

Desarrollo y Caracterización del Componente Flora en un Estudio de Impacto Ambiental
en el Bajo Cauca Antioqueño

Manuel Fernando Calvo Velásquez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniería Forestal

Director

Diego Suescún Carvajal

MSc en Bosques y Conservación Ambiental

Codirector

Freddy Vladimir Jones Navas

MSc en Cuencas Hidrográficas

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Ingeniería forestal

Bucaramanga

2025

Agradecimientos

De manera muy especial, agradezco a mi padre Jhon Freddy Calvo V. y mi madre Paula Alejandra Velásquez H. por su inquebrantable fortaleza, apoyo y guía en los momentos difíciles que enfrenté durante este proceso. Su ejemplo y fuerza que me impulsó a seguir adelante y culminar exitosamente esta etapa de mi vida académica.

Expreso mi sincero agradecimiento al director del trabajo de grado, MSc Diego Suescún Carvajal, por su guía y acompañamiento, fundamentales para el desarrollo del estudio. Agradezco también al codirector, MSc Freddy Vladimir Jones Navas, por su apoyo técnico.

Mi más sincero agradecimiento al titular responsable del contrato de concesión minera IJO-11291, quien facilitó las condiciones y permisos indispensables para la realización de las visitas de campo, sin cuyo apoyo este estudio no habría sido posible.

También expreso mi reconocimiento al equipo técnico de ICMINA S.A.S., cuya dedicación permitió la recolección y verificación detallada de los datos en campo.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander y al Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED) por brindarme las herramientas académicas, el apoyo institucional y el ambiente propicio que fueron fundamentales para la realización de este trabajo de grado.

Manuel Fernando Calvo Velásquez

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Introducción	15
1.1 Objetivos Específicos.....	17
2. Antecedentes	18
3. Marco Teórico.....	19
3.1 Estudios de Impacto Ambiental.....	19
3.2 Planes de Manejo Ambiental	20
3.3 Componente biótico para estudios de impacto ambiental.....	21
3.4 Parcelas tipo RAP, para estudios de impacto ambiental.....	21
4. Metodología	23
4.1 Área de estudio	23
4.2 Diseño experimental Parcelas tipo Rap para estudios de impacto ambiental.....	26
4.2 Toma de datos	26
4.3 Procesamiento de datos.....	27
4.3.1 Diversidad.....	27
4.3.2 Biomasa.....	28
4.3.3 Estructura Horizontal.....	30
4.3.4 Estructura vertical	31
5. Resultados	32
5.1 Levantamiento en campo de información primaria a partir de muestreos de vegetación para inventarios forestales	32

5.1.1 Establecimiento de Parcelas.....	36
5.1.2 Coordenadas Parcelas de Verificación 2025 Cobertura de Bosque Fragmentado y Bosque Ripario asociado a los inventarios de la zona de interés Título IJO-11291.....	38
5.2 Caracterización de la composición florística, riqueza y estructura de las coberturas vegetales muestreadas.....	38
5.2.1 Modelos tridimensionales ilustrativos por especie de las parcelas muestreadas Bosque fragmentado	43
5.2.2. Biomasa Bosque fragmentado	45
5.2.3. Composición florística Bosque fragmentado.....	47
5.2.3.2. Estructura horizontal Bosque fragmentado.....	49
5.2.3.2 Cociente de mezcla Bosque fragmentado.....	51
5.2.4. Área basal y volúmenes Bosque fragmentado	51
5.2.4.1 Distribución diamétrica.....	53
5.2.4.2 Posición sociológica Bosque fragmentado	54
5.2.5. Modelos tridimensionales ilustrativos por especie de las parcelas muestreadas Bosque Ripario.....	55
5.2.6. Biomasa Bosque Ripario.....	59
5.2.7. Composición florística Bosque Ripario	61
5.2.7.1 Estructura horizontal Bosque Ripario.....	63
5.2.7.2. Cociente de mezcla Bosque Ripario.....	65
5.2.8. Área basal y volúmenes Bosque Ripario	65
5.2.8.1 Clases diamétricas.....	67
5.2.8.2 Posición sociológica.....	68

5.3 Apoyo en la elaboración de Planes de Manejo Ambiental (PMA) para el manejo, uso, aprovechamiento y restauración de Bosques en el área de estudio	69
5.3.1 Caracterización de coberturas periodo 2025.....	70
5.3.2 Fichas del Plan de Manejo de áreas intervenidas.....	82
6. Conclusiones	94
7. Recomendaciones	95
Referencias.....	97
Apéndices.....	102

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Establecimientos de parcelas, levantamiento en campo de información primaria	33
Tabla 2 Coordenadas Parcelas Titulo IJO-11291	37
Tabla 3 Coordenadas Parcelas de Verificación de las condiciones actuales de las coberturas periodo 2025	38
Tabla 4 Modelos tridimensionales ilustrativos por especie de las parcelas muestreadas	39
Tabla 5 Composición florística Bosque fragmentado.....	48
Tabla 7 Composición florística Bosque Ripario	62
Tabla 9 Verificación Coberturas 2025 escala 1:2000 resolución 50 cm por píxel	76
Tabla 10 Coberturas identificadas en campo	78

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Área de Influencia Panzenú.....	24
Figura 2 Título Minero IJO-11291	25
Figura 3 Transecto tipo RAP modificado	26
Figura 4 Distribución de especies Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado	43
Figura 5 Modelado 3D Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado.....	44
Figura 6 Modelado 3D Vista en Horizontal Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado	44
Figura 7 Modelado 3D Vista Superior en Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado	45
Figura 8 Biomasa por especie en Bosque fragmentado	46
Figura 9 Riqueza de especies Bosque fragmentado.....	47
Figura 10 IVI % Bosque fragmentado	50
Figura 11 Volumen Total y Comercial Bosque fragmentado	52
Figura 12 Especies con mayor Área basal y volumen Bosque fragmentado	52
Figura 13 Clase diamétrica para fustales Bosque fragmentado	54
Figura 14 Posición sociológica porcentual por especie en Bosque fragmentado	55
Figura 15 Distribución de especies Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado	56

Figura 16 Modelado 3D Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque Ripario.....	57
Figura 17 Modelado 3D Vista en Horizontal Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque Ripario.....	58
Figura 18 Modelado 3D Vista Superior en Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque Ripario.....	59
Figura 19 Biomasa por especie en Bosque Ripario	60
Figura 20 Riqueza de especies Bosque Ripario.....	62
Figura 21 IVI % Bosque Ripario	64
Figura 22 Área basal y Volumen Total Ripario.....	66
Figura 23 Especies con mayor Área basal y volumen Bosque Ripario	67
Figura 24 Clase diamétrica para fustales Bosque Ripario	68
Figura 25 Posición sociológica porcentual por especie en Bosque Ripario	69
Figura 26 Cartografía de coberturas antecedentes.....	71
Figura 27 Coberturas establecidas para el periodo 2022	72
Figura 28 Imagen satelital Esri satélite, modificación software SASGIS resolución 50 cm píxel WGS 84.....	73
Figura 29 Imagen Planet scope L15-0595E-1067N Junio 2025 resolución 3 m por píxel.....	74
Figura 30 Caracterización del estado actual de las coberturas vegetales 2025.....	75
Figura 31 Inventario coberturas forestales Bosque de galería y Ripario y Bosque fragmentado	82
Figura 32 Fichas de Manejo asociadas a Plan de Manejo de áreas intervenidas.....	83

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Datos IJO-11291 Bosques fragmentados

Apéndice B. Datos IJO-11291 Bosques riparios.

Apéndice C. Puntos especies Cáceres

Apéndice D. Red Hídrica Coberturas IJO-11291

Apéndice E. Imágenes Modelos 3D Especies

Apéndice F. Bosque de galería y ripario

Apéndice G. Bosque fragmentado

Apéndice H. Pastos arbolados

Apéndice I. Pastos _limpios

Apéndice J. Pastos _enmalezados

Apéndice K. Red vial y territorios asociados

Apéndice L. Modelos 3D Especies

Apéndice M. Tejido urbano discontinuo

Apéndice N. Tierras _desnudas_y_degradadas

Apéndice Ñ. Vegetación _secundaria_o_en_transición

Apéndice O. Zonas _Pantanosas _sistemas lenticos

Apéndice P. Mapas Contrato De Concesión (L 685) IJO-11291

Apéndice Q. Guía de Modelamiento y Rutas de Nodos de Geometría

Apéndice R. Multimedia de modelos 3D implementados

Apéndice S. Datos Parcelas de verificación

Apéndice T. Imágenes Satelitales SAS PLANET y Planet

Apéndice U. Fotografías Verificación en campo , inventarios y parcelación

Apéndice V. Modelado Blender y ArcGis Pro

Glosario

Área Basal (AB): Medida del área transversal del tronco de los árboles por unidad de superficie, calculada con la fórmula $AB=4\pi \times (DAP)^2$, importante para evaluar la estructura del Bosque.

Biomasa aérea: Estimación de la masa de materia viva en árboles, usada para evaluar la captura de carbono y funciones ecosistémicas.

Coefficiente de Mezcla (CM): Relación entre el número de especies y el total de individuos en un ecosistema, usado para evaluar la heterogeneidad del Bosque.

DAP (Diámetro a la Altura del Pecho): Medición del diámetro del tronco del árbol a 1,3 metros sobre el suelo, fundamental para cálculos de biomasa y volumen maderable.

Estudios de Impacto Ambiental (EIA): Evaluaciones sistemáticas para analizar los posibles efectos que un proyecto puede tener sobre el medio ambiente, incluyendo impactos acumulativos y sinérgicos.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

GIS: Sistemas de Información Geográfica.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Índice de Shannon (H): Índice que mide la diversidad de especies en una comunidad considerando riqueza y equidad, importante para evaluar la salud del ecosistema.

Índice de Simpson (D): Índice que calcula la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, usado para estudiar la distribución de especies.

Índice de Valor de Importancia (I.V.I.): Indicador que suma la abundancia relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa para cada especie, indicando su importancia ecológica en el Bosque.

Parcelas tipo RAP (Parcela de evaluación rápida): Unidades de muestreo diseñadas para evaluar rápidamente la composición y estructura de la vegetación, generalmente con dimensiones específicas (como 4 x 50 m o modificadas a 50 x 10 m) para incluir especies arbóreas significativas.

Posición Sociológica: Evaluación del rol estructural y dominancia porcentual de especies en la composición del Bosque.

Restauración Ecológica: Proceso de recuperación de las coberturas vegetales y características ecológicas en áreas intervenidas, incluyendo prácticas como revegetación con especies nativas.

SINAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

Volumen Comercial y Volumen Total: Medición del volumen de madera aprovechable y total en un Bosque, calculados utilizando área basal, altura y un factor forma.

Resumen

Título: Desarrollo y Caracterización del Componente Flora en un Estudio de Impacto Ambiental en el Bajo Cauca Antioqueño *

Autor: Manuel Fernando Calvo Velásquez**

Palabras Clave: Inventario forestal, Restauración ecológica, Biodiversidad, Bosque fragmentado, Bosque Ripario.

Descripción:

El presente trabajo de grado se enfocó en la caracterización del componente flora dentro de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), específicamente en el área correspondiente al contrato de concesión minera IJO-11291 en el municipio de Cáceres. El objetivo principal fue realizar un inventario exhaustivo de la composición florística, riqueza y estructura de las coberturas vegetales presentes, con el fin de aportar información esencial para la elaboración integral del componente biótico en el EIA y apoyar la formulación de Planes de Manejo Ambiental (PMA). Para ello, se establecieron diez (10) parcelas tipo RAP modificadas. en las que se recolectaron datos dasométricos que permitieron análisis cuantitativos y cualitativos de la vegetación. Se calcularon índices de diversidad (Margalef, Shannon, Simpson), cociente de mezcla, biomasa y el Índice de Valor de Importancia (IVI), evaluando así la salud y dinámica del ecosistema., Los resultados indicaron una diversidad moderada con signos de homogeneización, predominancia de especies estructurales como *Schefflera morototoni* en bosque fragmentado y *Cecropia obtusifolia* en bosque ripario, y una estructura diamétrica que evidencia regeneración natural. Adicionalmente, se presentó cartografía actualizada de coberturas y se diseñaron estrategias de manejo para recuperar suelos intervenidos y revegetar las áreas impactadas, enfatizando la siembra de especies nativas, el control de especies invasoras y el monitoreo continuo para garantizar la sostenibilidad de la restauración ecológica. Este estudio aporta un marco técnico fundamentado para la gestión ambiental responsable y la mitigación de impactos en proyectos extractivos en el Bajo Cauca, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y la funcionalidad ecosistémica.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Ingeniería forestal. Director: Diego Suescún Carvajal. MSc. Bosques y Conservación Ambiental. Codirector: Freddy Vladimir Jones Navas. MSc en Cuencas Hidrográficas

Abstract

Title: Development and Characterization of the Flora Component in an Environmental Impact Study in the Lower Cauca Region of Antioquia*

Author(s): Manuel Fernando Calvo Velásquez**

Key Words: Forest Inventory, Ecological Restoration, Biodiversity, Fragmented Forest, Riparian Forest.

Description:

This thesis focused on characterizing the flora component within an Environmental Impact Assessment (EIA), specifically in the area corresponding to mining concession contract IJO-11291 in the municipality of Cáceres. The main objective was to conduct a comprehensive inventory of the floristic composition, richness, and structure of the existing vegetation cover in order to provide essential information for the comprehensive development of the biotic component in the EIA and to support the formulation of Environmental Management Plans (EMPs). To this end, ten (10) modified RAP plots were established, in which dasometric data were collected to enable quantitative and qualitative analysis of the vegetation. Diversity indices (Margalef, Shannon, Simpson), mixture ratio, biomass, and the Importance Value Index (IVI) were calculated, thus evaluating the health and dynamics of the ecosystem. The results indicated moderate diversity with signs of homogenization, a predominance of structural species such as *Schefflera morototoni* in fragmented forest and *Cecropia obtusifolia* in riparian forest, and a diametric structure that shows evidence of natural regeneration. In addition, updated coverage maps were presented and management strategies were designed to restore disturbed soils and revegetate impacted areas, emphasizing the planting of native species, the control of invasive species, and continuous monitoring to ensure the sustainability of ecological restoration. This study provides a sound technical framework for responsible environmental management and impact mitigation in extractive projects in Bajo Cauca, contributing to the conservation of biodiversity and ecosystem functionality.

* Degree work

**Institute for Regional Projection and Distance Education (IPRED). Forestry Engineering Program. Director: Diego Suescún Carvajal. MSc. Forests and Environmental Conservation. Codirector: Freddy Vladimir Jones Navas. MSc in Watersheds.

1. Introducción

Los estudios de impacto ambiental (EIA) constituyen herramientas fundamentales para la gestión ambiental, con gran importancia social, especialmente en proyectos que requieren obtener una licencia ambiental. Su objetivo principal es identificar efectos acumulativos, sinérgicos e incluso irreversibles sobre la biodiversidad, la conectividad ecológica, los servicios ecosistémicos y la conservación de los recursos naturales renovables y del paisaje (Minambiente, 2021). Estas evaluaciones analizan las alteraciones generadas por actividades humanas, ya sean beneficiosas o perjudiciales para el entorno, facilitando la toma de decisiones informadas. Además, consideran tanto los recursos bióticos como abióticos para diseñar un Plan de Manejo Ambiental (PMA) conforme a la normativa vigente, con el propósito de implementar medidas de manejo, mitigación y compensación que protejan los recursos naturales.

