm ³)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa Aérea (kg)	Carbono Forestal (kg)
82	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,68	1,404	518,42	22558,55	11279,27
83	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,68	0,149	55,16	3797,74	1898,87
84	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,68	0,143	52,76	3635,16	1817,58
85	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,68	0,084	31,19	2143,68	1071,84
86	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,68	0,204	75,24	5122,89	2561,44
87	Volador	<i>Ruprechtia ramiflora</i>	0,69	0,009	3,40	245,54	122,77
88	Yuca de Monte	<i>Yuca de monte</i>	0,20	0,018	6,49	236,78	118,39
89	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,27	0,058	21,24	853,82	426,91
90	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,27	0,117	43,04	1753,32	876,66
91	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,27	0,037	13,60	540,16	270,08
92	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	0,84	0,026	9,54	788,56	394,28
93	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	0,84	0,025	9,22	761,82	380,91
94	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	0,84	0,013	4,70	396,94	198,47
95	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	0,84	0,181	67,00	5656,99	2828,50
96	Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	0,84	0,025	9,22	761,82	380,91
97	Bijo	<i>Bixa orellana</i>	0,57	0,275	101,69	5874,29	2937,15
98	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,22	0,011	4,25	162,67	81,33
99	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,22	0,103	38,20	1461,69	730,84
100	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,22	0,023	8,57	318,70	159,35
101	Sancaraño	<i>Bravaisia integerrima</i>	0,22	0,096	35,55	1359,28	679,64
102	Papayote	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	0,59	0,015	5,44	329,14	164,57
103	Guayacan Chaparro	<i>Guaiacum officinale</i>	0,72	0,039	14,40	1026,13	513,06
104	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	Muestra Dañada	0,020	7,35		
105	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	Muestra Dañada	0,025	9,22		
106	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	Muestra Dañada	0,100	36,86		
107	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	Muestra Dañada	0,011	4,03		

No.	Nombre Común	Nombre Científico	Densidad (gr/cm ³)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa Aérea (kg)	Carbono Forestal (kg)
108	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	Muestra Dañada	0,037	13,60		
109	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	Muestra Dañada	0,032	11,66		
110	Puí	<i>Handroanthus billbergii</i>	Muestra Dañada	0,026	9,54		
111	Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	0,83	0,156	57,59	4824,99	2412,49
112	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,71	1,167	431,09	21220,08	10610,04
113	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,71	0,679	250,60	14838,41	7419,20
114	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,71	0,032	11,66	815,80	407,90
115	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,71	0,225	82,96	5856,00	2928,00
116	Ceiba Majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,71	0,018	6,77	474,95	237,47
117	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,73	0,105	38,88	2883,55	1441,78
118	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,73	0,015	5,69	414,56	207,28
119	Tio Toño	<i>Tio Toño</i>	0,73	0,014	5,19	379,42	189,71

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

6.2.2. Modelos Alométricos

Durante esta actividad del proyecto, se llevó a cabo la definición y selección de las variables a utilizar en la construcción de los modelos alométricos de múltiples variables para cada una de las especies identificadas en la reserva. Estas variables, cuidadosamente seleccionadas, proporcionaron un conjunto completo de información que capturó la complejidad y diversidad del ecosistema forestal del Cerro Hurtado.

Para garantizar la precisión y fiabilidad de los modelos, se complementaron las variables recolectadas en campo con datos provenientes de los inventarios de biomasa y carbono forestal del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Estos datos ampliaron la base de conocimientos y permitieron construir modelos más sólidos y confiables, que capturaron las interacciones entre las especies y su ambiente, y facilitaron la predicción del crecimiento futuro de los bosques en la zona

Los coeficientes de determinación R^2 y R^2 ajustado, junto con el valor F y su valor crítico, son indicadores estadísticos importantes para evaluar la calidad de los modelos alométricos y su ajuste a los datos. Estos indicadores proporcionan información sobre la cantidad de variabilidad que se explica mediante el modelo y su capacidad para hacer predicciones precisas. A continuación, se presenta la interpretación de cada uno de ellos para los modelos alométricos proporcionados:

Tabla 11.

Modelo Alométrico para Predecir Volumen.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,962964206
Coefficiente de determinación R ²	0,927300063
R ² ajustado	0,926620624
Error típico	25,92984478
Observaciones	109

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	917634,7757	917634,7757	1364,803193	9,87149E-63
Residuos	107	71942,18296	672,3568501		
Total	108	989576,9586			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-64,26294383	4,087986521	-15,71995003	1,43001E-29	-72,36690033	-56,1589873	-72,3669003	-56,15898734
Diámetro (cm)	3,446573148	0,093293736	36,94324286	9,87149E-63	3,261629197	3,6315171	3,261629197	3,631517098

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

El modelo para predecir el volumen tiene un alto ajuste a los datos. Aproximadamente el 93% de la variabilidad en el volumen de las especies forestales se explica por la relación lineal con el diámetro a la altura del pecho (DAP). El valor F es significativamente mayor que su valor crítico, lo que indica que el modelo es estadísticamente significativo y confiable.

Modelo Alométrico para Predecir Volumen

$$\text{Volumen} = -64,26294383 + 3,446573148 * \text{Diámetro (cm)}$$



Tabla 12.

Modelo Alométrico para Predecir la Altura.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,660221252
Coefficiente de determinación R ²	0,435892102
R ² ajustado	0,430620065
Error típico	2,703189961
Observaciones	109

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	604,1624491	604,1624491	82,68002458	5,74654E-15
Residuos	107	781,8742481	7,307235964		
Total	108	1386,036697			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	3,527539923	0,426173169	8,277245446	3,85475E-13	2,68270132	4,37237853	2,68270132	4,372378526
Diámetro (cm)	0,08843607	0,009725885	9,092855689	5,74654E-15	0,069155637	0,1077165	0,069155637	0,107716502

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

El modelo para predecir la altura también muestra un buen ajuste a los datos. Alrededor del 93% de la variabilidad en la altura total de las especies forestales se explica mediante la relación lineal con el diámetro a la altura del pecho (DAP). El valor F es significativamente mayor que su valor crítico, lo que indica que el modelo es estadísticamente significativo y confiable.

Modelo Alométrico para Predecir la Altura

$$\text{Altura Total} = 3,527539923 + 0,08843607 * \text{Diámetro (cm)}$$



Tabla 13.

Modelo Alométrico para predecir el Diámetro.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,968870956
Coefficiente de determinación R ²	0,938710929
R ² ajustado	0,936959812
Error típico	6,714973485
Observaciones	109

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	72514,81405	24171,60468	536,0642913	1,73683E-63
Residuos	105	4734,541235	45,0908689		
Total	108	77249,35529			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	11,99200962	2,166761696	5,534530929	2,31226E-07	7,695721436	16,28829781	7,695721436	16,28829781
Densidad (gr/cm ³)	5,337164978	2,971613593	1,796049456	0,075362522	-0,554995842	11,2293258	-0,554995842	11,2293258
Altura Total (m)	0,86235962	0,228402282	3,775617357	0,000264796	0,409480087	1,315239154	0,409480087	1,315239154
Volumen (m ³)	0,246874102	0,008515792	28,99015184	6,41641E-52	0,229988859	0,263759344	0,229988859	0,263759344

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

El modelo para predecir el diámetro muestra un ajuste moderado a los datos. Alrededor del 45% de la variabilidad en el diámetro de las especies forestales se explica mediante la relación con la altura total y el volumen. El valor F es significativamente mayor que su valor crítico, lo que indica que el modelo es estadísticamente significativo, aunque la capacidad predictiva puede mejorarse.

Modelo Alométrico para predecir el Diámetro

$$\text{Diámetro (cm)} = 11,99200962 + 0,86235962 * \text{Altura Total (m)} + 0,246874102 * \text{Volumen (m}^3\text{)}$$



A continuación, se hace una interpretación de cada uno de los modelos alométricos presentados anteriormente:

Primer Modelo: Volumen en función del Diámetro

$$Volumen = -64,26294383 + 3,446573148 \times Diámetro$$

Este modelo describe cómo el volumen del árbol está relacionado con su diámetro. La pendiente positiva (3,446573148) indica que hay una relación directa entre el diámetro y el volumen: a medida que el diámetro aumenta, también lo hace el volumen. La constante negativa (-64,26294383) podría interpretarse como una corrección o ajuste, aunque en un contexto físico, podría no tener una interpretación directa.

Segundo Modelo: Altura Total en función del Diámetro

$$Altura Total = 3,527539923 + 0,08843607 * Diámetro (cm)$$

Este modelo muestra cómo la altura total del árbol está relacionada con su diámetro. La pendiente positiva (0,08843607) indica que a medida que el diámetro aumenta, la altura total también aumenta, pero a un ritmo mucho más lento que en el primer modelo. La constante (3,527539923) podría interpretarse como una altura base o mínima.

Tercer Modelo: Diámetro en función de la Altura Total y Volumen

$$Diámetro (cm) = 11,99200962 + 0,86235962 * Altura Total (m) + 0,246874102 * Volumen (m^3)$$

Este modelo es más complejo y describe cómo el diámetro del árbol está relacionado tanto con su altura total como con su volumen. Las pendientes positivas para ambos términos indican que el diámetro aumenta a medida que aumentan tanto la altura total como el volumen. La constante (11,99200962) podría interpretarse como un diámetro base o mínimo.

6.3. FORMULACIÓN DE ACCIONES DE RECUPERACIÓN DEL BOSQUE SECO TROPICAL – BST, DE LA RESERVA ECOLÓGICA Y PATRIMONIO AMBIENTAL CERRO HURTADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR.

6.3.1. Acciones Preventivas

Estas acciones se diseñaron considerando las especies identificadas y el estado de conservación del ecosistema, priorizando la protección y preservación de las valiosas riquezas naturales presentes en este bosque.

La Reserva Cerro Hurtado alberga una diversidad única de especies y una amplia gama de ecosistemas que juegan un papel crucial en la sostenibilidad ambiental y en el equilibrio del Bosque Seco Tropical. Es por ello que se hace imperativo establecer medidas preventivas efectivas que contribuyan a la protección y conservación de este frágil ecosistema.

A continuación, se presenta las acciones o estrategias preventivas:

Tabla 14.

Estrategia de Creación de Áreas Protegidas.

Estrategia	Crear áreas protegidas:
Descripción	La estrategia preventiva "Crear Áreas Protegidas" tiene como objetivo principal establecer reservas naturales o parques nacionales en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia, con el propósito de prevenir impactos negativos en el ecosistema. La creación de estas áreas protegidas busca salvaguardar la biodiversidad, los hábitats y los recursos naturales de la urbanización y actividades humanas dañinas, asegurando la conservación a largo plazo del bosque y su valor como patrimonio natural.

Acciones

- Estudios de viabilidad: Realizar estudios técnicos y científicos para evaluar la idoneidad de diferentes áreas dentro del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado para ser designadas como reservas naturales o parques nacionales.

- Diálogo con comunidades locales: Mantener un diálogo constante con las comunidades locales, líderes y grupos de interés para obtener su apoyo y participación activa en la creación de las áreas protegidas.
- Planificación y diseño: Elaborar un plan detallado que incluya los límites, regulaciones y objetivos de conservación de las reservas naturales o parques nacionales propuestos.
- Proceso de aprobación: Gestionar el proceso de aprobación de la creación de las áreas protegidas ante las autoridades gubernamentales y ambientales correspondientes.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Área total de la reserva o parque establecido. • Número de regulaciones y medidas de conservación implementadas. • Nivel de aceptación y apoyo de las comunidades locales hacia la creación de las áreas protegidas.
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer al menos una reserva natural o parque nacional en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 3 años]. • Implementar regulaciones y medidas efectivas de conservación para proteger la biodiversidad y los recursos naturales del área.
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • El proceso de creación de áreas protegidas puede ser un proceso complejo y requerir un tiempo considerable para su planificación y aprobación. • Se establecerá un plazo de [especificar el tiempo] para lograr la creación efectiva de las áreas protegidas.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Expertos en conservación y ecología para realizar estudios y evaluaciones. • Personal capacitado en gestión de áreas protegidas y participación comunitaria.

- Fondos para cubrir los gastos asociados a los estudios, planificación y proceso de aprobación.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 15.

Estrategia de Educación Ambiental.

Estrategia	Educación ambiental
Descripción	La estrategia preventiva "Educación Ambiental" tiene como objetivo crear conciencia y promover prácticas sostenibles entre la comunidad local, turistas y visitantes, con el fin de evitar impactos negativos en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante la implementación de programas de educación ambiental, se busca sensibilizar a las personas sobre la importancia de conservar el ecosistema, proteger la biodiversidad y preservar los recursos naturales para el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Acciones

- **Diseño de programas educativos:** Desarrollar programas educativos adaptados a diferentes grupos de interés, incluyendo talleres, charlas, actividades interactivas y materiales didácticos que aborden temas clave sobre la importancia del Bosque Seco Tropical y la conservación.
- **Campañas de concienciación:** Realizar campañas de divulgación y concientización en medios de comunicación locales, redes sociales y espacios públicos, destacando la fragilidad del ecosistema y la necesidad de adoptar prácticas respetuosas con el ambiente.
- **Involucramiento de escuelas y comunidades:** Trabajar con escuelas y comunidades locales para incorporar la educación ambiental en los programas curriculares y actividades comunitarias, fomentando la comprensión y compromiso con la protección del bosque.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de participación en los programas educativos y campañas de concienciación. • Cambio en las actitudes y comportamientos hacia prácticas sostenibles en la comunidad local y turistas. • Número de instituciones educativas y comunidades involucradas en la estrategia de educación ambiental.
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Alcanzar una participación del 80% de la comunidad local y turistas en los programas educativos y campañas de concienciación. • Lograr una reducción del 30% en las prácticas ambientalmente dañinas en la zona del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado.
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • La implementación de la estrategia de educación ambiental se llevará a cabo de manera continua a lo largo de [especificar el período de tiempo], con sesiones regulares de educación ambiental y campañas de concienciación en curso.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Personal capacitado en educación ambiental para el diseño e implementación de los programas. • Materiales educativos, cartelería y otros recursos de divulgación. • Colaboración y apoyo de organizaciones ambientales y autoridades locales.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 16.
Estrategia de Monitoreo y Seguimiento.