Según Cantarino et al. (2023), en 1985 la Unión Europea implementó las directivas para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), estableciendo pautas para que los Estados miembros realicen EIA en todos los proyectos relacionados. Desde entonces, esta herramienta se ha consolidado mundialmente como un componente esencial en la planificación y gestión ambiental, fomentando además la participación de la comunidad. En el contexto colombiano, la evolución de los EIA ha estado marcada por la promulgación de normativas clave, tales como el Decreto Ley 2811 de 1974, conocido como el Código Nacional de Recursos Naturales, que regula la protección y manejo de recursos como el aire, el agua y el suelo. Posteriormente, la Ley 99 de 1993 impuso la obligación de realizar EIA para proyectos con posibles impactos significativos en el ambiente,

y el Decreto 1076 de 2015 continuó fortaleciendo el marco normativo. Desde entonces, se han desarrollado diversas disposiciones y resoluciones que regulan este proceso.

El Bajo Cauca (Antioquia), una región rica en recursos naturales y biodiversidad ha sido objeto de diversos proyectos de desarrollo, incluidos proyectos mineros y de infraestructura. Sin embargo, la implementación de EIA en esta zona ha sido problemática derivada de la minería ilegal, que no solo impactan el medio ambiente, sino que también afectan la salud, la economía y la cohesión social de las comunidades locales. La falta de EIA adecuados agrava estos problemas, impidiendo la identificación de riesgos y la implementación de medidas de mitigación efectivas (Cardona, 2020; Rovira et al., 2023).

Es crucial llevar a cabo EIA que permitan restablecer los procesos hidrológicos, identificar y reducir al máximo los efectos perjudiciales que las actividades humanas tienen sobre el medio ambiente, buscando estrategias efectivas y sostenibles para lograrlo, garantizando así la recuperación y conservación de los ecosistemas y promoviendo un manejo sostenible de los recursos naturales, contribuyendo a la gestión sostenible, el uso responsable y la restauración de los Bosques en la región.

Objetivos

1. Objetivo General

Realizar la caracterización del componente flora para la elaboración integral del componente biótico en un EIA.

1.1 Objetivos Específicos

Realizar el levantamiento en campo de información primaria a partir de los muestreos de vegetación para inventarios forestales.

Caracterizar la composición florística, riqueza y estructura de las coberturas vegetales muestreadas.

Apoyar la elaboración de PMA para el manejo, uso, aprovechamiento y restauración de los Bosques observados en el área de estudio.

2. Antecedentes

La Zona de Reserva de Recursos Naturales de la Zona Ribereña del río Cauca fue definida como un área de manejo especial por la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquía) mediante el Acuerdo No. 017 del Consejo Directivo, fechado el 27 de septiembre de 1996. Esta designación respondió a la necesidad de proteger los suelos agrícolas debido a su alta vulnerabilidad ecológica y su susceptibilidad a procesos erosivos. El propósito principal de esta reserva es conservar los remanentes de Bosques nativos, proporcionar un hábitat adecuado para la fauna silvestre y proteger los suelos y los recursos naturales presentes en la región. Según el artículo 2.2.2.1.3.1 del Decreto 1076 de 2015, esta zona se considera una estrategia de conservación in situ. Aunque no forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), desempeña un papel crucial en la conservación, planificación y manejo de los recursos naturales renovables, contribuyendo a los objetivos de protección ambiental del país. Asimismo, el Acuerdo No. 180-ACU2003-578, emitido el 16 de marzo de 2020, establece los lineamientos para tramitar solicitudes de sustracción temporal o definitiva en esta reserva, relacionadas con actividades de utilidad pública o interés social, de acuerdo con lo establecido en el artículo 2.2.2.1.3.9 del Decreto 1076 de 2015. Recientemente, se presentó una solicitud para la sustracción definitiva de 182,42 hectáreas dentro de esta reserva, con el fin de llevar a cabo la explotación de minerales de oro y sus concentrados en la concesión minera No. IJO11291, ubicada en el municipio de Cáceres.

3. Marco Teórico

3.1 Estudios de Impacto Ambiental

Los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) son evaluaciones sistemáticas diseñadas para analizar los posibles efectos que un proyecto puede ocasionar sobre el medio ambiente. Un elemento fundamental en estos estudios es la detección de impactos acumulativos, definidos como aquellos que surgen de la interacción de múltiples proyectos dentro de una misma zona (Duarte & Sánchez, 2020). Esto resulta especialmente relevante en áreas donde coexisten o se planean diversas actividades mineras. Las consecuencias de estas intervenciones pueden manifestarse en la degradación del suelo, la contaminación de fuentes hídricas y la reducción de la biodiversidad. La legislación ambiental vigente exige un análisis riguroso de estos impactos acumulativos, lo cual permite obtener una visión integral de los riesgos ambientales y favorecer la elaboración de estrategias de mitigación efectivas (Ferretti et al., 2024).

Goodbody (2023) afirma que la disponibilidad de datos detallados en adquisiciones específicas es fundamental para la gestión forestal en zonas clave cercanas a las riberas de arroyos, sin importar la función ecológica que desempeñen dichas áreas. Sin embargo, señala que las zonas ribereñas han experimentado un deterioro en su salud y funcionalidad, lo que ha provocado la pérdida de importantes servicios ecosistémicos y ha afectado negativamente las condiciones de arroyos y humedales. Asimismo, destacan que la combinación de datos de conglomerados con herramientas de modelado y análisis espacial facilita la identificación y cuantificación de los posibles efectos ambientales de proyectos, lo cual resulta esencial para la toma de decisiones informadas y la formulación de contramedidas efectivas. En Colombia, la normatividad aplicable

a los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) está regulada principalmente por el Decreto 1791 de 1996, la Resolución 1526 de 2012, y los Decretos 2041 de 2014 y 2106 de 2019.

Muhamad (2023) señala que la contaminación ha provocado daños visibles en el territorio, con graves repercusiones en la salud de la población y la viabilidad de la región. En respuesta, el gobierno propuso la creación de un Distrito Minero integral, cuyo objetivo es facilitar la transición hacia la formalidad, detener la destrucción ambiental en el Bajo Cauca y promover actividades productivas entre la población minera que no perjudiquen el medio ambiente.

Este plan incluye la caracterización de los ecosistemas afectados y la evaluación de los riesgos derivados de la contaminación y degradación ambiental, fundamentándose en estrategias para mitigar los impactos negativos de la minería. Para enfrentar dichos desafíos, es indispensable implementar prácticas de minería sostenible que reduzcan la huella ambiental. Asimismo, se destaca la importancia de la restauración de áreas degradadas, la incorporación de tecnologías limpias y la adopción de métodos de extracción que minimicen la contaminación. Finalmente, el monitoreo constante de los impactos ambientales es fundamental para asegurar la efectividad de las medidas de mitigación y permitir su ajuste cuando sea necesario.

3.2 Planes de Manejo Ambiental

Los Planes de Manejo Ambiental (PMA) constituyen documentos que establecen las pautas y acciones necesarias para evitar, reducir y compensar los efectos negativos sobre el medio ambiente que resultan de la explotación de recursos naturales. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2021), estos planes deben incluir medidas adicionales que aborden posibles impactos no identificados en los estudios previos del proyecto. Asimismo, los PMA deben contemplar estrategias específicas para la conservación de la flora y fauna, la recuperación de ecosistemas deteriorados y el fomento de prácticas sostenibles. La aplicación de

estos planes es fundamental para garantizar que las actividades productivas se realicen de manera responsable y en conformidad con la legislación ambiental vigente.

3.3 Componente biótico para estudios de impacto ambiental.

La caracterización de la flora constituye un elemento fundamental dentro de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) porque aporta información valiosa sobre la biodiversidad y el estado de los ecosistemas. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2023), el análisis del medio biótico está dirigido a recopilar datos cualitativos y cuantitativos de los componentes ecológicos, lo que permite comprender su estructura y funcionamiento. Esta información resulta esencial para establecer las condiciones iniciales del ecosistema antes de que se lleve a cabo un proyecto, facilitando así la identificación de posibles efectos adversos.

Además, La diversidad biológica es fundamental para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, ya que contribuye a procesos vitales como el ciclo de nutrientes, la polinización y la regulación climática (Benayas et al., 2020). La disminución de la biodiversidad puede afectar gravemente estos procesos, lo que resalta la necesidad de desarrollar e implementar políticas orientadas a la conservación y al manejo sostenible de los recursos naturales.

3.4 Parcelas tipo RAP, para estudios de impacto ambiental

Las parcelas tipo RAP son unidades de muestreo que se establecen con el propósito de evaluar rápidamente la composición y estructura de la vegetación en un área determinada. Según el método de (Gentry, 1982) estas parcelas suelen tener dimensiones rectangulares, como 4 x 50 m, donde se censan todos los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) superior a 2,5 cm. Este diseño busca maximizar la inclusión de especies arbóreas significativas y minimizar

el efecto de borde que puede afectar los resultados del muestreo. Según González et al. (2023) las parcelas RAP facilitan el monitoreo a largo plazo de las áreas afectadas, permitiendo a los investigadores y gestores ambientales evaluar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas. Además, estas evaluaciones son fundamentales para cumplir con las normativas ambientales vigentes que exigen un análisis riguroso del impacto potencial sobre los ecosistemas.

Los índices de diversidad son esenciales para el monitoreo ambiental y la conservación, ya que proporcionan información sobre la salud del ecosistema y ayudan a identificar cambios en la biodiversidad debido a factores antropogénicos o alteraciones naturales (Hurlbert, 1971). Por ejemplo, los índices de Shannon y Simpson son comúnmente utilizados para evaluar la diversidad de especies y su distribución dentro de un ecosistema al cuantificar estos aspectos.

Mosquera (2019) señala que comprender la estructura de los ecosistemas permite evaluar cómo reaccionan los árboles individuales, las especies y las comunidades en general. Los índices de diversidad no solo sirven para analizar el estado actual de un ecosistema, sino que también orientan la creación de estrategias efectivas para su conservación y manejo sostenible. La estructura vertical del Bosque describe la distribución de las plantas en diferentes niveles de altura, lo que ayuda a entender la organización espacial de las comunidades vegetales. Este aspecto es esencial para valorar la biodiversidad y el bienestar del ecosistema, dado que cada estrato puede contener diversas especies con funciones ecológicas específicas.

4. Metodología

4.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la región del Bajo Cauca al Noreste del Departamento de Antioquia (Colombia). La zona de influencia para el EIA se localiza en el territorio Panzenú, que abarca partes de los municipios de Cáceres y Tarazá, las coordenadas del área de estudio se encuentran entre 7,9900° N de latitud, 74,1320° W de longitud. La altitud en esta región varía entre 200 y 1200 m s. n. m., lo que contribuye a la diversidad de microclimas y ecosistemas presentes. La región del Bajo Cauca presenta una diversidad de zonas de vida, predominantemente caracterizadas por Bosques húmedos tropicales y Bosques secos. Los Bosques húmedos tropicales son comunes en las áreas más bajas, donde la temperatura promedio varía entre 26 y 28°C y las precipitaciones anuales superan los 2000 mm. En contraste, las zonas más elevadas pueden albergar Bosques subandinos, que se encuentran a altitudes superiores a los 1000 m s. n. m. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, 2020).

Figura 1

Área de Influencia Panzenú

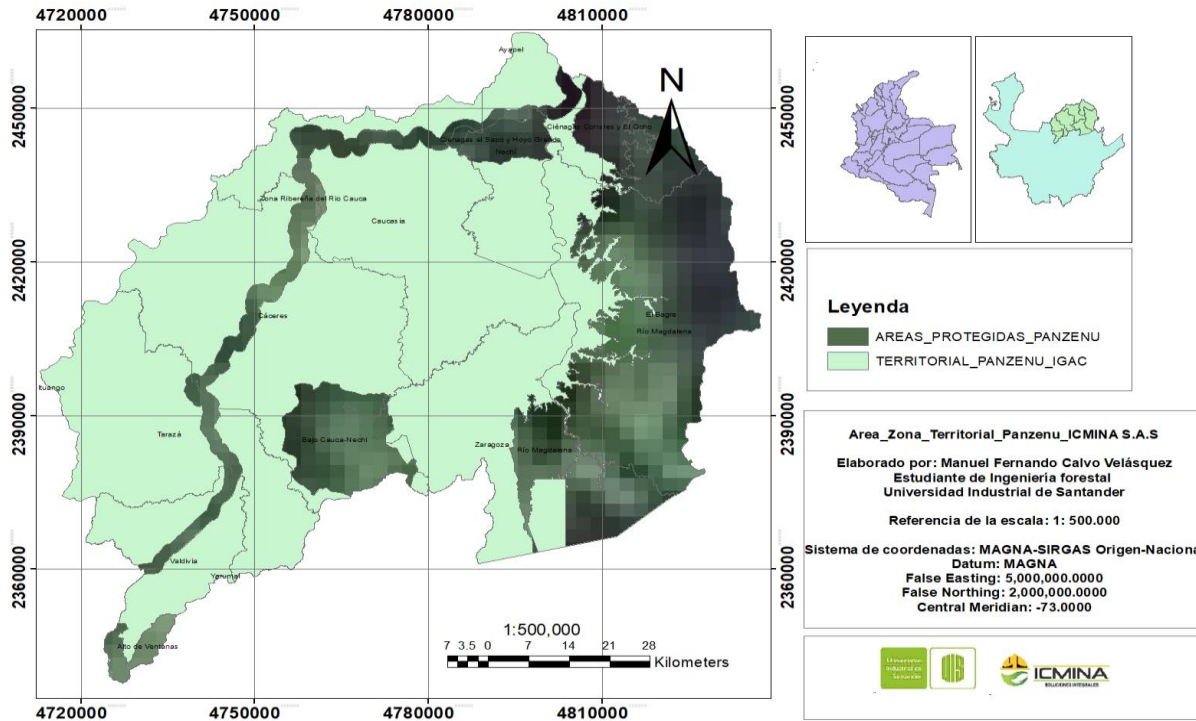
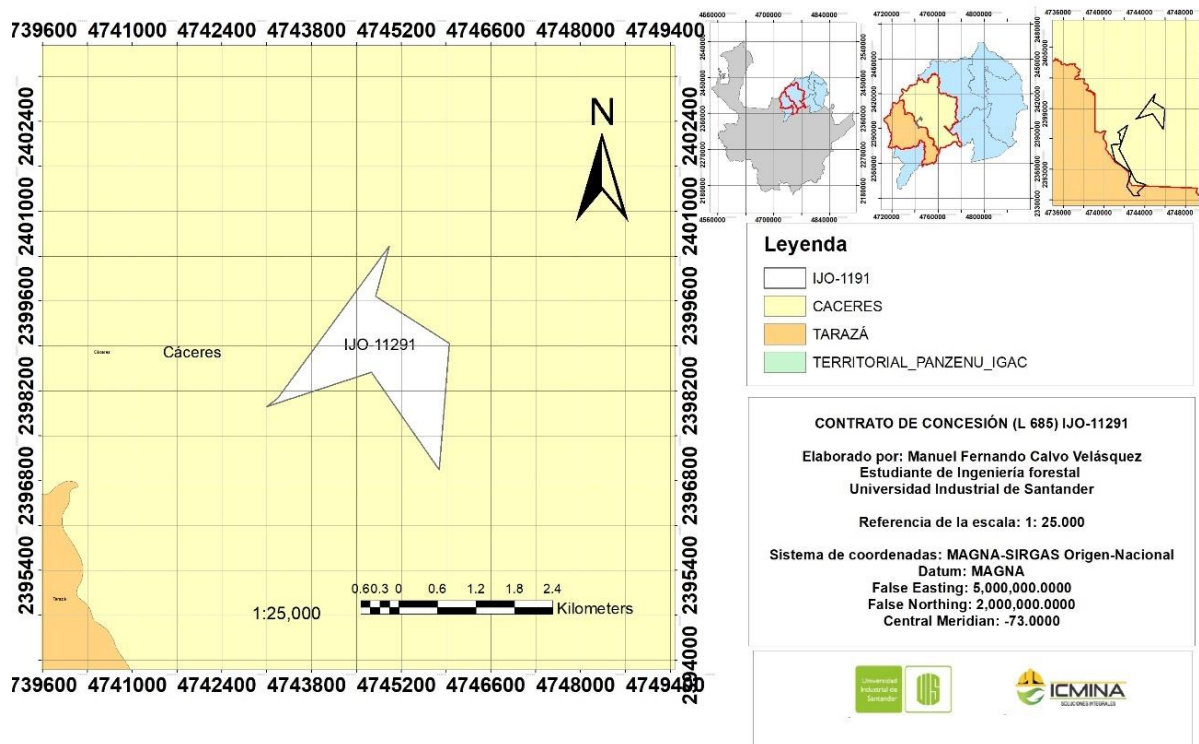


Figura 2

Título Minero IJO-11291



El Contrato de Concesión IJO-11291 se encuentra ubicado en el municipio de Cáceres en las veredas de Alto Candilejas, Corrales, Anara y Asturias, al norte del departamento de Antioquia, en un área de 320 ha y 3,2 km² distribuidas en una (1) zona, con coordenadas centrales CTM12 Origen Nacional 4744820,797971N 2398691,323985E.