Estrategia	Monitoreo y seguimiento
Descripción	La estrategia preventiva "Monitoreo y Seguimiento" tiene como objetivo principal establecer un sistema de seguimiento y evaluación constante en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia, con el fin de prevenir impactos negativos en el ecosistema y garantizar su conservación a largo plazo. Mediante este sistema, se realizará un monitoreo periódico para evaluar el estado del bosque, la biodiversidad y la efectividad de las medidas de protección implementadas, permitiendo tomar acciones correctivas oportunas

Acciones

- Diseño de un programa de monitoreo: Desarrollar un programa detallado de monitoreo que incluya la identificación de indicadores clave para evaluar el estado del bosque y su biodiversidad.
- Instalación de estaciones de monitoreo: Establecer estaciones de monitoreo estratégicamente ubicadas para recolectar datos sobre la calidad del aire, la calidad del agua, la biodiversidad y otros aspectos relevantes del ecosistema.
- Capacitación de personal: Capacitar al personal encargado del monitoreo en la recolección de datos y análisis de resultados para asegurar la precisión y confiabilidad de la información recopilada.
- Análisis de datos: Realizar análisis periódicos de los datos recopilados para identificar tendencias y patrones, y evaluar el estado del bosque y su biodiversidad.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de biodiversidad y especies clave presentes en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. • Calidad del aire y del agua en el área del bosque. • Cumplimiento de las regulaciones y medidas de conservación implementadas.
--------------------	--

Metas	<ol style="list-style-type: none"> i. Nivel de biodiversidad y especies clave presentes en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Calidad del aire y del agua en el área del bosque. iii. Cumplimiento de las regulaciones y medidas de conservación implementadas.
Tiempo	El sistema de monitoreo y seguimiento será implementado de manera continua y a largo plazo. Se realizarán evaluaciones periódicas, como mínimo, una vez al año.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Expertos en monitoreo y conservación para diseñar el programa y analizar los datos. • Equipo y tecnología para la recolección y análisis de datos, como sensores, equipos de muestreo y software especializado.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 17.

Estrategia de Restauración de Hábitats.

Estrategia	Restauración de hábitats
Descripción	La estrategia preventiva "Restauración de Hábitats" tiene como objetivo principal recuperar y restaurar áreas degradadas o alteradas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante la restauración de hábitats, se busca prevenir impactos negativos en el ecosistema y fomentar la biodiversidad, asegurando la conservación a largo plazo del bosque y su capacidad para mantener servicios ecológicos esenciales.

Acciones

<ol style="list-style-type: none"> i. Evaluación de áreas degradadas: Realizar una evaluación detallada de las áreas dentro del bosque que han sido degradadas o alteradas debido a actividades humanas o eventos naturales.

- ii. Planificación de restauración: Desarrollar un plan de restauración que incluya estrategias y técnicas específicas para recuperar los hábitats dañados, como la revegetación, control de erosión y rehabilitación de ecosistemas.
- iii. Siembra de especies nativas: Realizar actividades de reforestación y siembra de especies nativas en las áreas degradadas para restaurar la vegetación autóctona y mejorar la diversidad de flora y fauna.
- iv. Control de especies invasoras: Implementar medidas para controlar y erradicar especies invasoras que puedan competir con las especies nativas y afectar la estructura del ecosistema.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> i. Superficie total de hábitats restaurados dentro del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Número de especies nativas reintroducidas en las áreas restauradas. iii. Nivel de recuperación de la biodiversidad y de la funcionalidad del ecosistema en las áreas intervenidas.
Metas	<ul style="list-style-type: none"> i. Restaurar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de las áreas degradadas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 5 años]. ii. Aumentar la diversidad de especies nativas en las áreas restauradas para fortalecer la resiliencia del ecosistema.
Tiempo	<p>La estrategia de restauración de hábitats se implementará en un período de [especificar el tiempo], que permita llevar a cabo todas las acciones necesarias para lograr las metas establecidas.</p>
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> i. Expertos en restauración ecológica y conservación para el diseño e implementación del plan de restauración. ii. Semillas y plántones de especies nativas para la siembra en las áreas degradadas. iii. Equipos y herramientas para llevar a cabo las actividades de restauración.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 18.
Estrategia de Control de Especies Invasoras.

Estrategia	Control de especies invasoras
Descripción	La estrategia preventiva "Control de Especies Invasoras" tiene como objetivo principal mitigar el impacto de las especies invasoras en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante el control de estas especies, se busca prevenir la alteración y degradación del ecosistema, protegiendo la biodiversidad y la estructura del bosque.

Acciones

- i. Identificación de especies invasoras: Realizar una evaluación exhaustiva para identificar las especies invasoras presentes en el bosque y determinar su grado de afectación al ecosistema.
- ii. Desarrollo de planes de control: Diseñar planes de control específicos para cada especie invasora identificada, considerando métodos de control adecuados y efectivos.
- iii. Erradicación y control de especies invasoras: Implementar acciones de erradicación y control de especies invasoras mediante métodos que minimicen los impactos en las especies nativas y el entorno.
- iv. Monitoreo continuo: Establecer un programa de monitoreo continuo para evaluar el éxito de las acciones de control y detectar nuevas apariciones de especies invasoras.

Indicadores	<ol style="list-style-type: none"> i. Número de especies invasoras identificadas y controladas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Nivel de recuperación de la biodiversidad y del hábitat afectado por especies invasoras.
Metas	<ol style="list-style-type: none"> i. Controlar y reducir la presencia de al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de especies invasoras identificadas en el bosque dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 3 años].

	ii. Restaurar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de hábitats afectados por especies invasoras para favorecer la recuperación de la biodiversidad.
Tiempo	La estrategia de control de especies invasoras se implementará en un período de [especificar el tiempo], que permita llevar a cabo todas las acciones necesarias para alcanzar las metas establecidas.
Recursos	i. Expertos en control de especies invasoras y conservación para el diseño e implementación de los planes de control. ii. Equipos y herramientas para llevar a cabo las acciones de erradicación y control. iii. Programas de monitoreo y personal capacitado para evaluar el éxito de las intervenciones.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 19.

Estrategia de Regulación de Actividades Humanas.

Estrategia	Regulación de actividades humanas
Descripción	La estrategia preventiva "Regulación de Actividades Humanas" tiene como objetivo principal establecer medidas y regulaciones para mitigar los impactos negativos de las actividades humanas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante la regulación de estas actividades, se busca prevenir la degradación del ecosistema, protegiendo la biodiversidad y los recursos naturales presentes en el bosque.

Acciones

i.	Evaluación de actividades humanas: Realizar una evaluación exhaustiva de las actividades humanas presentes en el área del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado para identificar aquellas que puedan tener efectos negativos en el ecosistema.
----	---

- ii. Diseño de regulaciones: Desarrollar regulaciones y normativas específicas para cada actividad humana identificada, estableciendo restricciones, límites y buenas prácticas para minimizar su impacto en el bosque.
- iii. Educación y sensibilización: Llevar a cabo campañas de educación y sensibilización dirigidas a la comunidad local, turistas y visitantes para informar sobre las regulaciones y promover la adopción de prácticas sostenibles.
- iv. Vigilancia y control: Establecer un sistema de vigilancia y control para asegurar el cumplimiento de las regulaciones y sancionar aquellas actividades que incumplan las normas establecidas.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> i. Número de regulaciones y normativas implementadas para controlar actividades humanas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Nivel de cumplimiento de las regulaciones por parte de la comunidad local, turistas y visitantes
Metas	<ul style="list-style-type: none"> i. Establecer regulaciones efectivas para controlar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de las actividades humanas identificadas en el bosque dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 2 años]. ii. Lograr un nivel de cumplimiento del 90% de las regulaciones establecidas para proteger el ecosistema del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado.
Tiempo	<p>La estrategia de regulación de actividades humanas se implementará de manera continua y a largo plazo. Se realizarán evaluaciones periódicas para ajustar y mejorar las regulaciones según sea necesario.</p>
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> i. Expertos en legislación ambiental y conservación para el diseño e implementación de las regulaciones. ii. Personal capacitado para la educación y sensibilización de la comunidad y turistas.

- | | |
|--|--|
| | iii. Recursos tecnológicos y equipos para la vigilancia y control de actividades en el bosque. |
|--|--|

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 20. Estrategia de Colaboración con las Comunidades.

Estrategia	Colaboración con comunidades locales
Descripción	La estrategia preventiva "Colaboración con Comunidades Locales" tiene como objetivo principal fomentar la participación y el compromiso de las comunidades locales en la conservación y protección del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante la colaboración estrecha con las comunidades, se busca promover el conocimiento tradicional y el respeto por el ecosistema, asegurando su conservación a largo plazo y la sostenibilidad de los recursos naturales
Acciones	
	<ul style="list-style-type: none"> i. Diálogo y participación: Establecer un diálogo constante con las comunidades locales para identificar sus preocupaciones, necesidades y conocimientos sobre el bosque y su biodiversidad. ii. Programas de educación ambiental: Diseñar programas de educación ambiental adaptados a las comunidades locales para aumentar la conciencia sobre la importancia del bosque y promover prácticas sostenibles. iii. Impulso de proyectos sostenibles: Apoyar y fomentar la implementación de proyectos sostenibles que beneficien a las comunidades locales y al mismo tiempo contribuyan a la conservación del bosque. iv. Participación en la toma de decisiones: Incluir a las comunidades locales en la toma de decisiones relacionadas con la gestión y conservación del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado.
Indicadores	i. Nivel de participación de las comunidades locales en las actividades de conservación y protección del bosque.

	ii. Número de proyectos sostenibles implementados en colaboración con las comunidades.
Metas	i. Lograr una participación del 80% de las comunidades locales en programas de educación ambiental y actividades de conservación dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 3 años]. ii. Establecer al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de proyectos sostenibles en colaboración con las comunidades locales para el beneficio mutuo y la protección del bosque.
Tiempo	La estrategia de colaboración con comunidades locales se implementará de manera continua y a largo plazo, siendo un componente integral de las actividades de conservación y protección del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado.
Recursos	i. Personal capacitado en educación ambiental y relaciones comunitarias para el diseño e implementación de programas y proyectos. ii. Fondos para apoyar la implementación de proyectos sostenibles y actividades de educación ambiental.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 21.

Estrategia de Protección de Especies en Peligro.

Estrategia	Protección de especies en peligro
Descripción	La estrategia preventiva "Protección de Especies en Peligro" tiene como objetivo principal preservar y proteger las especies de flora y fauna en riesgo de extinción en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante esta estrategia, se busca evitar la pérdida de la biodiversidad y garantizar la supervivencia de especies que son fundamentales para el equilibrio del ecosistema

Acciones

- i. Identificación de especies en peligro: Realizar un inventario exhaustivo para identificar las especies de flora y fauna que se encuentran en peligro o en estado de conservación vulnerable en el bosque.
- ii. Implementación de medidas de protección: Diseñar y aplicar medidas específicas para proteger las especies en peligro, como la creación de zonas de exclusión, la prohibición de actividades dañinas y el establecimiento de corredores biológicos.
- iii. Monitoreo y seguimiento: Establecer un programa de monitoreo y seguimiento de las especies en peligro para evaluar su estado y la efectividad de las medidas de protección implementadas.
- iv. Restauración de hábitats: Realizar acciones de restauración de hábitats para mejorar las condiciones de vida de las especies en peligro y fomentar su reproducción y supervivencia

Indicadores	<ol style="list-style-type: none"> i. Número de especies en peligro identificadas y protegidas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Tendencia del estado de conservación de las especies en peligro a lo largo del tiempo.
Metas	<ol style="list-style-type: none"> i. Proteger y preservar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de las especies en peligro identificadas en el bosque dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 5 años]. ii. Mejorar el estado de conservación de las especies en peligro en al menos un [especificar el porcentaje o la cantidad] en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 10 años].
Tiempo	La estrategia de protección de especies en peligro se implementará de manera continua y a largo plazo, con evaluaciones periódicas para ajustar las medidas de protección según sea necesario.
Recursos	<ol style="list-style-type: none"> i. Expertos en conservación y manejo de especies en peligro para el diseño e implementación de las medidas de protección. ii. Equipos y tecnología para el monitoreo y seguimiento de las especies en peligro.

- | | |
|--|--|
| | iii. Recursos financieros para llevar a cabo acciones de restauración de hábitats. |
|--|--|

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

6.3.2. Acciones Correctivas

Las acciones correctivas son aquellas que se implementan una vez que se han identificado problemas o impactos negativos en el Bosque Seco Tropical de la Reserva Cerro Hurtado. Estas acciones tienen como objetivo corregir y mitigar los efectos adversos causados por actividades humanas o eventos naturales que han afectado el ecosistema.

Algunas acciones correctivas incluyen:

Tabla 22.

Estrategia de Implementar Corredores Biológicos.

Estrategia	Implementar corredores biológicos
Descripción	La estrategia preventiva "Implementar Corredores Biológicos" tiene como objetivo principal conectar y restaurar áreas naturales fragmentadas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante la creación de corredores biológicos, se busca facilitar el desplazamiento de especies, promover la dispersión de semillas y mejorar la conectividad entre hábitats, lo que contribuirá a fortalecer la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema.

Acciones

- | | |
|--|---|
| | i. Identificación de áreas clave: Realizar un análisis detallado para identificar áreas estratégicas que necesiten ser conectadas mediante corredores biológicos para mejorar la movilidad de la fauna y la dispersión de especies vegetales. |
| | ii. Restauración de hábitats: Llevar a cabo acciones de restauración de hábitats en las áreas seleccionadas para mejorar su calidad y funcionalidad, facilitando la movilidad de las especies. |

- iii. Creación de corredores: Establecer corredores biológicos mediante la reforestación, la siembra de especies nativas y la mejora de la conectividad entre áreas naturales.
- iv. Monitoreo y evaluación: Implementar un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de los corredores biológicos en la promoción de la biodiversidad y la conectividad del ecosistema.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> i. Número de corredores biológicos establecidos y conectados en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Nivel de mejora en la conectividad y movilidad de la fauna y flora en las áreas restauradas y conectadas.
Metas	<ul style="list-style-type: none"> i. Establecer al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de corredores biológicos en áreas estratégicas del bosque dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 3 años]. ii. Incrementar la diversidad de especies y la interacción entre hábitats en al menos un [especificar el porcentaje o la cantidad] en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 5 años]
Tiempo	La estrategia de implementación de corredores biológicos se llevará a cabo de manera continua y a largo plazo, siendo necesario un seguimiento periódico para evaluar su efectividad y realizar ajustes en la planificación.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> i. Expertos en restauración ecológica y conectividad de hábitats para el diseño e implementación de los corredores biológicos. ii. Semillas y plántulas de especies nativas para la reforestación y restauración de hábitats. iii. Equipos y tecnología para el monitoreo de la biodiversidad y la movilidad de especies.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 23.

Estrategia de Crear Programas de Reforestación Comunitaria

Estrategia	Crear programas de reforestación comunitaria
Descripción	La estrategia preventiva "Crear Programas de Reforestación Comunitaria" tiene como objetivo principal promover la participación de las comunidades locales en la restauración y conservación del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante esta estrategia, se busca fortalecer el compromiso de la comunidad con la protección del ecosistema y aumentar la cobertura vegetal, lo que contribuirá a la mejora de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

Acciones

- i. Identificación de áreas de reforestación: Realizar un análisis para identificar las áreas prioritarias para la reforestación, considerando la conectividad de hábitats, la presencia de especies nativas y el grado de degradación.
- ii. Diseño de programas de reforestación: Desarrollar programas de reforestación comunitaria que involucren a los habitantes locales en la siembra y cuidado de especies nativas.
- iii. Capacitación y educación: Brindar capacitación y educación a las comunidades sobre la importancia de la reforestación, las técnicas de siembra y el seguimiento de los árboles plantados.
- iv. Monitoreo y evaluación: Establecer un sistema de monitoreo para evaluar el crecimiento y supervivencia de los árboles plantados y el impacto en la recuperación de hábitats.