A continuación, se detalla la metodología empleada para la caracterización de la flora en el área de estudio. Utilizando el mapa de coberturas basado en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), se establecieron las unidades de muestreo en los sitios seleccionados para el inventario de las coberturas arbóreas naturales y seminaturales dentro del

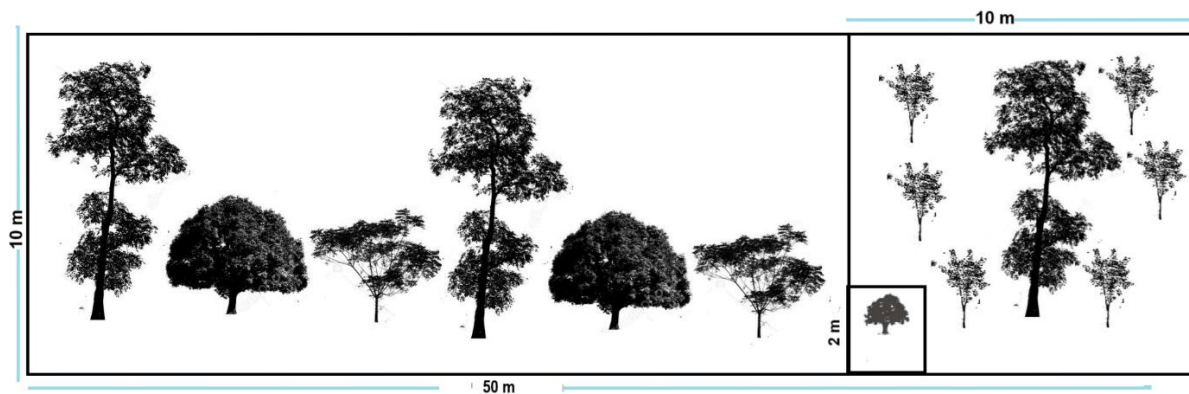
área definida para el proyecto. Asimismo, se llevó a cabo análisis exhaustivos sobre la composición y estructura de cada una de estas coberturas.

4.2 Diseño experimental Parcelas tipo Rap para estudios de impacto ambiental

La metodología para la recolección de datos en parcelas tipo RAP se basa en un diseño sistemático que permite la caracterización de la flora en el área de estudio. En este contexto, se estableció parcelas tipo RAP modificadas, ampliadas a 50 x 10 m donde se llevó a cabo un inventario exhaustivo de los fustales. Posteriormente, se demarcaron subparcelas de 10 x 10 m para registrar los individuos latizales, y se registraron todos los brinzales en áreas de 2 x 2 m.

Figura 3

Transecto tipo RAP modificado



4.2 Toma de datos

La recolección de datos es un componente esencial en la evaluación forestal, involucrando la medición de diversos parámetros de los árboles dentro de parcelas o transectos establecidos. Este proceso no solo proporciona información crítica sobre la salud y la composición del Bosque, sino que también es fundamental para la gestión sostenible de los recursos forestales. Basada en el

Manual Nacional Forestal, esta metodología establece directrices claras para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos recolectados. Durante este proceso, se registraron diversas variables clave como el DAP, que se mide a partir de 2,5 cm utilizando una cinta diamétrica medido a 1,3 m del suelo, este parámetro es fundamental para calcular la biomasa y el volumen maderable. Luego, se midieron la altura total con un hipsómetro, y el diámetro de la copa con una lienza. Además, se tomaron una muestra botánica para facilitar la identificación en el herbario. Cada individuo fue marcado según su clase diamétrica: los árboles en estado latizal se marcaron con papel foil y alambre, mientras que los fustales se pintaron con pintura asfáltica amarilla a una altura uniforme, orientando la marca hacia el origen de la parcela. Este enfoque metódico no solo aseguró la calidad de los datos, sino que también permitió un análisis más efectivo y detallado del estado de los recursos forestales.

4.3 Procesamiento de datos

4.3.1 Diversidad

Una vez recolectados los datos del inventario forestal, se procesaron mediante softwares especializados para el cálculo de diversos índices, como el cociente de mezcla, índices de diversidad de Margalef, Simpson y Shannon, este último es fundamental para identificar patrones que indican la salud del ecosistema y mide la diversidad de especies en una comunidad y proporciona información valiosa sobre la equidad y riqueza de las especies presentes. El índice de Simpson determina la probabilidad de que al coger dos individuos al azar sean de la misma especie. Por su parte, el coeficiente de mezcla (CM) se calcula como la relación entre el número de especies y el total de individuos en un ecosistema. Este coeficiente proporciona una idea general sobre la intensidad de la mezcla y una evaluación inicial de la heterogeneidad en la cobertura. Dado que los resultados del CM dependen en gran medida del diámetro mínimo utilizado para las mediciones

y del tamaño de las muestras, es fundamental comparar solo aquellos ecosistemas que tengan métodos de muestreo equivalentes. A continuación, se realizaron los cálculos correspondientes:

(Ecuación 1) Coeficiente de mezcla (CM):

Coeficiente de Mezcla = *Numero de especies / Numero de individuos totales*

(Ecuación 2) Índice Margaleft (DMg):

DMg = (número de especies – 1/ln *número total de individuos.)

(Ecuación 3) Índice Shannon (H’):

$$H' = \sum p_i \ln p_i$$

(Ecuación 4) Índice de Simpson (D):

$$D = 1 - \sum p_i^2 \quad (5)$$

4.3.2 Biomasa

Se emplearon ecuaciones de biomasa para estimar la biomasa total a partir del DAP, densidad de la madera y altura de los árboles; estas ecuaciones son cruciales para evaluar el potencial de captura de carbono del Bosque, contribuyendo así a los esfuerzos para mitigar el cambio climático (Chave et al., 2005). La estimación de la biomasa aérea de las especies se realizó teniendo en cuenta la fórmula propuesta por Yepes et al. (2011) y se buscaron ecuaciones que se ajustaran mejor a la zona de vida Bosque Húmedo Tropical, y al tipo de coberturas que allí se presentan, Chave (2005), Alvarez (2012), AnHulo Díaz & León Manrique (2024), en las ecuaciones, Ln es logaritmo natural, exp es exponencial, D representa el DAP, H es la altura total del árbol, ρ denota la densidad de la madera. Se mencionan a continuación:

(Ecuación 5) Yepes et al. (2011)

$$\ln(BA) = a + B1 \ln(D 2H\rho)$$

En esta ecuación, D representa el DAP, H es la altura total del árbol, ρ denota la densidad de la madera, a : -2,218 y B 1: 0,932 constantes para bh-T.

(Ecuación 6) Álvarez (2012) Modelo Type I:

$$\ln(AGB)=a+c\times\ln(D2\times H\times q)$$

Con parámetros similares, donde a : -2,261 y c : 0,937 coeficiente específicos del modelo.

(Ecuación 7) Chave (2005) Modelo 1.3 (Type I general):

$$\ln(AGB)=a+b\times\ln(D 2 \times H\times\rho)$$

Los parámetros a : -3,08 y b : 1,007 son coeficientes ajustados.

(Ecuación 8) Chave 2005 Type I Moist:

$$AGB=0.0509\times\rho D2H$$

(Ecuación 9) Chave (2005) Modelo Type II para Bosques húmedos (Moist forests):

Similar fórmula al modelo Type I, pero con coeficientes ajustados para Bosques húmedos

$$AGB = \exp (-2,409+0,9522*\text{LN}(\rho D2H))$$

(Ecuación 10) Biomasa (AnHulo Díaz & León Manrique, 2024)

$$AGB = \exp (4.03962 + (-1.99104 * \ln(D)) + (1.23665 * \ln(D)^2) + (-0.12606 * \ln(D)^3) + (1.28302 * \ln(p)))$$

4.3.3 Estructura Horizontal

(Ecuación 11) Índice de Valor de Importancia (I.V.I.):

Se calcula sumando tres parámetros relativos para cada especie: abundancia, frecuencia y dominancia. La abundancia relativa refleja la proporción de individuos de una especie con relación al total de individuos en el área muestreada. La frecuencia relativa mide cuán frecuentemente aparece una especie en las diferentes parcelas, mientras que la dominancia relativa se basa en la proporción del área basal de una especie respecto al área basal total. Al integrar estos aspectos, el IVI proporciona una visión integral de la importancia ecológica de cada especie dentro del tipo de Bosque correspondiente. Su valor máximo es de 300%.

$$I. V. I. = Fr\% + Ab\% + Dm\%$$

(Ecuación 12) Frecuencia relativa:

La existencia de una especie en un lote de muestreo puede ser medida, y su frecuencia absoluta se expresa como un porcentaje, donde 100% representa su presencia en todas las parcelas. La frecuencia relativa, en cambio, se obtiene al dividir la frecuencia absoluta de esa especie entre el total de frecuencias absolutas de todas las especies presentes.

$$Fr \% = (Frecuencia\ absoluta\ especie / Frecuencia\ absolutas\ totales) \times 100$$

(Ecuación 13) Dominancia relativa

La dominancia relativa, también conocida como grado de cobertura de las especies, es un indicador clave que refleja el espacio que ocupan las especies en un ecosistema. En este contexto,

la dominancia de una especie se determina a partir de la suma de las proyecciones de las copas de sus individuos. Sin embargo, debido a la compleja estructura vertical de los Bosques tropicales, la determinación directa de la dominancia puede resultar complicada (Kauffman et al., 2020).

Para abordar esta dificultad, se utilizan las áreas basales como un sustituto de los valores verdaderos de dominancia. Este enfoque es válido porque existe una correlación lineal entre el diámetro de la copa y el diámetro del tronco para una especie específica (Higgins et al., 2021). Siendo la sumatoria de las áreas basales individuales de los árboles pertenecientes a dicha especie, expresadas en metros cuadrados. Este parámetro refleja la superficie ocupada por el tronco de los individuos de una misma especie en un área determinada.

Determinado con la siguiente fórmula:

$$(\%). Dm \% = (Dominancia\ absoluta\ especie / Dominancia\ absolutas\ totales) \times 100$$

4.3.4 Estructura vertical

Para determinar el área basal, se emplearon los diámetros registrados aplicando la siguiente fórmula:

Se usaron

(Ecuación 14) Área basal:

$$AB = \pi / 4 \times (DAP)^2$$

Dónde: AB es Área basal en (m²), π es la constante equivalente a 3,1416

(Ecuación 15) Cálculo de volumen:

Para determinar el volumen comercial y total por hectárea se utilizó la siguiente fórmula:

Volumen Total = Área basal * Altura total * factor de forma ó Volumen Comercial = Área basal * Altura a la primera rama o comercial * factor de forma

FF el Factor forma (0,6) “Donde ff corresponde al factor forma con un valor de 0,6 asumible para el caso de los Bosques húmedos tropicales” (Medina et al., 2007).

5. Resultados

5.1 Levantamiento en campo de información primaria a partir de muestreos de vegetación para inventarios forestales

El primer objetivo de este estudio consistió en realizar el levantamiento en campo de información primaria mediante muestreos de vegetación, con el fin de obtener datos precisos y representativos para la elaboración de inventarios forestales. Las 10 parcelas se establecieron utilizando coordenadas geográficas CTM12 Origen Nacional, dentro de la región del Bajo Cauca Antioqueño, específicamente en áreas comprendidas dentro del contrato de concesión minera IJO-11291 buscando capturar la diversidad florística presente. Inicialmente, estas parcelas se emplearon para identificar la vegetación y las coberturas presentes composición florística, la estructura vertical de la vegetación, la presencia de especies indicadoras y el estado general del ecosistema; sin embargo, se procedió a la elaboración de un inventario al 100% en el área de interés de aprovechamientos para la extracción a través de minería tipo aluvial del título IJO-11291, con el fin de determinar con mayor exactitud la cantidad de especies y coberturas vegetales, este inventario exhaustivo fue un requerimiento para la actividad de explotación minera ligada a una

licencia ambiental sobre el título IJO-11291, donde se anticipa un cambio significativo en la cobertura y el uso del suelo. Se realizó verificación de las coberturas a mayor detalle, y las condiciones de intervención de los Bosques objeto de estos inventarios. El siguiente análisis tiene como fuente principal hecho por información aportada por del equipo técnico de la empresa de consultoría ICMINA S.A.S, asociadas a el levantamiento primario de los títulos mineros complementado con elaboración propia mediante la cual se hace la actualización del inventario en las zonas forestales en el periodo 2025, adicionalmente elaboración de mapas y metaanálisis de los inventarios.

Tabla 1

Establecimientos de parcelas, levantamiento en campo de información primaria



Localización del área del título minero IJO-11291

Coberturas asociadas a Bosques



Establecimiento y distribución de Parcelas



Georeferenciación de parcelas



Toma de datos dasométricos fustales y fustales mayores



Toma de muestras para identificación



Toma de muestras asociada a latizales y brinzales



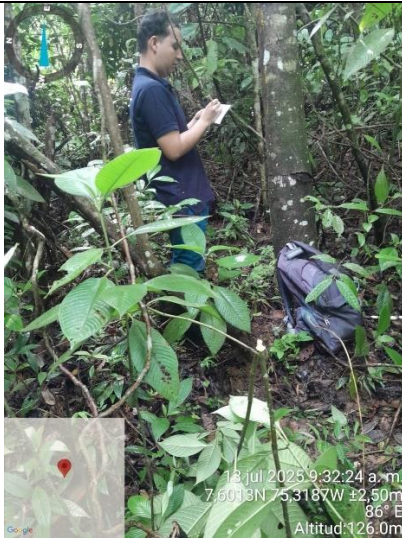
Medición dasométrica latizales y brinzales



Georeferenciación de los puntos



Seguimiento a los puntos tomados de los inventarios



Observaciones en campo



Toma de medidas altimétricas



Verificación coberturas de Bosques Riparios



Verificación Taxonómica e identificación de especies

5.1.1 Establecimiento de Parcelas

Para la caracterización de las coberturas vegetales, se levantaron un total de 10 parcelas de 10x50 m correspondientes a 0,15 ha, a partir del cual se obtuvo la composición florística, permitiendo la identificación de especies preliminares del área de estudio y verificación de coberturas. En la Tabla 2, se presentan las coordenadas planas de las parcelas levantadas con sistema de referencia Magna Sirgas CTM12 Origen Nacional.