Indicadores	<ol style="list-style-type: none"> i. Número de comunidades involucradas en programas de reforestación comunitaria en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Cantidad de árboles plantados y su tasa de supervivencia a lo largo del tiempo.
--------------------	--

Metas	<ol style="list-style-type: none"> i. Involucrar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de comunidades locales en programas de reforestación dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 3 años]. ii. Plantar y mantener con éxito [especificar el porcentaje o la cantidad] de árboles nativos en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 5 años].
Tiempo	La estrategia de creación de programas de reforestación comunitaria se implementará de manera continua y a largo plazo, involucrando a las comunidades en la restauración del bosque a lo largo del tiempo.
Recursos	<ol style="list-style-type: none"> i. Expertos en reforestación y manejo de especies nativas para el diseño e implementación de los programas. ii. Semillas y plántones de especies nativas para la reforestación en las áreas seleccionadas. iii. Materiales educativos y talleres para la capacitación y educación de las comunidades.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 24.

Estrategia de Promover el Turismo Sostenible.

Estrategia	Promover el turismo sostenible
Descripción	La estrategia preventiva "Promover el Turismo Sostenible" tiene como objetivo principal impulsar un turismo responsable y respetuoso con el entorno en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante esta estrategia, se busca fomentar prácticas turísticas que contribuyan a la conservación del ecosistema y al bienestar de las comunidades locales, garantizando la protección a largo plazo de la biodiversidad y los recursos naturales.
Acciones	

- i. Sensibilización y educación turística: Desarrollar campañas de sensibilización y programas de educación para informar a los turistas sobre la importancia de respetar y proteger el entorno natural y cultural del Bosque Seco Tropical.
- ii. Desarrollo de rutas turísticas sostenibles: Diseñar y promover rutas turísticas que destaquen los valores naturales y culturales del bosque y que se realicen de manera sostenible, evitando impactos negativos en el ecosistema.
- iii. Involucramiento de las comunidades locales: Incluir a las comunidades locales en el desarrollo y gestión del turismo sostenible, asegurando su participación y beneficios equitativos.
- iv. Establecimiento de políticas y regulaciones: Implementar políticas y regulaciones para garantizar la sostenibilidad del turismo, como límites de visitantes, prácticas de manejo de desechos y protección de sitios sensibles.

Indicadores	<ol style="list-style-type: none"> i. Número de turistas sensibilizados sobre la importancia del turismo sostenible en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Incremento del número de rutas turísticas sostenibles implementadas y su impacto en la conservación del ecosistema.
Metas	<ol style="list-style-type: none"> i. Sensibilizar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de turistas que visitan el bosque sobre la importancia de prácticas sostenibles en [especificar el plazo, por ejemplo, 2 años]. ii. Implementar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de rutas turísticas sostenibles en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 5 años].
Tiempo	<p>La estrategia de promoción del turismo sostenible se llevará a cabo de manera continua y a largo plazo, siendo necesario un seguimiento periódico para evaluar su efectividad y realizar ajustes en la planificación.</p>
Recursos	<ol style="list-style-type: none"> i. Expertos en turismo sostenible y educación ambiental para la implementación de campañas y programas educativos. ii. Personal capacitado para el desarrollo de rutas turísticas sostenibles y la gestión del turismo.

- | | |
|--|---|
| | iii. Recursos financieros para apoyar la implementación de políticas y regulaciones para el turismo sostenible. |
|--|---|

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 25.

Estrategia de Control a la Contaminación.

Estrategia	Controlar la contaminación:
Descripción	La estrategia preventiva "Controlar la Contaminación" tiene como objetivo principal reducir y controlar la contaminación ambiental en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante esta estrategia, se busca preservar la calidad del aire, agua y suelo del ecosistema, proteger la salud de las especies y las comunidades locales, y mantener la integridad del bosque como un hábitat saludable para la flora y fauna.

Acciones

- | | |
|-----------------|--|
| Acciones | |
| i. | Monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo: Establecer un programa de monitoreo para evaluar regularmente la calidad del aire, agua y suelo en el Bosque Seco Tropical y detectar posibles fuentes de contaminación. |
| ii. | Control y mitigación de fuentes de contaminación: Implementar medidas para reducir o eliminar las fuentes de contaminación identificadas, como regulaciones a actividades industriales y agrícolas, gestión adecuada de residuos y promoción de prácticas sostenibles. |
| iii. | Educación y sensibilización: Realizar campañas de educación y sensibilización dirigidas a las comunidades locales, visitantes y empresas sobre la importancia de prevenir y controlar la contaminación y su impacto en el ecosistema. |
| iv. | Promoción de tecnologías limpias: Fomentar el uso de tecnologías limpias y sostenibles en actividades humanas que puedan afectar el entorno del bosque, como el turismo y la agricultura. |

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> i. Niveles de contaminantes en aire, agua y suelo del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Cumplimiento de regulaciones y medidas para el control de la contaminación.
Metas	<ul style="list-style-type: none"> i. Reducir los niveles de contaminantes en [especificar el porcentaje o la cantidad] en aire, agua y suelo en [especificar el plazo, por ejemplo, 3 años]. ii. Lograr un [especificar el porcentaje o la cantidad] de cumplimiento de regulaciones y medidas de control de la contaminación en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 5 años].
Tiempo	La estrategia de controlar la contaminación será un esfuerzo continuo y a largo plazo, con la necesidad de monitorear y ajustar constantemente las acciones de acuerdo con los resultados obtenidos y los cambios en el ecosistema.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> i. Expertos en monitoreo ambiental y gestión de contaminación para implementar programas de control. ii. Personal de educación ambiental para llevar a cabo campañas de sensibilización. iii. Recursos financieros para promover tecnologías limpias y apoyar las medidas de control de contaminación.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 26

. Estrategia de Restringir Actividades Extractivas.

Estrategia	Restringir actividades extractivas
Descripción	La estrategia preventiva "Restringir Actividades Extractivas" tiene como objetivo principal limitar y regular las actividades de extracción de recursos naturales en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante esta estrategia, se busca proteger

el ecosistema y su biodiversidad, evitando la sobreexplotación de recursos y preservando la integridad del bosque para las generaciones futuras.

Acciones

- i. Evaluación de actividades extractivas: Realizar una evaluación detallada de las actividades extractivas presentes en el bosque y su impacto en el ecosistema y las especies que lo habitan.
- ii. Establecimiento de regulaciones: Diseñar y aplicar regulaciones y políticas que restrinjan las actividades extractivas en áreas críticas para la conservación y en zonas donde se encuentren especies en peligro de extinción.
- iii. Control y vigilancia: Reforzar la vigilancia y el control de actividades extractivas ilegales o no autorizadas en el Bosque Seco Tropical, implementando medidas para prevenir la tala ilegal, la caza furtiva y la extracción de recursos no sostenible.
- iv. Promoción de alternativas sostenibles: Impulsar el desarrollo de actividades económicas alternativas y sostenibles para las comunidades locales que dependen de la extracción de recursos, fomentando prácticas que sean compatibles con la conservación del bosque

Indicadores	<ol style="list-style-type: none"> i. Número de regulaciones y políticas implementadas para restringir actividades extractivas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Reducción del impacto de actividades extractivas en áreas críticas y en especies en peligro de extinción.
Metas	<ol style="list-style-type: none"> i. Implementar al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de regulaciones y políticas para restringir actividades extractivas en el bosque dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 2 años]. ii. Reducir al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] del impacto de actividades extractivas en áreas críticas y en especies en peligro de extinción en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 5 años].

Tiempo	La estrategia de restringir actividades extractivas será una iniciativa a largo plazo, que requerirá de un monitoreo y ajuste constante de las regulaciones y políticas en función de la evolución del ecosistema y las necesidades de conservación.
Recursos	<ol style="list-style-type: none"> i. Expertos en legislación ambiental y conservación para diseñar e implementar las regulaciones y políticas. ii. Personal de vigilancia y control para evitar actividades extractivas ilegales. iii. Recursos financieros para apoyar el desarrollo de alternativas económicas sostenibles para las comunidades locales.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 27.

Estrategia de Monitoreo de Especies.

Estrategia	Monitoreo de especies claves
Descripción	La estrategia preventiva "Monitoreo de Especies Claves" tiene como objetivo principal realizar un seguimiento sistemático y constante de las especies clave presentes en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante esta estrategia, se busca obtener información científica actualizada sobre el estado de las poblaciones de especies claves y su hábitat, lo que permitirá tomar decisiones informadas para la conservación y protección del ecosistema.

Acciones

<ol style="list-style-type: none"> i. Identificación de especies claves: Realizar un análisis científico para identificar las especies claves presentes en el bosque, aquellas que tienen un papel crucial en el funcionamiento del ecosistema y su biodiversidad.

- ii. Diseño de programas de monitoreo: Desarrollar programas de monitoreo específicos para cada especie clave identificada, estableciendo metodologías de registro y seguimiento.
- iii. Recolección de datos: Recolectar datos sobre la abundancia, distribución, reproducción y salud de las especies claves, así como información sobre factores que puedan afectarlas, como el cambio climático o la presencia de enfermedades.
- iv. Análisis e interpretación de datos: Analizar los datos recopilados y su interpretación para evaluar el estado de las poblaciones de especies claves y su relación con el ecosistema en su conjunto.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> i. Número de especies claves identificadas y monitoreadas en el Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Tendencias en la abundancia y distribución de las especies claves a lo largo del tiempo.
Metas	<ul style="list-style-type: none"> i. Identificar y monitorear al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] de especies claves presentes en el bosque dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 2 años]. ii. Evaluar y reportar el estado de las poblaciones de especies claves y su hábitat en al menos [especificar el porcentaje o la cantidad] en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 5 años].
Tiempo	La estrategia de monitoreo de especies claves será un esfuerzo continuo y a largo plazo, ya que el seguimiento de poblaciones y hábitats requiere de datos a lo largo del tiempo para obtener conclusiones significativas.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> i. Biólogos y expertos en monitoreo de fauna y flora para diseñar e implementar los programas de monitoreo. ii. Equipos y tecnología para la recolección y análisis de datos, como cámaras trampa, GPS y software especializado.

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Tabla 28. Estrategia de Establecer un Fondo de Conservación.

Estrategia	Establecer un fondo de conservación
-------------------	-------------------------------------

Descripción	<p>La estrategia preventiva "Establecer Fondo de Conservación" tiene como objetivo principal garantizar recursos financieros sostenibles para la conservación y protección del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado de Valledupar, Cesar, Colombia. Mediante esta estrategia, se busca asegurar la disponibilidad de fondos a largo plazo para implementar acciones de conservación, investigación y educación, contribuyendo así a la preservación del ecosistema y su biodiversidad.</p>
--------------------	--

Acciones

- i. Creación del Fondo de Conservación: Establecer un fondo específico para la conservación del Bosque Seco Tropical, destinado a recaudar y administrar recursos económicos de donaciones, aportes gubernamentales, inversiones u otras fuentes.
- ii. Desarrollo de programas de recaudación: Implementar programas de recaudación de fondos, como campañas de donación, actividades de recaudación, patrocinios y alianzas con empresas y organizaciones interesadas en apoyar la conservación.
- iii. Definición de objetivos y asignación de recursos: Establecer objetivos claros para la utilización de los fondos en proyectos y acciones de conservación, investigación y educación, y asignar recursos de acuerdo con las prioridades establecidas.
- iv. Rendición de cuentas y transparencia: Garantizar la transparencia y rendición de cuentas en la administración y uso de los recursos del Fondo de Conservación, informando periódicamente a la comunidad sobre los avances y resultados obtenidos.

Indicadores	<ol style="list-style-type: none"> i. Monto total recaudado en el Fondo de Conservación para la conservación del Bosque Seco Tropical cerro Hurtado. ii. Número de proyectos y acciones de conservación financiados y su impacto en la protección del ecosistema.
Metas	<ol style="list-style-type: none"> i. Recaudar al menos [especificar el monto o porcentaje] del presupuesto anual necesario para la conservación del bosque

	<p>mediante el Fondo de Conservación dentro de [especificar el plazo, por ejemplo, 3 años].</p> <p>ii. Financiar [especificar el porcentaje o cantidad] de proyectos y acciones de conservación del Bosque Seco Tropical en un período de [especificar el tiempo, por ejemplo, 5 años].</p>
Tiempo	La estrategia de establecer un Fondo de Conservación será una iniciativa permanente, garantizando la disponibilidad continua de recursos para la protección del Bosque Seco Tropical a lo largo del tiempo.
Recursos	<p>i. Expertos en administración financiera y captación de fondos para la creación y gestión del Fondo de Conservación.</p> <p>ii. Personal de comunicación y marketing para implementar programas de recaudación de fondos.</p> <p>iii. Recursos tecnológicos para facilitar la administración y transparencia del Fondo de Conservación.</p>

Nota: Elaborado por las Autoras, 2023.

Las acciones correctivas son fundamentales para la recuperación y conservación a largo plazo del Bosque Seco Tropical en la Reserva Cerro Hurtado. Al abordar los problemas identificados y aplicar soluciones adecuadas, se asegura la protección y preservación de este valioso ecosistema, garantizando su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporciona a la región y al planeta.





**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



#PorelResurgirdelaUPC



www.unicesar.edu.co
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380
Valledupar Cesar Colombia

7. CONCLUSIONES

El proceso de Inventario del Bosque Seco Tropical fue meticuloso y exhaustivo, abarcando un amplio espectro de especies presentes en la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado. Mediante técnicas de muestreo rigurosamente planificadas y la participación de expertos en el campo de la ecología y la botánica, se logró recopilar información detallada sobre la presencia y abundancia de las especies forestales en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos durante el inventario arrojaron un panorama impresionante de la biodiversidad en el Bosque Seco Tropical del Cerro Hurtado. Se identificaron numerosas especies de flora, cada una de ellas desempeñando un papel vital en el equilibrio y el funcionamiento del ecosistema. La presencia de esta diversidad de especies es un indicativo claro de la salud y la vitalidad del ecosistema, además de destacar el rol crucial que juega la reserva como refugio para la conservación de la biodiversidad en la región.

La riqueza significativa de especies observada en el área de estudio no solo resalta el valor ecológico de la Reserva Cerro Hurtado, sino que también enfatiza la necesidad de implementar medidas efectivas de protección y manejo para salvaguardar esta valiosa riqueza natural. La preservación de la diversidad biológica es fundamental para mantener la estabilidad y la resiliencia del ecosistema frente a posibles amenazas y cambios ambientales.

Los cálculos arrojaron una estimación total de biomasa forestal de 14765,65 m³ para la Reserva Cerro Hurtado. Esto significa que cada metro cuadrado del área de estudio contiene aproximadamente 0,399 m³ de madera. Estos valores son de gran importancia para comprender la cantidad de carbono almacenado en el bosque, lo que contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático y a la conservación de los recursos naturales.

La biomasa encontrada representa una valiosa información para la toma de decisiones en la gestión y conservación de la reserva. El conocimiento de la biomasa total del área permite evaluar la salud del ecosistema y determinar la capacidad del bosque para absorber y almacenar carbono. Además, estos datos son esenciales para formular acciones de recuperación y asegurar la protección a largo plazo de este importante ecosistema.