Tabla 2*Coordenadas Parcelas Titulo IJO-11291*

Código Parcela	Municipio	Punto	Ctm12 Origen Nacional	
			X	Y
PA_P3	Cáceres	Iniciales	4744302,33	2398591,63
		Finales	4744107,26	2398926,57
VS_P2		Iniciales	4744410,45	2398566,17
		Finales	4744408,87	2398518,4
Código Parcela	Municipio	Punto	Ctm12 Origen Nacional	
			X	Y
VS_P4	Cáceres	Iniciales	4744125,98	2398445,26
		Finales	4744135,25	2398486,9
VS_P9		Iniciales	4744520,69	2399432,98
		Finales	4744481,97	2399393,15
BR_P5		Iniciales	4744308,07	2398982,45
		Finales	4744263,64	2399010,78
BR_P10		Iniciales	4744782,34	2399682,08
		Finales	4744738,95	2399698,9
BR_P11		Iniciales	4745162,53	2398470,9
		Finales	4745116,84	2398491,61
BR_P12		Iniciales	4744932,87	2398674,08
		Finales	4744973,68	2398710,8

5.1.2 Coordenadas Parcelas de Verificación 2025 Cobertura de Bosque Fragmentado y Bosque Ripario asociado a los inventarios de la zona de interés Título IJO-11291.

Permitieron evaluar directamente las características y el estado de los bosques fragmentados y ripario de interés para aprovechamientos, mostrando la distribución de las especies, e ilustrando como se verían, en cualquiera de los puntos de los inventarios (Tabla 3 y Apéndice S).

Tabla 3

Coordenadas Parcelas de Verificación de las condiciones actuales de las coberturas periodo 2025

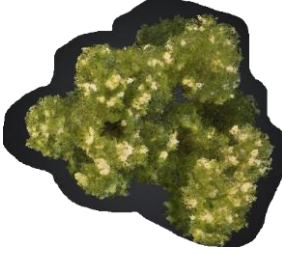

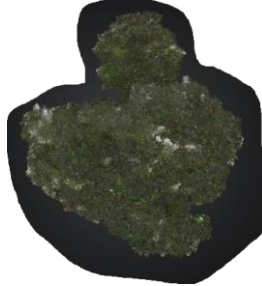



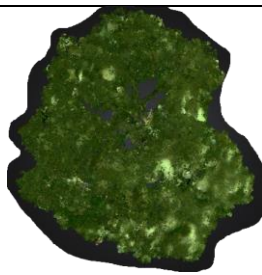

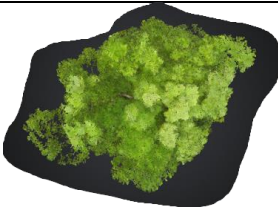


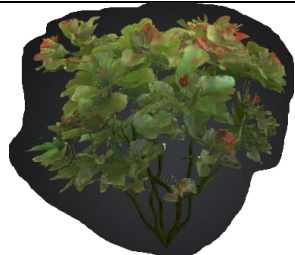
Código Parcela	Municipio	Punto	Ctm12 Origen Nacional	
			X	Y
BF_VP1	Cáceres	Iniciales	4744196,38	2398630,91
		Finales	4744273,57	2398619,43
BR_P2		Iniciales	4744510,92	2399668,82
		Finales	4744622,16	2399834,12

5.2 Caracterización de la composición florística, riqueza y estructura de las coberturas vegetales muestreadas

A través de los softwares Meshi, Gis y Blender se generó una proyección ilustrativa de las parcelas utilizando modelos 3D por especie (Tabla 4) lo que permitió aproximarnos a una visualización detallada de los perfiles de vegetación y la distribución espacial de las especies en la zona, con el objetivo de facilitar el análisis de su composición.

Tabla 4

Modelos tridimensionales ilustrativos por especie de las parcelas muestreadas

			
<i>Vista superior</i> <i>Schefflera morototoni</i>	<i>Vista horizontal</i> <i>Schefflera morototoni</i>	<i>Vista superior</i> <i>Ficus insipida</i>	<i>Vista horizontal</i> <i>Ficus insipida</i>
			
<i>Vista superior</i> <i>Vismia macrophylla</i>	<i>Vista horizontal</i> <i>Vismia macrophylla</i>	<i>Vista superior</i> <i>Spondias mombin</i>	<i>Vista horizontal</i> <i>Spondias mombin</i>
			
<i>Vista superior</i> <i>Pseudobombax septenatum</i>			

<i>Vista</i>	<i>horizontal</i>	<i>Vista</i>	<i>superior</i>	<i>Vista</i>	<i>horizontal</i>
<i>Pseudobombax</i>		<i>Cespedecia</i>		<i>Cespedecia</i>	
<i>septenatum</i>		<i>spaculatha</i>		<i>spaculatha</i>	



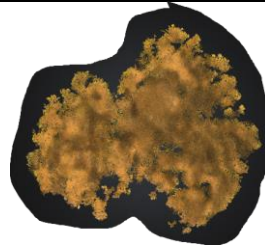
Vista superior

Jacaranda copaia



Vista horizontal

Jacaranda copaia



Vista superior

Byrsomina spicata



Vista horizontal

Byrsomina spicata



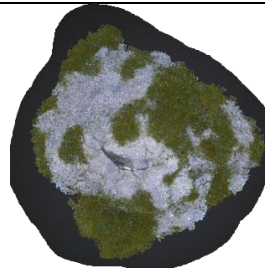
Vista superior

Cecropia obtusifolia



Vista horizontal

Cecropia obtusifolia



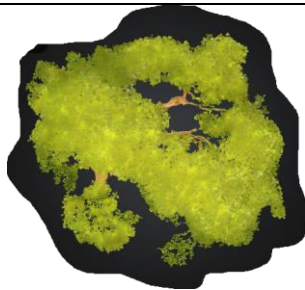
Vista superior

Jacaranda hesperia.



Vista horizontal

Jacaranda hesperia.



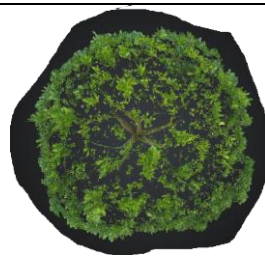
Vista superior

Bursera simaruba



Vista horizontal

Bursera simaruba



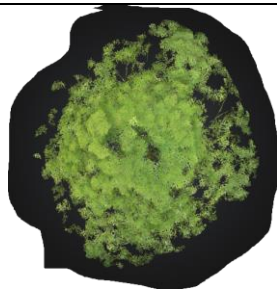
Vista superior

Ormosia tovarensis



Vista horizontal

Ormosia tovarensis



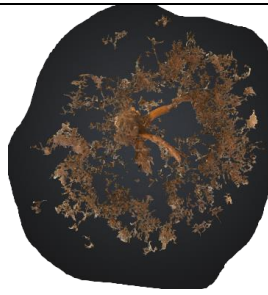
Vista superior

Samanea saman



Vista horizontal

Samanea saman



Vista superior

Zanthoxylum

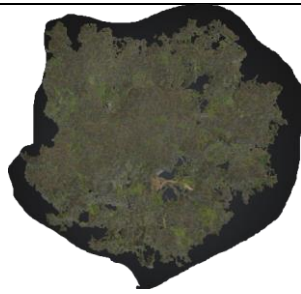
rhoifolium



Vista horizontal

Zanthoxylum

rhoifolium



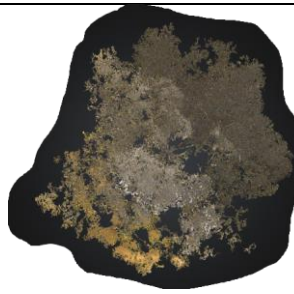
Vista superior

Erythrina fusca



Vista horizontal

Erythrina fusca



Vista superior

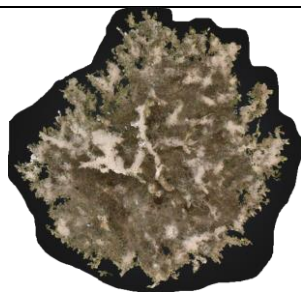
Luehea

speciosa



Vista horizontal

Luehea speciosa



Vista superior

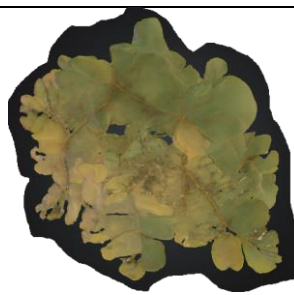
Muntingia calabura



Vista horizontal

Muntingia calabura

L.



Vista superior

Senna

alata



Vista horizontal

Senna alata



Vista superior
Calathea lutea



Vista horizontal
Calathea lutea



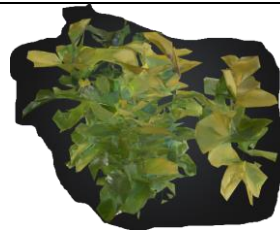
Vista superior
Bactraris glandulosa



Vista horizontal
Bactraris glandulosa



Vista superior
Davilla kunthii



Vista horizontal
Davilla kunthii



Vista superior
Piper marginatum



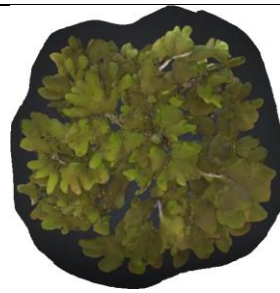
Vista horizontal
Piper marginatum



Vista superior
Carludovica palmata



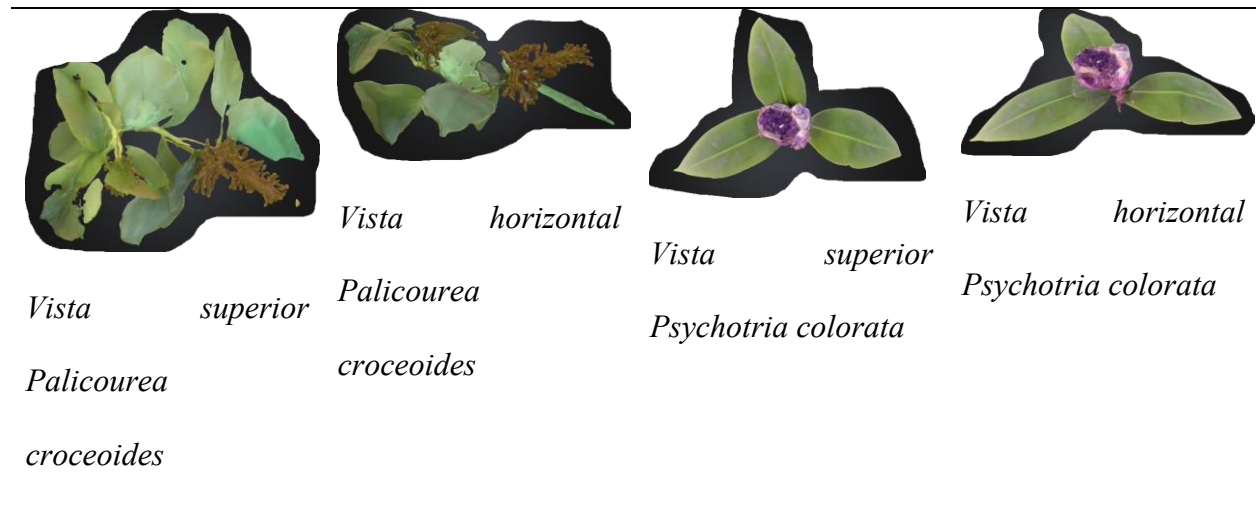
Vista horizontal
Carludovica palmata



Vista superior
Bellucia pentamera



Vista horizontal
Bellucia pentamera



5.2.1 Modelos tridimensionales ilustrativos por especie de las parcelas muestreadas Bosque fragmentado

Los modelos tridimensionales generados para las parcelas muestreadas en el bosque fragmentado permitieron una representación visual detallada de cada especie, facilitando la comprensión de la estructura y distribución espacial de la vegetación en el área de estudio (Figura 4, 5 6 y 7 y Apéndice Q, L y V).

Figura 4

Distribución de especies Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado

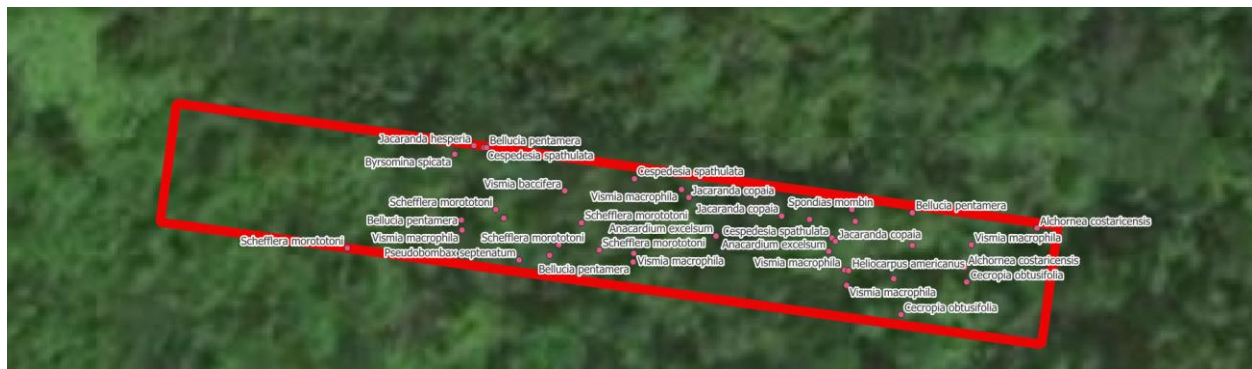


Figura 5

Modelado 3D Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado

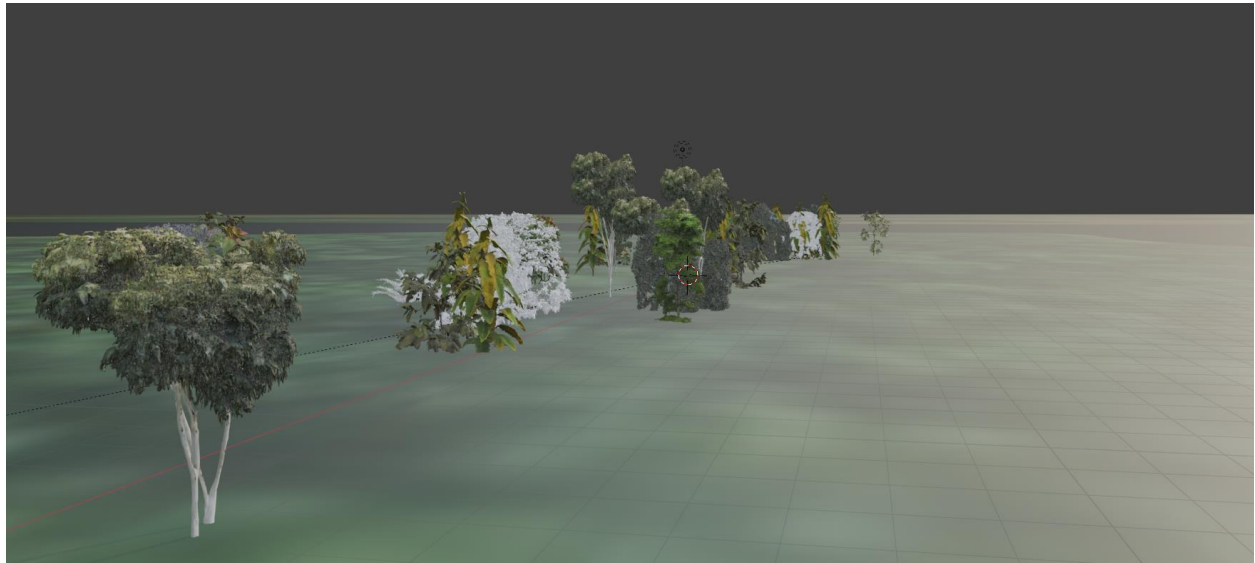


Figura 6

Modelado 3D Vista en Horizontal Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado

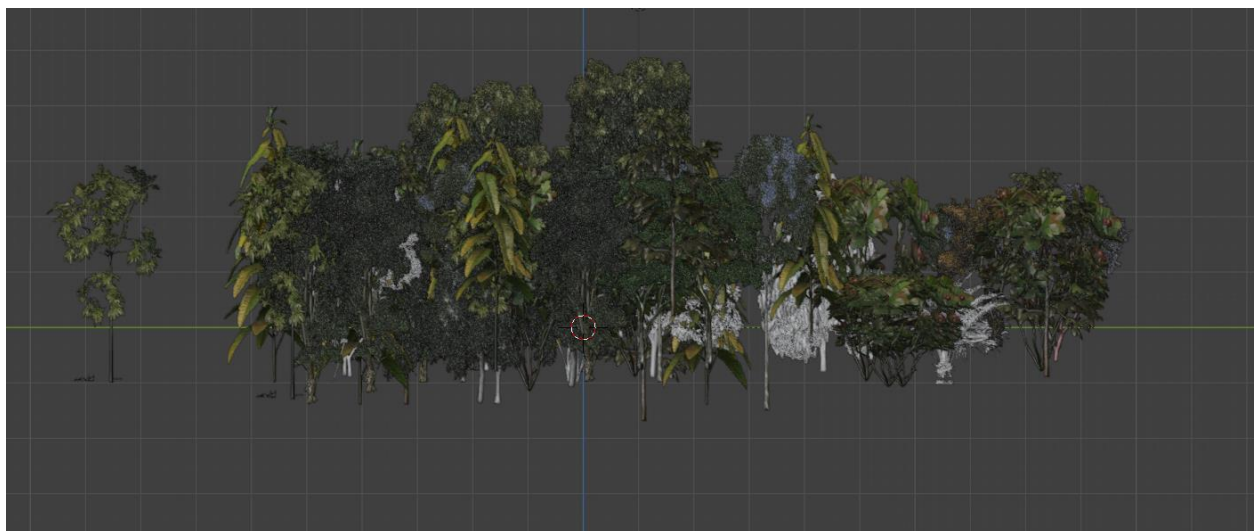
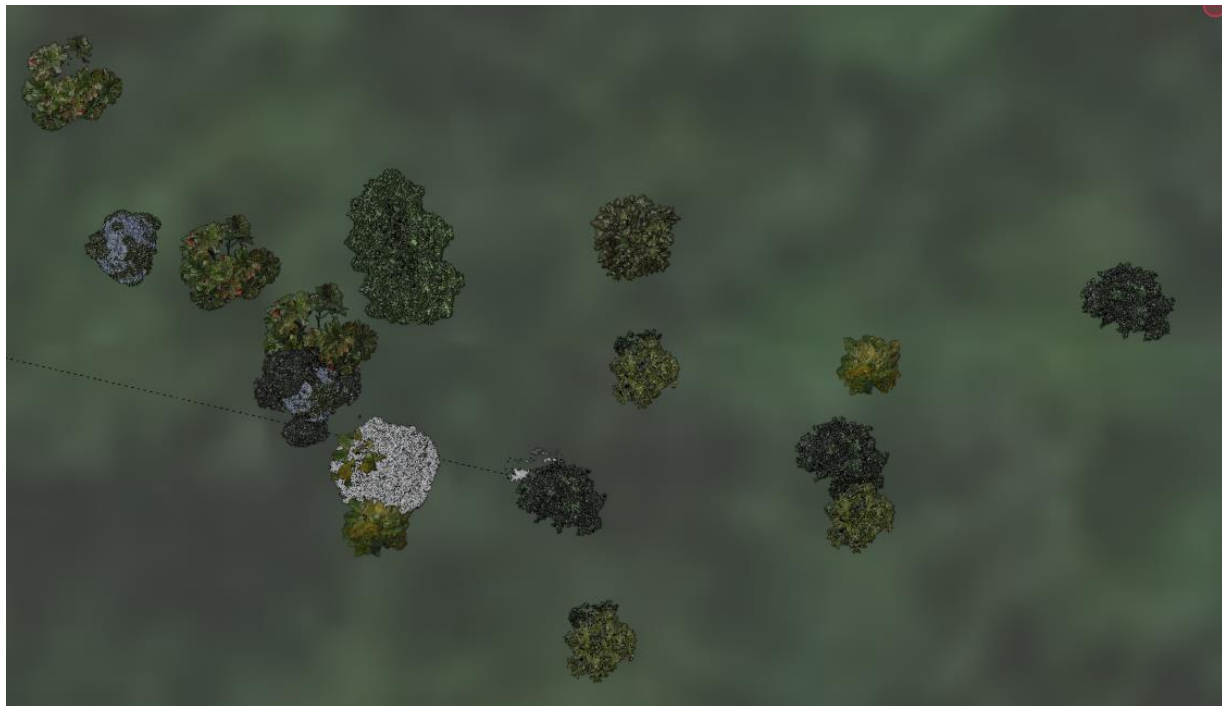


Figura 7

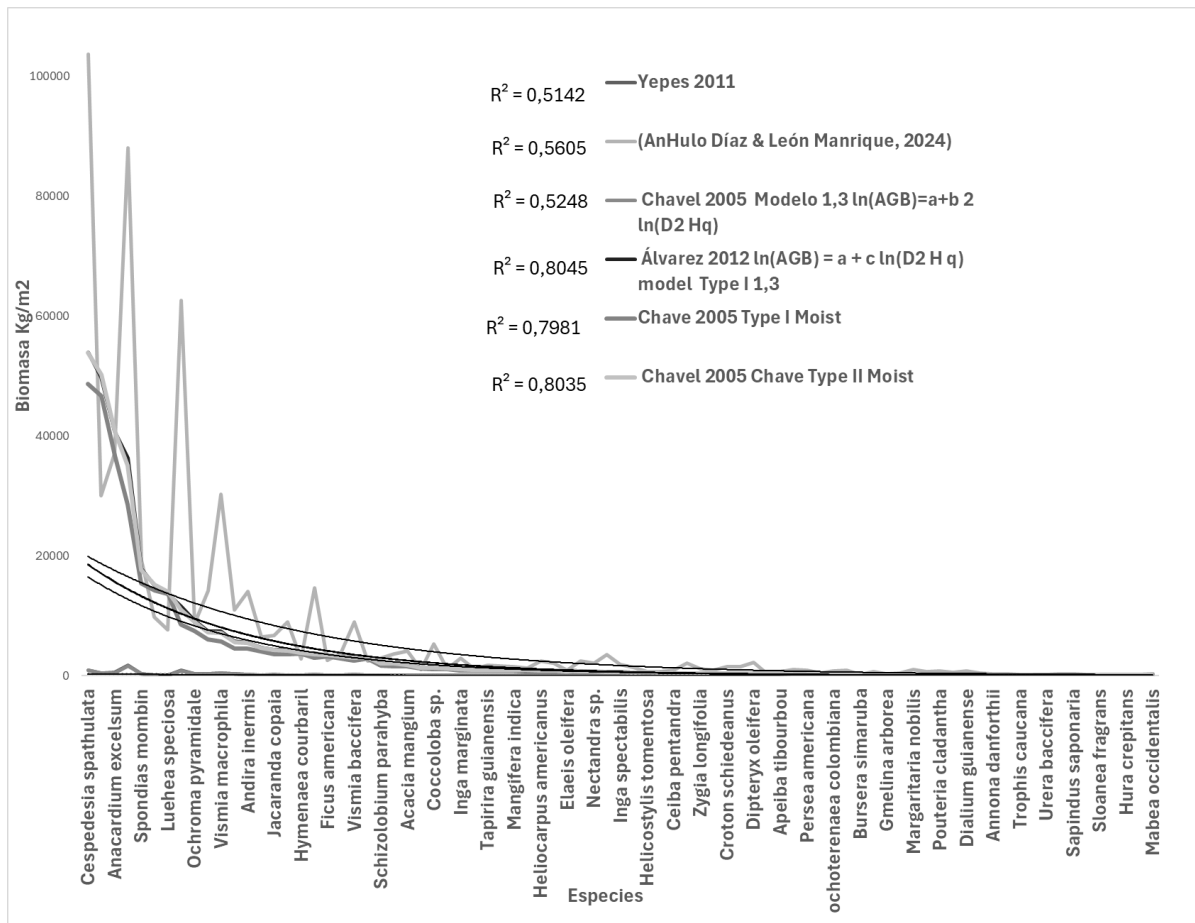
Modelado 3D Vista Superior en Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque fragmentado

**5.2.2. Biomasa Bosque fragmentado**

En la Figura 8, se muestra la evaluación de biomasa de una parcelación con cobertura de bosque fragmentado, la aplicación de las ecuaciones de Yepes, Chave, Álvarez y Anhulo Diaz el cual permitió estimar la biomasa aérea con base en parámetros como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total del árbol (HT) y la densidad de la madera (ρ) viendo cual ecuación se ajusta mejor a los datos según la cobertura (Apéndice A).

Figura 8

Biomasa por especie en Bosque fragmentado



La ecuación propuesta por Álvarez (2012) es la que mejor se ajusta al modelo, adaptada específicamente para este tipo de bosques fragmentados, con un porcentaje de 80,45%. Este buen ajuste se explica por la composición de especies presentes, propias de un Bosque fragmentado debido a la intervención y el tipo de cobertura característico de la zona. Por otro lado, la ecuación de Yepes presenta un ajuste menor, con un coeficiente del 51,42%, ya que está diseñada para Bosques densos, y no refleja adecuadamente la composición y estructura de la vegetación del área estudiada.

5.2.3. Composición florística Bosque fragmentado

En el inventario realizado sobre las coberturas, se registraron 1859 individuos fustales. En total en la cobertura vegetal de Bosque fragmentado fueron registradas 81 especies de 69 géneros y 34 familias (Tabla 5). La especie más representativa fue *Schefflera morototoni*, con 402 individuos registrados, lo que la consolida como la especie dominante en la estructura del bosque evaluado. Le siguen en importancia *Bellucia pentamera* y *Cespedesia spathulata*, con 242 y 183 individuos respectivamente, evidenciando su significativa presencia en la composición florística local. Otras especies con abundancias notables son *Vismia macrophylla* (118 individuos), *Anacardium excelsum* (89), *V* (84), *Ficus insipida* (76), *Jacaranda hesperia* (70), *Spondias mombin* (66) y *Ochroma pyramidale* (59) como se observa en la Figura 9, (Apéndice A).

Figura 9

Riqueza de especies Bosque fragmentado

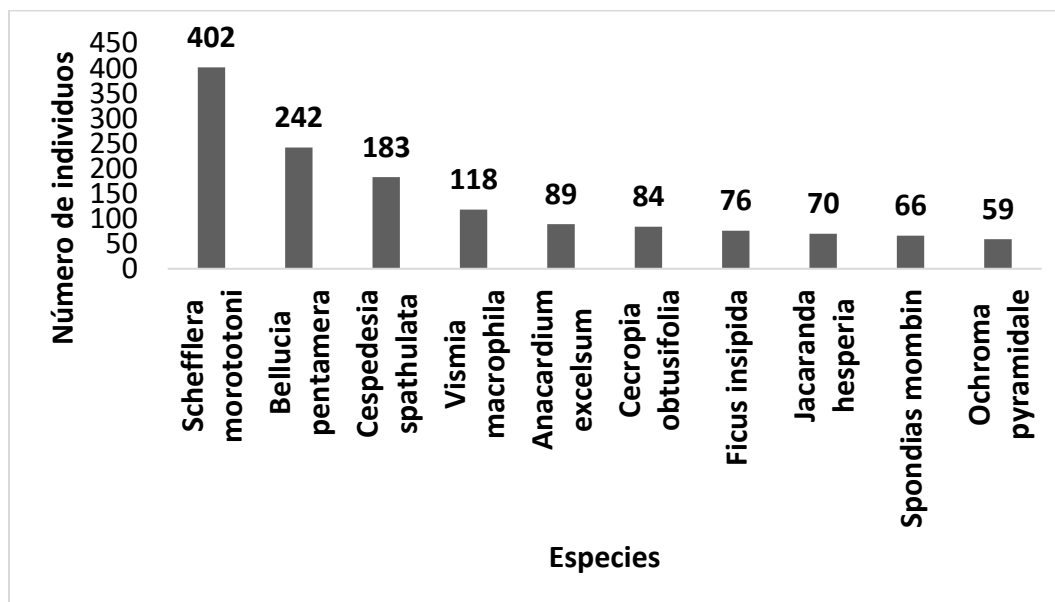
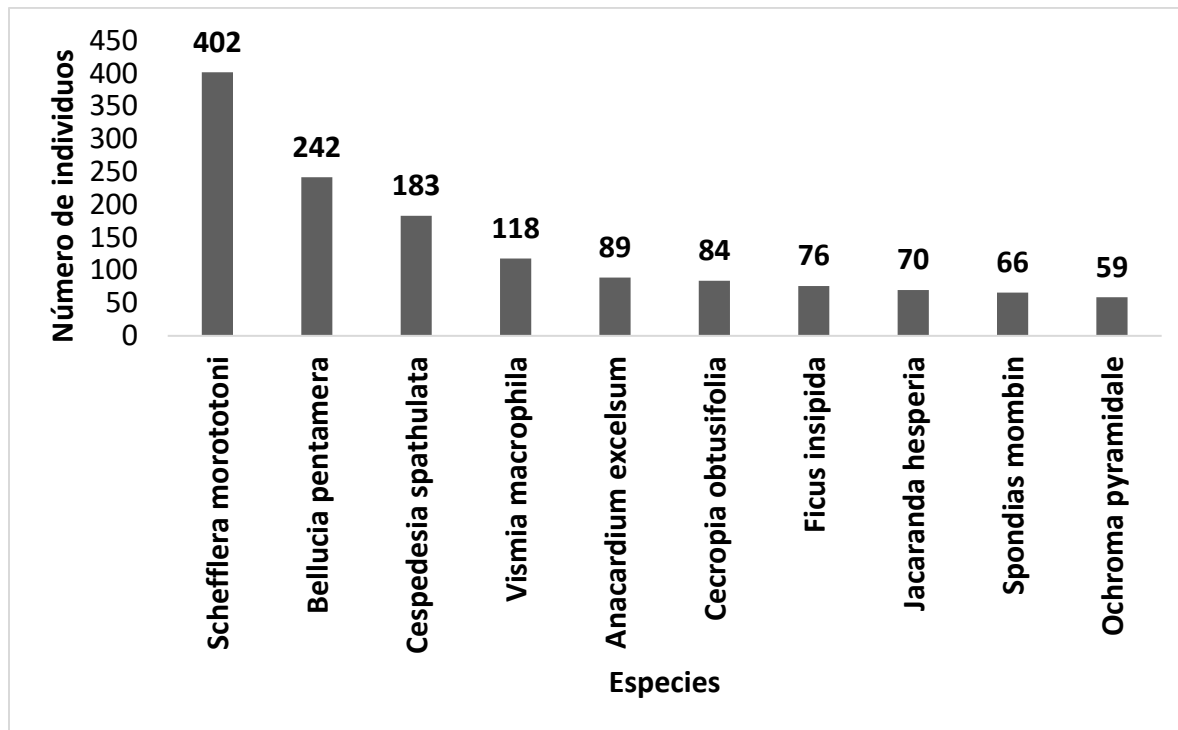