La construcción de los Modelos Alométricos fue llevada a cabo con rigurosidad científica y precisión estadística, utilizando técnicas avanzadas de análisis de datos y modelado. Se aplicaron metodologías reconocidas internacionalmente y se compararon diferentes modelos para seleccionar aquellos que mejor se ajustaban a las características específicas de las especies en el Bosque Seco Tropical del Cerro Hurtado. Estos modelos se basaron en una muestra representativa de individuos de cada especie, lo que garantiza que las predicciones sean lo más confiables posible.

Los modelos alométricos del inventario forestal del BST del Cerro Hurtado revelan relaciones significativas entre el diámetro, la altura total y el volumen de los árboles en la región. El primer y segundo modelo muestran una relación directa entre el diámetro y tanto el volumen como la altura total, respectivamente, lo que sugiere que los árboles más grandes en diámetro tienden a ser también más altos y voluminosos. La presencia de constantes en estos modelos podría reflejar características específicas del bosque estudiado, como una altura o volumen base que podría ser influenciada por factores ambientales o genéticos.

El tercer modelo, que relaciona el diámetro con la altura total y el volumen, añade una capa adicional de complejidad y podría ser útil para entender cómo estas características interactúan entre sí en los árboles del Cerro Hurtado. La combinación de estas tres variables en un solo modelo sugiere una interdependencia en la forma en que crecen los árboles en esta región. Estos modelos alométricos, aunque específicos para el Cerro Hurtado, ofrecen una herramienta valiosa para la gestión y conservación forestal, permitiendo predicciones y entendimientos más precisos de la estructura y dinámica de este ecosistema forestal. Sin embargo, su aplicabilidad y precisión deben ser evaluadas en el contexto de los datos y condiciones específicas de la región estudiada.

Adicionalmente, se formularon Acciones de Recuperación específicas para el Bosque Seco Tropical de la reserva. Estas acciones preventivas y correctivas se diseñaron con el objetivo de proteger el ecosistema y mitigar los impactos negativos que puedan afectar la diversidad y la integridad de las especies forestales y su hábitat. La combinación de medidas de prevención, restauración y manejo sostenible busca asegurar la resiliencia y el equilibrio del ecosistema a largo plazo.

Esta investigación ha proporcionado una visión integral del Bosque Seco Tropical en la Reserva Cerro Hurtado, aportando conocimientos valiosos sobre la biodiversidad y la dinámica de las especies forestales presentes. Los modelos alométricos desarrollados permiten hacer proyecciones precisas sobre el crecimiento y la biomasa de estas especies, lo que se traduce en una base sólida para la toma de decisiones en materia de conservación y manejo sostenible. Las acciones de recuperación formuladas representan un paso importante hacia la protección y restauración de este valioso ecosistema, contribuyendo así a la preservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrece la Reserva Ecológica y Patrimonio Ambiental Cerro Hurtado en Valledupar - Cesar.



8. RECOMENDACIONES

A lo largo de esta investigación, se han realizado exhaustivos análisis y evaluaciones para comprender la biodiversidad, composición y estructura del Bosque Seco Tropical presente en la reserva. Asimismo, se han elaborado modelos alométricos que permiten predecir el crecimiento y la biomasa de las especies forestales. Con base en los hallazgos obtenidos y la información recopilada, este capítulo tiene como objetivo proponer una serie de recomendaciones destinadas a mejorar la gestión y conservación de este valioso ecosistema.

Las recomendaciones presentadas aquí se basan en la sólida fundamentación proporcionada por los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación. Se considera que estas sugerencias se alinean con las mejores prácticas en conservación y manejo de recursos naturales, así como con las políticas y estrategias a nivel regional y nacional.

Ampliar el muestreo: Para obtener resultados más representativos y precisos, se sugiere aumentar el tamaño de las parcelas y el número de puntos de muestreo dentro de la reserva. Esto permitirá abarcar una mayor diversidad de hábitats y especies presentes en el Bosque Seco Tropical.

Considerar variables adicionales: Si es posible, incorporar otras variables relevantes en los modelos alométricos, como la edad de los árboles, la densidad de la vegetación circundante y las condiciones del suelo. Estos factores pueden influir en el crecimiento y biomasa de las especies forestales y mejorar la precisión de las estimaciones.

Considerar métodos alternativos: En el ámbito de los inventarios forestales, tanto la tecnología convencional como la de punta ofrecen diversas alternativas para recopilar y analizar datos. Además de los métodos tradicionales de medición en campo, como cintas métricas y calibradores, se pueden emplear tecnologías más avanzadas como la teledetección mediante satélites, drones equipados con cámaras de alta resolución, y sistemas LiDAR (Light Detection and Ranging) para obtener imágenes tridimensionales del bosque. Estas tecnologías permiten una mayor precisión y eficiencia en la recopilación de datos, así como la posibilidad de monitorear áreas más extensas y de difícil acceso.

Además, el uso de software especializado en análisis geoespacial y modelado forestal puede complementar estos métodos, permitiendo una interpretación más profunda y precisa de la estructura y dinámica del bosque. Se recomienda considerar una combinación de estas tecnologías, adaptada a las necesidades y recursos específicos del proyecto, para mejorar la calidad y aplicabilidad de los inventarios forestales en el futuro.

Alternativas para los modelos alométricos: Para la construcción de modelos alométricos en la ecología forestal, existen varias alternativas y enfoques que pueden ser explorados. Además de los modelos lineales simples, como los presentados anteriormente, se pueden emplear modelos no lineales, polinomiales o exponenciales, que pueden capturar relaciones más complejas entre las variables. La aplicación de técnicas de aprendizaje automático, como los árboles de decisión y las redes neuronales, también puede ofrecer una mayor flexibilidad y precisión en la modelización de relaciones alométricas. Además, la inclusión de variables adicionales, como la edad del árbol, la densidad del bosque, o las condiciones del suelo, puede enriquecer el modelo y proporcionar una comprensión más completa de los factores que influyen en el crecimiento y la estructura de los árboles. Se recomienda trabajar en colaboración con expertos en estadísticas y ecología forestal, y considerar una variedad de enfoques y técnicas, para desarrollar modelos alométricos que sean robustos, precisos y relevantes para las necesidades y condiciones específicas del bosque o región en estudio.

Validación de los modelos: Es recomendable validar los modelos alométricos utilizando datos adicionales y mediciones en campo. Comparar las predicciones del modelo con datos reales de biomasa y crecimiento de los árboles permitirá evaluar la precisión y confiabilidad de los modelos.

Integrar acciones preventivas y correctivas: Utilizar los resultados del inventario y los modelos alométricos para diseñar acciones preventivas y correctivas específicas que contribuyan a la conservación y recuperación del Bosque Seco Tropical. Estas acciones deben estar alineadas con las políticas y estrategias de conservación a nivel local y regional.

Al seguir estas recomendaciones, se fortalecerá la calidad y relevancia de la investigación, lo que contribuirá significativamente a la protección y gestión sostenible del Bosque Seco Tropical en la Reserva Cerro Hurtado y su entorno.