Tabla 5*Composición florística Bosque fragmentado*

Familia	N° Gen	N° Sp	N° Ind	
Araliaceae		1	1	402
Melastomataceae		1	1	242
Ochnaceae		1	1	183
Anacardiaceae		4	5	161
Hypericaceae		1	2	158
Fabaceae		14	18	138
Malvaceae		7	7	123
Bignoniaceae		1	2	100
Moraceae		4	6	88
Urticaceae		2	2	87
Malpighiaceae		1	1	30
Bixaceae		1	2	28
Meliaceae		1	1	18
Euphorbiaceae		4	4	16
Polygonaceae		1	2	14
Salicaceae		1	1	12
Lauraceae		2	2	8
Arecaceae		2	2	7
Muntingiaceae		1	1	7
Phyllanthaceae		2	2	6

Familia	N° Gen	N° Sp	N° Ind
Simaroubaceae	1	1	6
Elaeocarpaceae	1	2	5
Cannabaceae	1	1	4
Caryocaraceae	2	2	3
Sapindaceae	3	3	3
Sapotaceae	1	1	2
Actinidiaceae	1	1	1
Annonaceae	1	1	1
Apocynaceae	1	1	1
Burseraceae	1	1	1
Lamiaceae	1	1	1
Rubiaceae	1	1	1
Rutaceae	1	1	1
Violaceae	1	1	1
Total 34	69	81	1859

5.2.3.2. Estructura horizontal Bosque fragmentado. Para realizar el análisis de estructura horizontal se evaluó el comportamiento de los fustales respecto a los parámetros de abundancia o número de individuos de cada especie, la frecuencia en las que aparece la especie, la dominancia o la sumatoria de áreas basales de cada especie; como se ha mencionado, la sumatoria de los valores relativos de estos parámetros conforman el IVI de cada especie, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10*IVI % Bosque fragmentado*

Destacan por su alta abundancia y valores ecológicos las especies *Schefflera morototoni* (Araliaceae) con 402 individuos (21,62% del total y un IVI de 64,87%), *Bellucia pentamera* (Melastomataceae) con 242 individuos (13,02% y IVI de 39,05%), y *Cespedesia spathulata* (Ochnaceae) con 183 individuos (9,84% y IVI de 29,53%).

Otras especies relevantes por su importancia ecológica y representatividad son *Vismia macrophylla* (Hypericaceae) con 118 individuos (6,35% y IVI de 19,04%), *Ficus insipida* (Moraceae) con 76 individuos (4,09% y IVI de 12,26%), y *Anacardium excelsum* (Anacardiaceae) con 89 individuos (4,79% y IVI de 14,36%).

El IVI evidencia la dominancia ecológica de estas especies en la composición y estructura del Bosque, reflejando su rol clave en los procesos ecológicos locales.

5.2.3.2 Cociente de mezcla Bosque fragmentado. En el censo realizado se reportaron un total de 1859 individuos que corresponden a 81 especies, a partir de esta información se calculó el cociente de mezcla. De acuerdo con un valor de 0,04 resultante del cociente, refleja un bosque con diversidad moderada, pero con signos de homogeneización, probablemente debido a las intervenciones antrópicas. Cuantas mayores limitaciones exista en el terreno, menor será el cociente de mezcla, para la cobertura evaluada, se puede indicar que es posible encontrar una especie nueva cada aproximadamente 23 individuos. Por lo tanto, la escala de mezcla obtenida resalta el requerimiento de implementar estrategias de restauración ecológica y conectividad biológica que promuevan el aumento de la diversidad y la heterogeneidad, elementos clave para la sostenibilidad y funcionalidad de los remanentes boscosos.

5.2.4. Área basal y volúmenes Bosque fragmentado

En un área de 47 ha, de la cobertura vegetal de Bosque fragmentado se presenta un volumen total de 631,33 m³ y 323,01 m³ de volumen comercial, con un área basal conjunta de 82,82 m² (Figura 11). La especie que presenta mayor volumen total y comercial es *Ficus insipida* con valores de 119,89 m³ y 65,26 m³ para 76 individuos, mientras la especie *Anacardium excelsum* le sigue con volumen total de 82,84 m³ y comercial de 43,94 m³ con 89 individuos (Figura 12) (Apéndice A).

Figura 11

Volumen Total y Comercial Bosque fragmentado

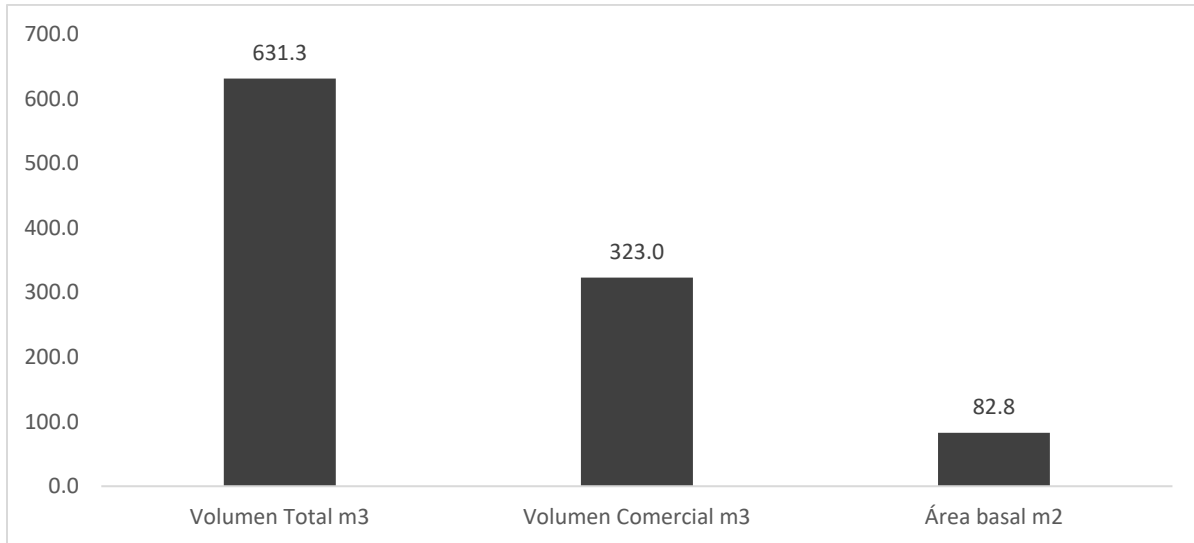
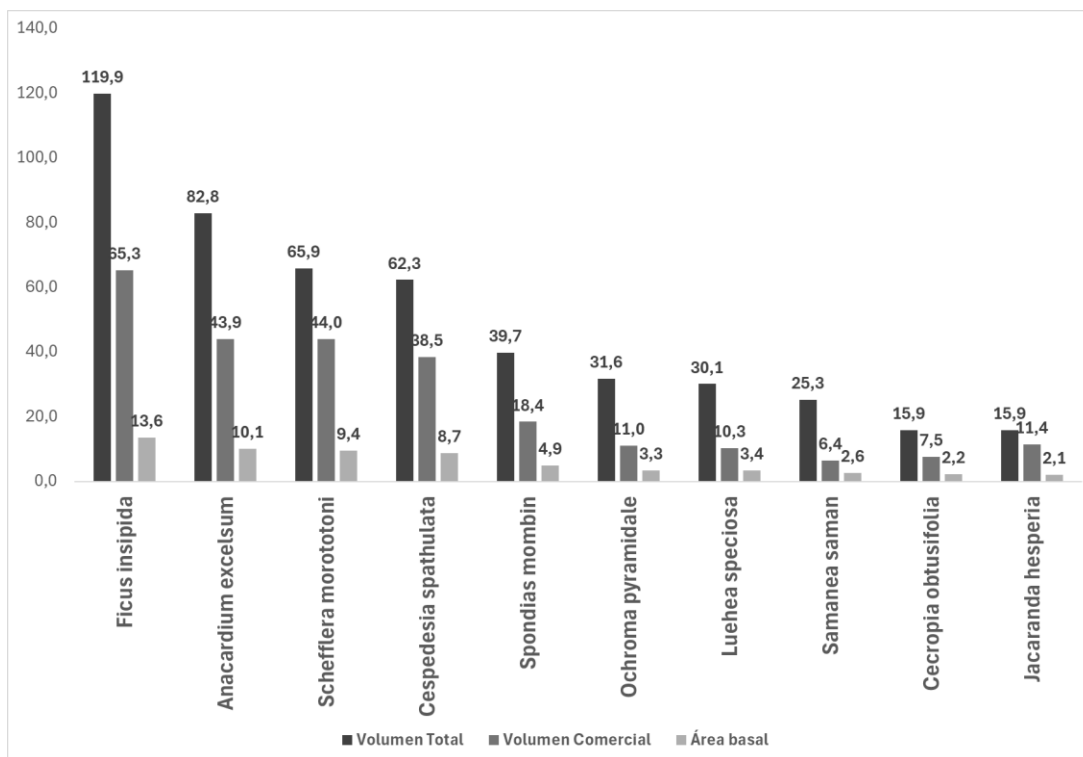


Figura 12

Especies con mayor Área basal y volumen Bosque fragmentado



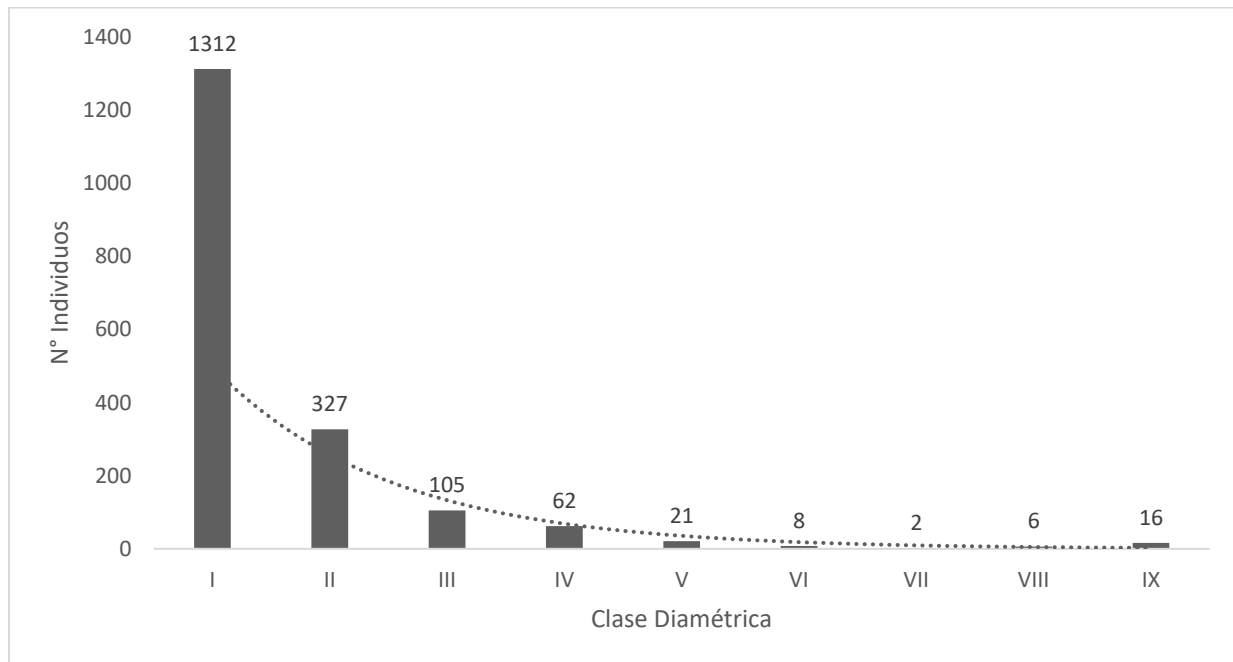
5.2.4.1 Distribución diamétrica. Para determinar la distribución diamétrica se agruparon los árboles inventariados en nueve categorías diamétricas con intervalos cada 9 cm (Tabla 10). muestra una clara estructura diamétrica con dominancia progresiva de árboles de menor tamaño.

De los 1,859 ejemplares estudiados, clasificados en nueve categorías con intervalos de 9 cm, destaca notablemente que las clases inferiores concentran la mayor parte de la población: la clase I (0-0,19 m) alberga 1,312 individuos (70,58% del total), mientras que la clase II (0,20-0,29 m) contiene 327 individuos (17,59%), sumando ambas casi el 90% de los árboles inventariados. La gradual reducción en el número de individuos conforme aumenta el diámetro -desde los 1,312 árboles en la primera categoría hasta únicamente 16 ejemplares con diámetros superiores a 0,90 m- evidencia un ecosistema donde los mecanismos naturales de regeneración, competencia y selección operan eficientemente.

Tal estructura garantiza la capacidad del Bosque para mantener su composición, biodiversidad y funciones ecosistémicas a largo plazo, asegurando su resiliencia y sostenibilidad ecológica frente a perturbaciones naturales.

Figura 13

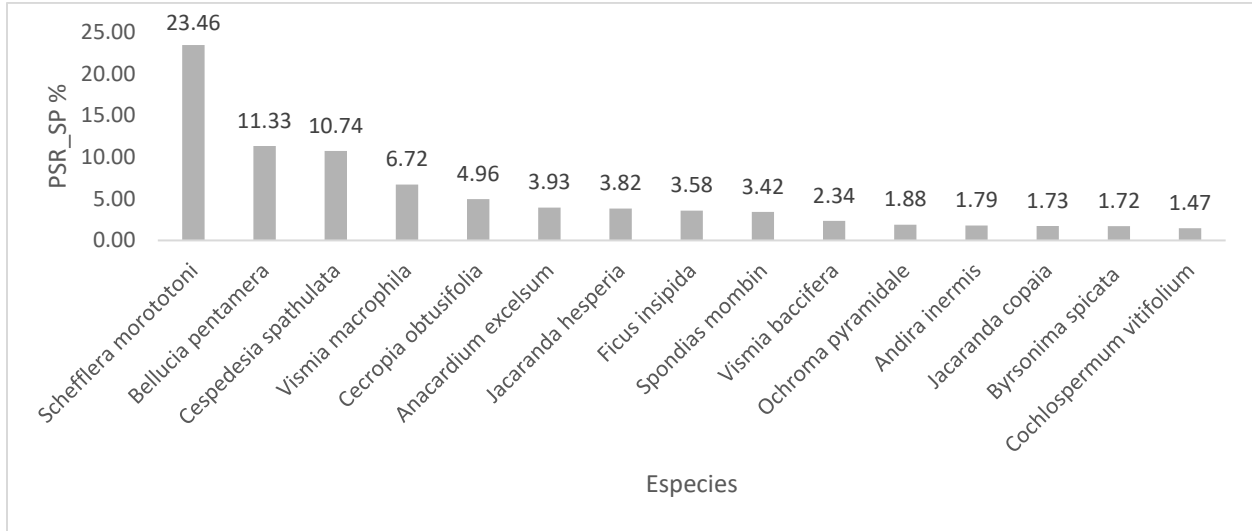
Clase diamétrica para fustales Bosque fragmentado



5.2.4.2 Posición sociológica Bosque fragmentado En la Figura 14, se muestra la evaluación de la posición sociológica relativa porcentual (PSR_SP %) de las especies arbóreas presentes en un ecosistema de Bosque fragmentado, revelan una marcada dominancia de *Schefflera morototoni* con un valor de PSR_SP de 23,46%, lo que indica su papel como especie estructuralmente dominante, *Bellucia pentamera* (11,33%) y *Cespedesia spathulata* (10,74%), las cuales representan el segundo y tercer lugar en términos de posición sociológica. Estas especies, junto con *Vernonia macrophylla* (6,72%) y *Cecropia obtustolia* (4,96%), conforman el estrato de especies co-dominantes que contribuyen significativamente a la estructura del Bosque fragmentado.

Figura 14

Posición sociológica porcentual por especie en Bosque fragmentado



5.2.5. Modelos tridimensionales ilustrativos por especie de las parcelas muestreadas Bosque

Ripario

Se presentan los modelos tridimensionales detallados por especie correspondientes a las parcelas muestreadas en el Bosque Ripario. Estos modelos permiten visualizar de manera precisa la estructura espacial y composición de la vegetación, se facilita el análisis de la distribución y densidad de las especies riparias (Apéndice Q, L y V).

Figura 16

Modelado 3D Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque Ripario



Figura 17

Modelado 3D Vista en Horizontal Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque Ripario

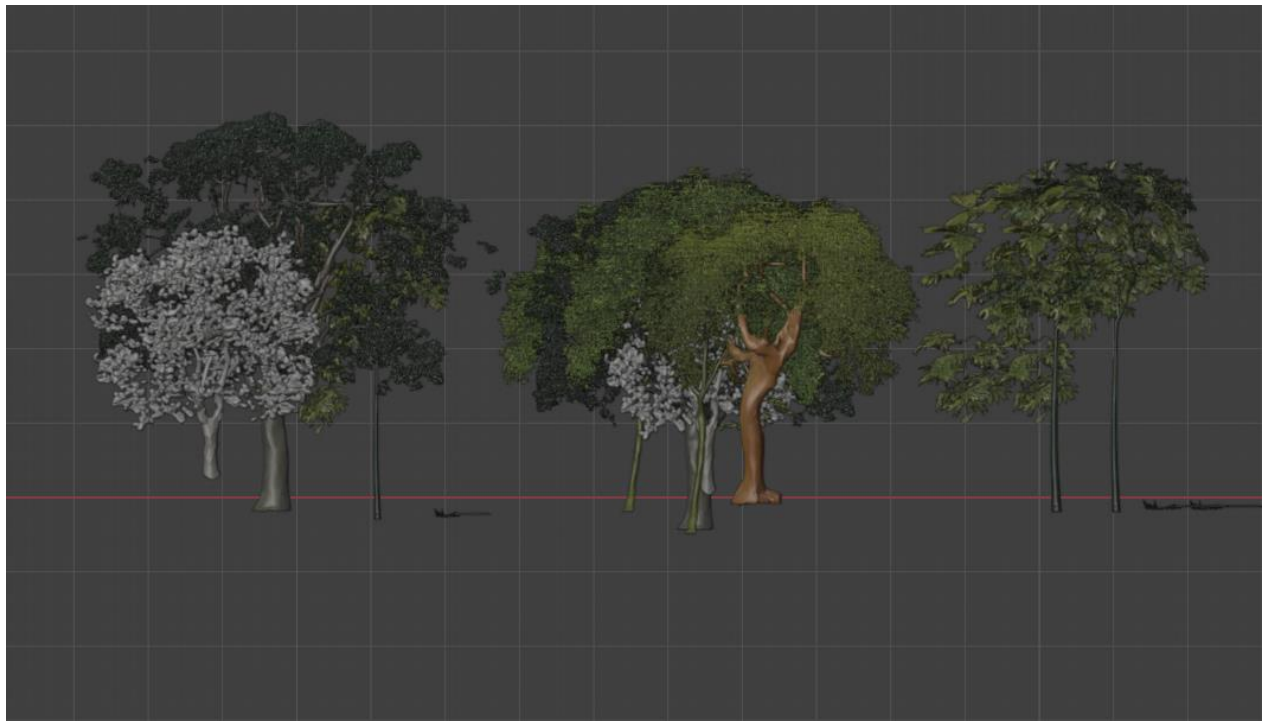


Figura 18

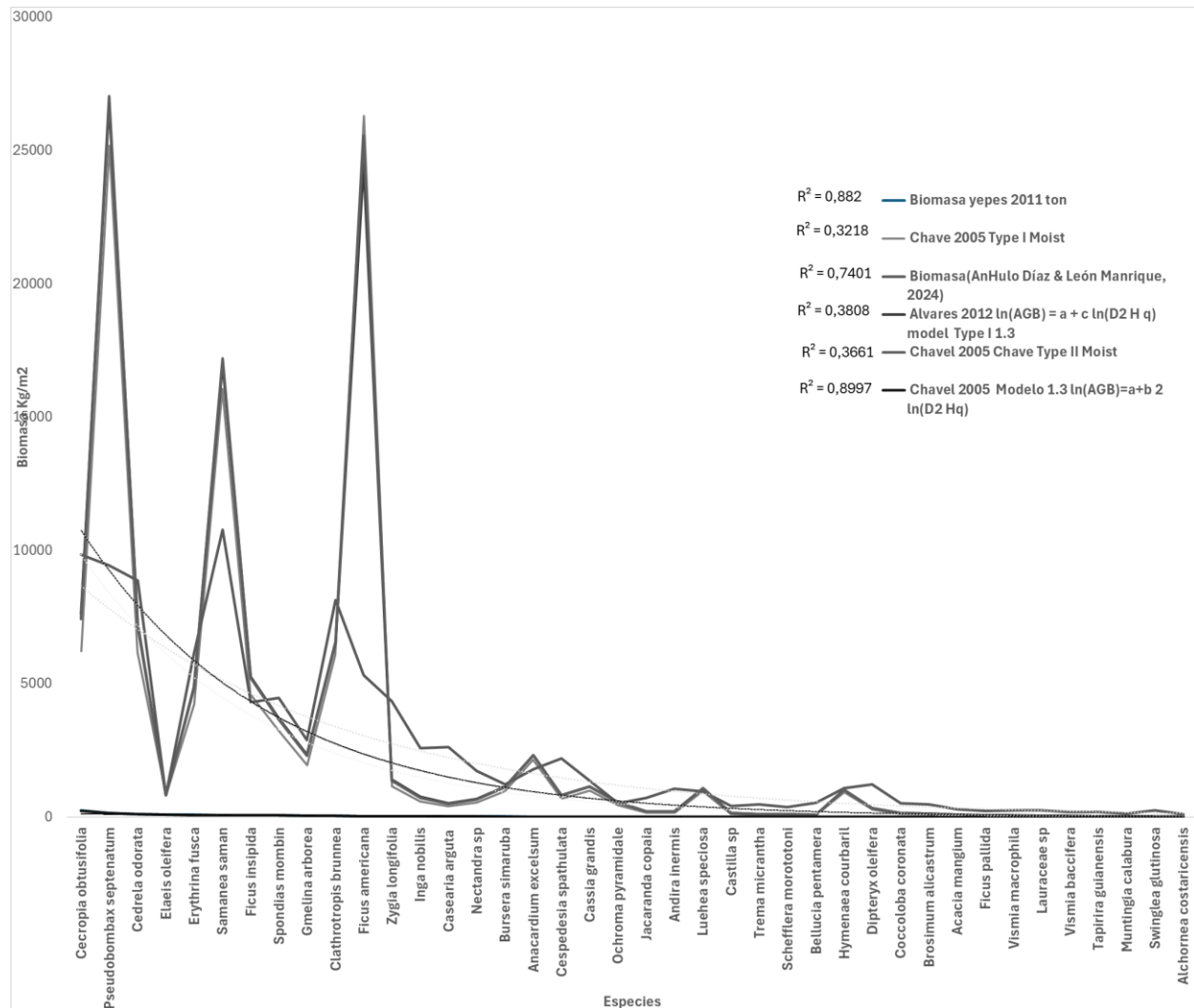
Modelado 3D Vista Superior en Parcelas de verificación coberturas forestales Bosque Ripario

**5.2.6. Biomasa Bosque Ripario**

En la Tabla 12, se muestra la evaluación de biomasa de una parcelación con cobertura de Bosque Ripario, la aplicación de la ecuación de Yepes permite estimar la biomasa aérea con base en parámetros como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total del árbol (HT) y la densidad de la madera (ρ) (Apéndice B).

Figura 19

Biomasa por especie en Bosque Ripario



La ecuación modelo 1.3 de Chave es la que presenta el mejor ajuste al modelo con un coeficiente de 89,9%, mostrando una alta precisión para la estimación en bosque ripario. La ecuación de Yepes también demuestra un buen ajuste, con un porcentaje de 88,2%, seguida por la ecuación de Anhulo Díaz, que alcanza un ajuste del 74,01%, reflejando una buena adaptación a los datos. Por el contrario, la ecuación de Álvarez no logra un ajuste tan representativo, alcanzando solo un 38,08%, lo que indica una menor adecuación para estos datos específicos.

5.2.7. *Composición florística Bosque Ripario*

En el inventario realizado sobre la cobertura vegetal de Bosque Ripario, se registró un total de 270 individuos fustales, distribuidos en 40 especies pertenecientes a 40 géneros y 21 familias. Se evidencia la marcada desigualdad en la abundancia de especies lo que puede indicar disturbios en su estructura.

La especie más representativa es *Cecropia obtusifolia*, con 61 individuos registrados, lo que la consolida como la especie dominante en la estructura del Bosque evaluado. Le siguen en importancia *Pseudobombax septenatum* (25 individuos), *Cedrela odorata* (22), *Erythrina fusca* (17), y *Spondias mombin* (16). Estas especies presentan una notable presencia en la composición florística local, constituyendo el núcleo de especies más abundantes, la mayoría de las especies presentan abundancias bajas, con valores entre 5 y 14 individuos, como es el caso de *Ficus insipida* (14), *Samanea saman* (12), *Gmelina arborea* (9), y otras especies como *Clathrotropis brunnea*, *Casearia arguta*, *Inga nobilis*, *Zygia longifolia*, *Nectandra sp*, *Bursera simaruba* y *Ficus americana*, todas con menos de 10 individuos cada una (Apéndice B).

Figura 20

Riqueza de especies Bosque Ripario

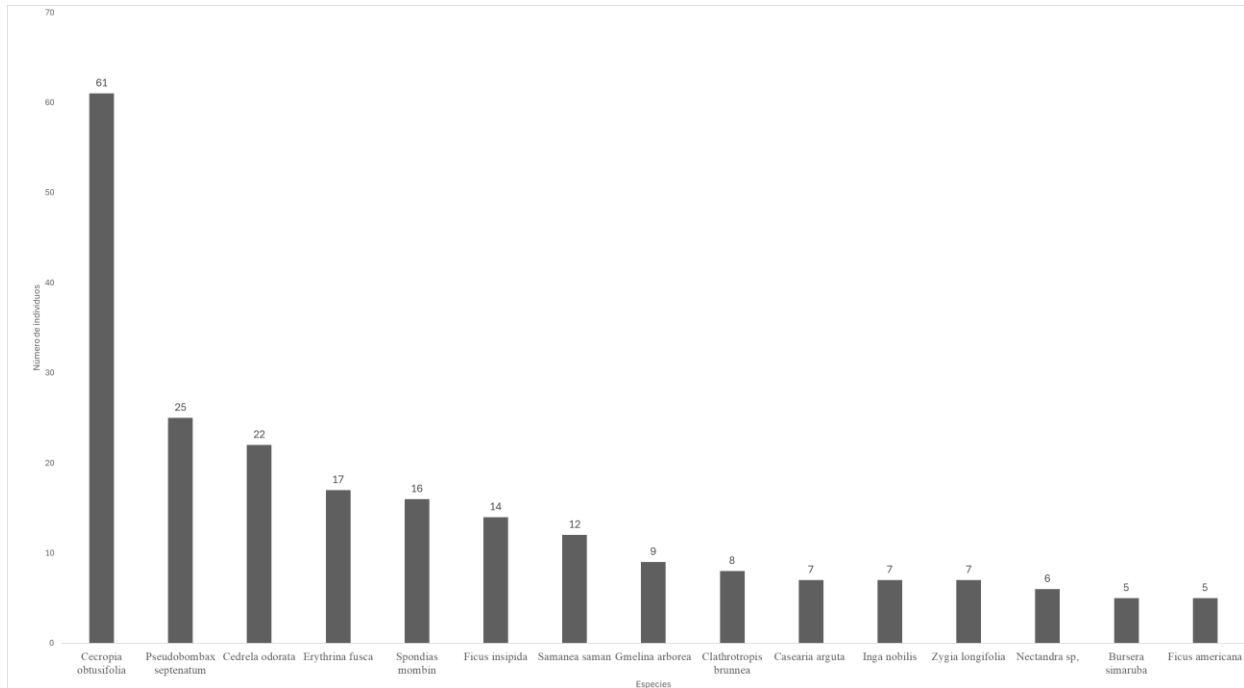


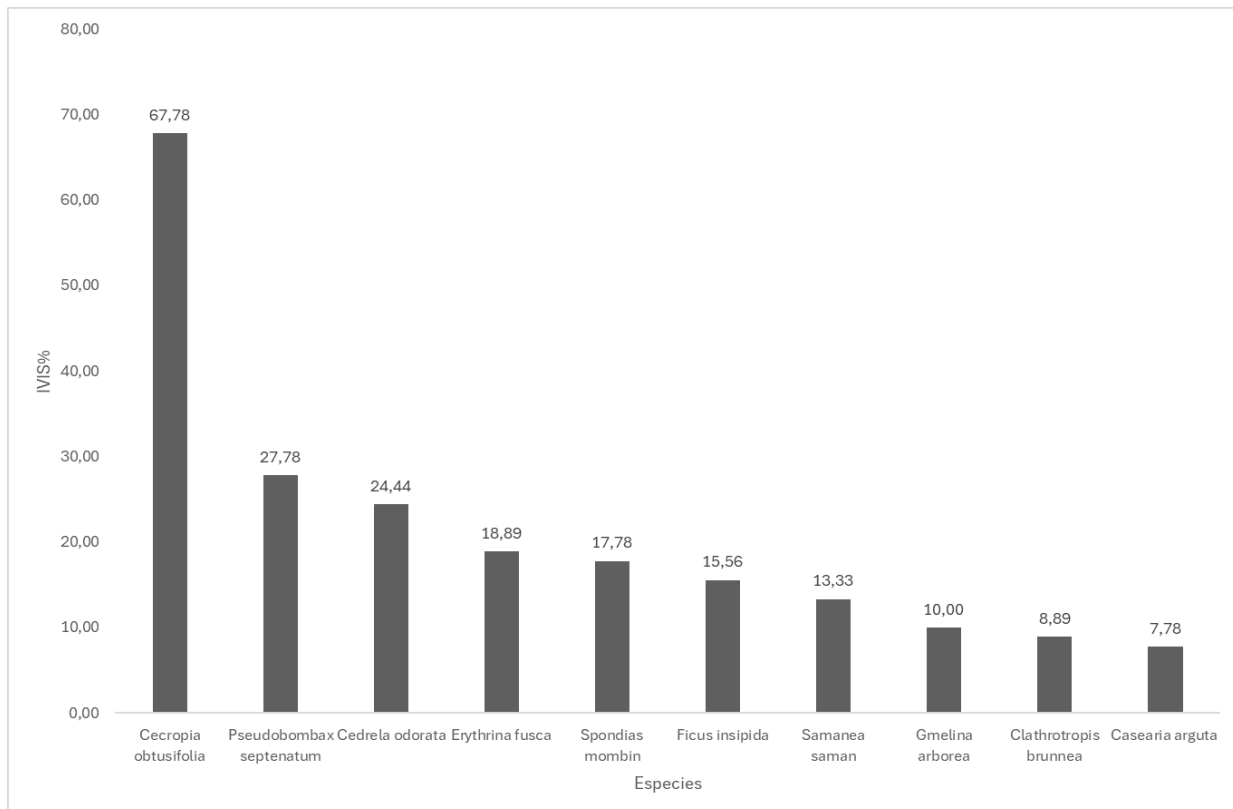
Tabla 6

Composición florística Bosque Ripario

Familia	N° Gen	N° Sp	N° Ind	
Anacardiaceae		3	3	21
Araliaceae		1	1	2
Arecaceae		1	1	3
Bignoniaceae		1	1	4
Burseraceae		1	1	5
Cannabaceae		1	1	3
Euphorbiaceae		1	1	1