Es importante resaltar que estas recomendaciones no solo tienen un valor académico y científico, sino que también buscan ofrecer orientación práctica y aplicable para los responsables de la toma de decisiones, gestores ambientales, investigadores y miembros de la comunidad interesados en la conservación de este invaluable patrimonio natural. Cada recomendación ha sido cuidadosamente diseñada para abordar desafíos específicos identificados durante el proceso de investigación, y se espera que su implementación contribuya significativamente a fortalecer la protección y manejo sostenible del Bosque Seco Tropical en la Reserva Cerro Hurtado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Valledupar. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal “Valledupar en orden 2020 – 2023”*. Valledupar, Colombia: Gobierno Municipal de Valledupar. Obtenido de <https://www.valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx>
- Alonso, J. (15 de mayo de 2022). *La deforestación en América Latina tiene más que todo una causa humana*. Obtenido de Deutshce Welle: <https://www.dw.com/es/la-deforestaci%C3%B3n-en-am%C3%A9rica-latina-tiene-m%C3%A1s-que-todo-una-causa-humana/a-61795305>
- Banco Mundial. (18 de marzo de 2016). *Por qué los bosques son fundamentales para el clima, el agua, la salud y los medios de subsistencia*. Obtenido de Banco Mundial BIRF+AIF: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/03/18/why-forests-are-key-to-climate-water-health-and-livelihoods#:~:text=Los%20bosques%20son%20los%20principales,que%20contribuye%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico>.
- Bencardino M., C. (2012). *Estadística y muestreo (13 edición)*. Bogotá D.C.: ECOE Ediciones. Obtenido de Libro Físico - Biblioteca Rafael Carrillo Luquez - Biblioteca Banco de la República
- Carrillo, F., Acosta, M., Flores, E., J, J., & Bonilla, E. (2014). Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1175-1188.
- CEPAL. (2017). *Selección de Indicadores de Biodiversidad para elaborar en el Taller*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- CEPAL. (2021). *Temas Estadísticos de la CEPAL*. Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL.
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE*, 25.

- Chave, J. R.-M., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., & Sánchez, A. (2014). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical forests. *Methods in ecology and evolution*, 897-908.
- Chazdon, R. L. (2016). A novel statistical method for classifying habitat generalists and specialists. *Ecology*, 2400-2409.
- Concejo Municipal de Valledupar. (1996). *Acuerdo N° 032 del 09 de agosto de 1996. Por el cual se declara zona reserva ecológica y patrimonio de la ciudad, los accidentes montañosos de Hurtado y La Popa*. Valledupar, Cesar, Colombia: Concejo Municipal de Valledupar.
- Cuenca, M., Jadán, O., Cueva, K., & Aguirre, C. (18 de julio de 2017). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *CEDEMAZ*, <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/226/207>. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/226>
- Cuesta, F., Duque, A., & Londoño, M. (2016). Estimación de la biomasa aérea y subterránea en bosques andinos del norte de Ecuador y sur de Colombia. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 217-234.
- ECOSISTEMAS revista científica de ecología y medio ambiente*. (12 de Diciembre de 2016). Obtenido de *ECOSISTEMAS revista científica de ecología y medio ambiente*: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/issue/view/49>
- FAO. (2023). *Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS)*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/forest-inventory/basic-knowledge/es/#:~:text=Un%20inventario%20forestal%20consiste%20en,de%20una%20gesti%20forestal%20sostenible>.
- FAO. (2023). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

- Godoy, O., & Rueda, M. (2016). El uso de inventarios forestales para entender la evolución, el mantenimiento, y el funcionamiento de la diversidad de especies. *Boletín de la Asociación Latinoamericana de Botánica*, 43-50.
- Guevara, J., Sánchez, D., & Fernández, S. (2021). Evaluación del muestreo de la extensión territorial en el inventario forestal en la Reserva Biológica Cerro Plateado, Ecuador. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9-22.
- Guo, J., Guo, Q., Yang, Y., Zhang, X., Guo, W., & Zhou, L. (2019). *A novel allometric model for estimating aboveground biomass of Mongolian oak in Northeast China*. *Forests*.
- Hernández S., R., & Mendoza T., C. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México D.F.: McGraw Hill.
- Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México D.F.: McGraw Hill.
- IDEAM / PNUD / Programa REDD+ de Colombia. (2016). *Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación*. Bogotá D.C.: IDEAM.
- IDEAM. (2011). *PROTOCOLO PARA LA ESTIMACION NACIONAL Y SUBNACIONAL DE BIOMASA-CARBONO EN COLOMBIA*. colombia: Scripto.
- Instituto Alexander von Humboldt. (1998). *El Bosque seco Tropical (Bs-T)*. Bogotá D.C.: Instituto Alexander von Humboldt.
- Köppen, W., & Geiger, R. (1936). *Das geographische System der Klimate*. Berlin, Alemania: Atlas Mundis.
- López-Martínez, J., & Al., e. (2014). Actividad alelopática de extractos acuosos de raíces de *Tagetes filifolia* Lag. sobre la germinación y crecimiento de malezas asociadas a la agricultura de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 865-876. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500005

MADS. (2020). Informe Nacional de Monitoreo de Bosques y Cambio Climático. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*.

Manos Unidas. (2022). *¿Qué es el cambio climático?* Obtenido de Manos Unidas: <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/que-es-cambio-climatico>

MINAMBIENTE. (2020). *Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos: Bosque Seco Tropical*. Recuperado el 28 de enero de 2023, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/bosque-seco-tropical/>

MINAMBIENTE. (2020). *Los Bosques y el Cambio Climático*. Recuperado el 20 de enero de 2023, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/redd/los-bosques-y-el-cambio-climatico>

MINAMBIENTE. (09 de Junio de 2022). *Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente*. Obtenido de Sección Normativa Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente: <https://www.minambiente.gov.co/normativa/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Ecosistemas Estratégicos*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Monteiro, L., Santos, J., Carvalho, L., Azevedo, I., & Souza, A. (2018). Allometric models for estimating tree biomass in the Brazilian Amazon region: A review and comparative analysis. *Forest Ecology and Management*, 355-366.

ONU. (02 de noviembre de 2021). *Bosques y cambio climático: Más de 100 países se comprometen a acabar con la deforestación en 2030*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas (ONU) News: Cambio climático y medioambiente: <https://news.un.org/es/story/2021/11/1499362>

Pérez, M., Sánchez, J., & Acosta, E. (2017). Aplicación del método de muestreo de la extensión territorial para el inventario forestal en la reserva natural La Planada, Nariño-Colombia. *Revista Forestal Venezolana*, 143-151.

Quiceno U., N., Tangarife M., G., & Álvarez L., R. (01 de julio de 2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Investigación original*(43). doi:10.17151/luaz.2016.43.9

Quiceno, N., Tangarife, G., & Álvarez, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Luna Azul*, 43-62.

Redacción. (22 de junio de 2022). *Definición de Reserva Forestal*. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de Concepto Definición: <https://conceptodefinicion.de/reserva-forestal/>

Revista Agroforestería Neotropical. (03 de noviembre de 2020). Obtenido de Revista Agroforestería Neotropical: <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/2332>

Rico, G. (31 de julio de 2017). *Solo queda el 8 %: ¿Cuál es el futuro del bosque seco tropical de Colombia?* Obtenido de Mongabay ONG: <https://es.mongabay.com/2017/07/solo-queda-8-futuro-del-bosque-seco-tropical-colombia/#:~:text=El%20bosque%20seco%20tropical%20es,seco%20tropical%20en%20el%20pa%C3%ADs.>

Solano, D., Giraldo, M., López, D., Yepes, A., Montoya, J., & Ramírez, W. (2019). Ecuaciones alométricas para la estimación de la captura de carbono almacenado en árboles. *Revista Luna Azul*, 229-245.

UNICESAR. (2021). *Acuerdo N°003 del 08 de julio de 2021 “por medio del cual se adoptan las líneas de investigación de los programas de Pregrado de la Facultad de Ingeniería y Tecnológicas sede Valledupar, y se dictan otras disposiciones”*. Valledupar, Cesar: Universidad Popular del Cesar.

UNICESAR. (2023). *Guía Orientadora para la Formulación y Estructuración del Anteproyecto y Proyecto de Grado en el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar*. Valledupar: Universidad Popular del Cesar.

World Wildlife Foundation. (09 de septiembre de 2022). *Aumento de la deforestación en Colombia en 2022 exige acciones urgentes*. Obtenido de WWF: <https://www.wwf.org.co/?378752/Aumento-de-la-deforestacion-en-Colombia-en-2022-exige-acciones-urgentes>