Familia	N° Gen	N° Sp	N° Ind
Fabaceae	10	10	60
Hypericaceae	1	2	2
Lamiaceae	1	1	9
Lauraceae	2	2	7
Malvaceae	3	3	30
Melastomataceae	1	1	2
Meliaceae	1	1	22
Moraceae	3	5	24
Muntingiaceae	1	1	1
Ochnaceae	1	1	4
Polygonaceae	1	1	1
Rutaceae	1	1	1
Salicaceae	1	1	7
Urticaceae	1	1	61
Total general	37	40	270

5.2.7.1 Estructura horizontal Bosque Ripario. Para realizar el análisis de estructura horizontal se evalúan el comportamiento de los fustales respecto a los parámetros de abundancia o número de individuos de cada especie, la frecuencia en las que aparece la especie, la dominancia o la sumatoria de áreas basales de cada especie; como se ha mencionado, la sumatoria de los valores relativos de estos parámetros conforman el IVI de cada especie, como se muestra en la Figura 21.

Figura 21*IVI % Bosque Ripario*

Destaca de manera sobresaliente *Cecropia obtusifolia*, con un IVI de 67,78%, consolidándose como la especie dominante. Este valor indica que *Cecropia obtusifolia* no solo es la más abundante, sino también la más frecuente y dominante en términos de área basal, lo que le otorga un papel central en la estructura y dinámica del Bosque Ripario, siendo una especie de sucesión secundaria lo cual puede indicar perturbación, regeneración del Bosque Ripario lo que puede encajar con los indicativos. Le siguen en importancia *Pseudobombax septenatum* (27,78%) y *Cedrela odorata* (24,44%) lo que puede indicar introducción de especies maderables como cerca viva, o intervención antrópica, a su vez especies que también presentan una alta representatividad ecológica y contribuyen significativamente a la composición florística local.

Otras especies relevantes por su IVI son *Erythrina fusca* (18,89%), *Spondias mombin* (17,78%), *Ficus insipida* (15,56%), y *Samanea saman* (13,33%). Estas especies, aunque con valores de IVI menores, desempeñan un papel importante en la estabilidad y funcionamiento del ecosistema, actuando como co-dominantes y aportando a la diversidad estructural. muestra que la mayoría de las especies presentan valores de IVI inferiores al 10%, como *Gmelina arborea* (10,00%), *Clathrotropis brunnea* (8,89%) y *Casearia arguta* (7,78%). Este patrón es característico de Bosques fragmentados, donde pocas especies concentran la mayor parte de la importancia ecológica, mientras que la mayoría mantienen una presencia marginal.

5.2.7.2. Cociente de mezcla Bosque Ripario. En el censo realizado se registraron un total de 270 individuos distribuidos en 40 especies diferentes. Con base en esta información, se procedió al cálculo del cociente de mezcla, obteniendo un valor de 0,1481, se estima que por cada 6 a 7 individuos censados aparece una nueva especie.

Este valor sugiere la presencia de una diversidad moderada, aunque comienza a evidenciarse cierta tendencia a la homogeneización estructural y composicional del Bosque, posiblemente atribuible a factores de presión antrópica, como la fragmentación del hábitat, actividades agrícolas o ganaderas en las zonas aledañas, o alteraciones en el régimen hidrológico.

5.2.8. Área basal y volúmenes Bosque Ripario

En un área de 6 ha, de la cobertura vegetal de Bosque Ripario se presenta un volumen total de 284,47 m³ y un volumen comercial de 108,15 m³, con un área basal conjunta de 30,96 m² correspondiente a 270 individuos distribuidos en 40 especies diferentes, se identifica a *Pseudobombax septenatum* como la especie dominante, al presentar un volumen total de 89,70 m³ y un volumen comercial de 41,59 m³, esta especie se destaca no solo por su volumen, sino también

por su amplia área basal (8,02 m²), lo que indica individuos de gran tamaño, *Ficus americana*, con un volumen total de 60,87 m³ y comercial de 19,63 m³, mostrando también una fuerte contribución estructural (área basal de 5,67 m²). Otras especies relevantes por su volumen son *Samanea saman* (28,61 m³ totales y 8,87 m³ comerciales), *Cecropia obtusifolia* (22,16 m³ totales) y *Ficus insipida* (13,74 m³ totales). (Figura 23) (Apéndice B).

Figura 22

Área basal y Volumen Total Ripario

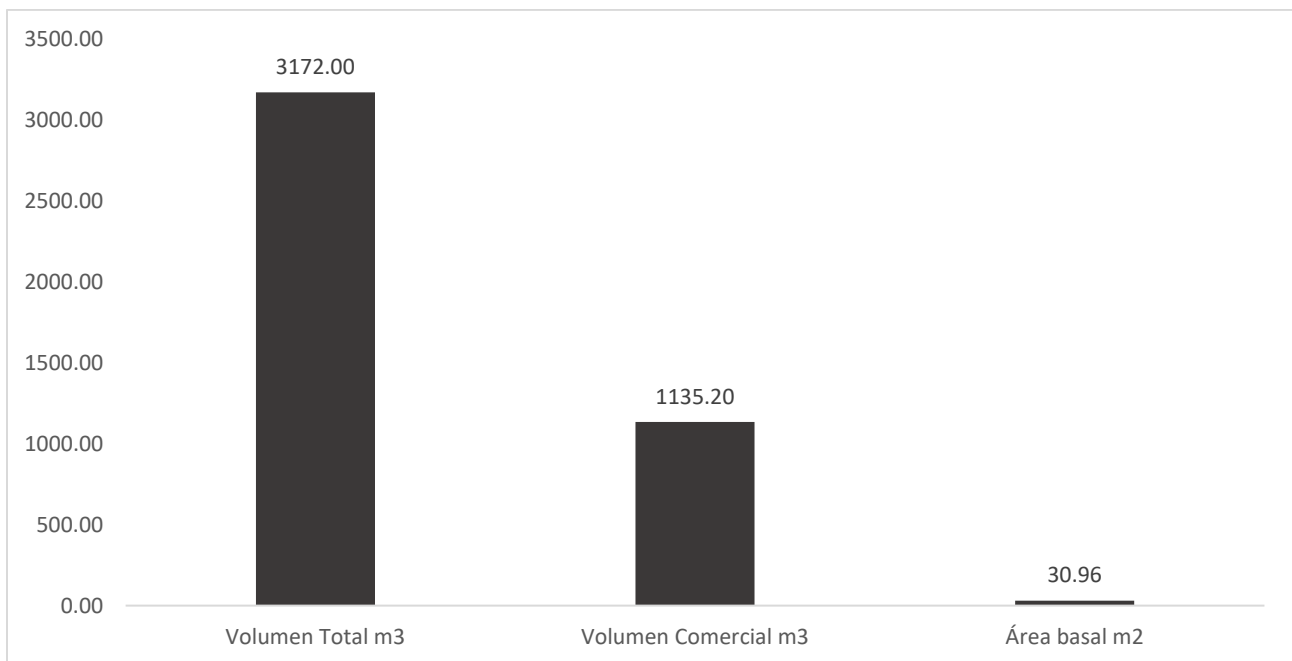
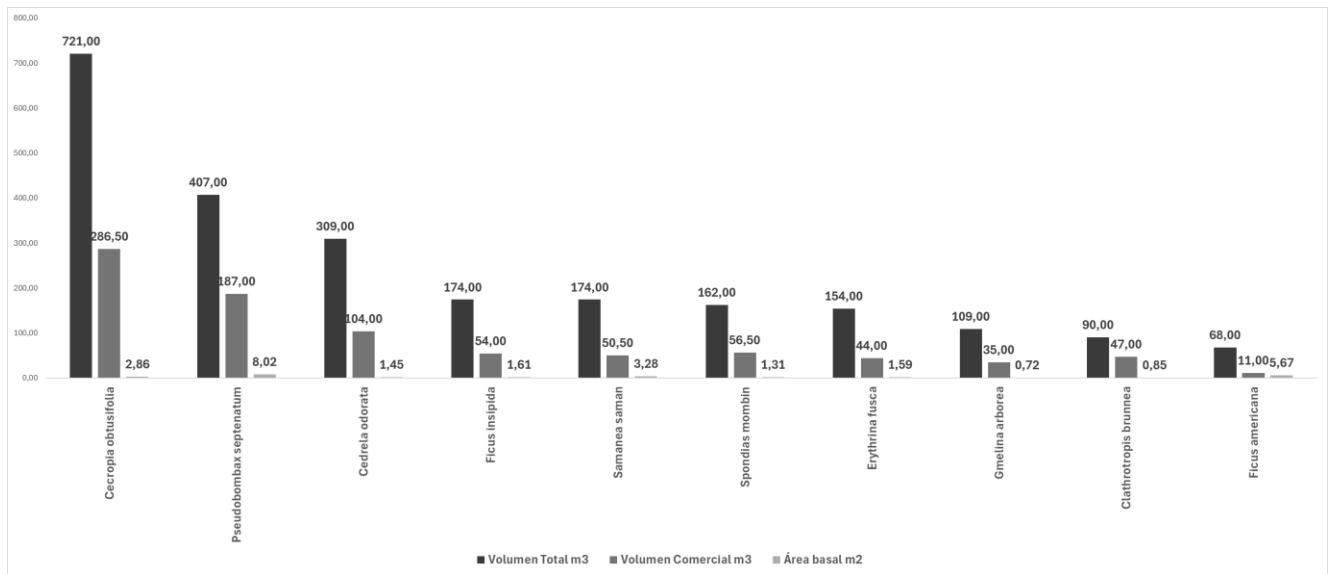


Figura 23

Especies con mayor Área basal y volumen Bosque Ripario

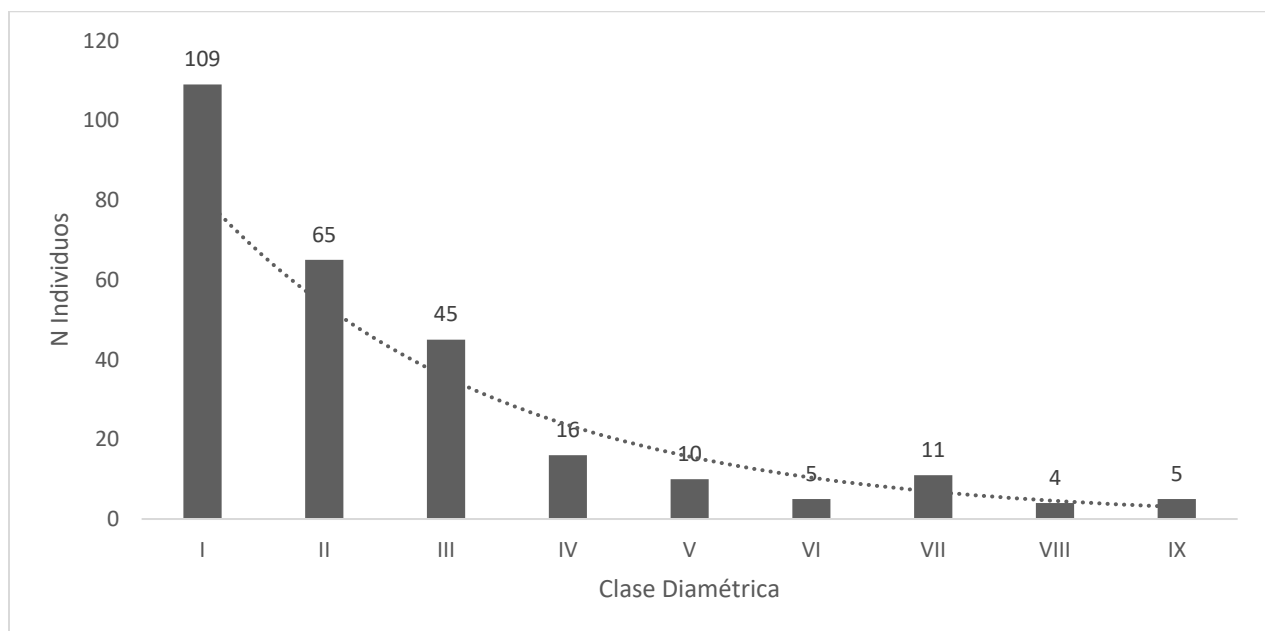


5.2.8.1 Clases diamétricas Bosque Ripario. Para determinar la distribución diamétrica se agruparon los árboles inventariados en nueve categorías diamétricas con intervalos cada 9 cm (Tabla 10). muestra una clara estructura diamétrica con dominancia progresiva de árboles de menor tamaño. De los 270 ejemplares estudiados, clasificados en nueve categorías con intervalos de 9 cm, destaca notablemente una clara dominancia de árboles en las clases diamétricas más bajas, lo cual refleja una estructura poblacional joven y en proceso de regeneración. La Clase I (0–0,19 m de diámetro) concentra 109 individuos, equivalentes al 40,37% del total. Le sigue la Clase II (0,20–0,29 m) con 65 individuos (24,07%), y la Clase III (0,30–0,39 m) con 45 individuos (16,66%). Estas tres primeras clases concentran en conjunto el 81,1% de la población arbórea, lo que evidencia una marcada tendencia hacia la dominancia de árboles jóvenes y delgados.

En contraste, las clases diamétricas superiores —aquellas con diámetros mayores a 0,50 m— muestran una presencia notablemente reducida. Por ejemplo, la Clase IX (>0,90 m) apenas cuenta con 5 individuos (1,85%), lo que resalta la escasa presencia de árboles de gran porte en el área evaluada.

Figura 24

Clase diamétrica para fustales Bosque Ripario

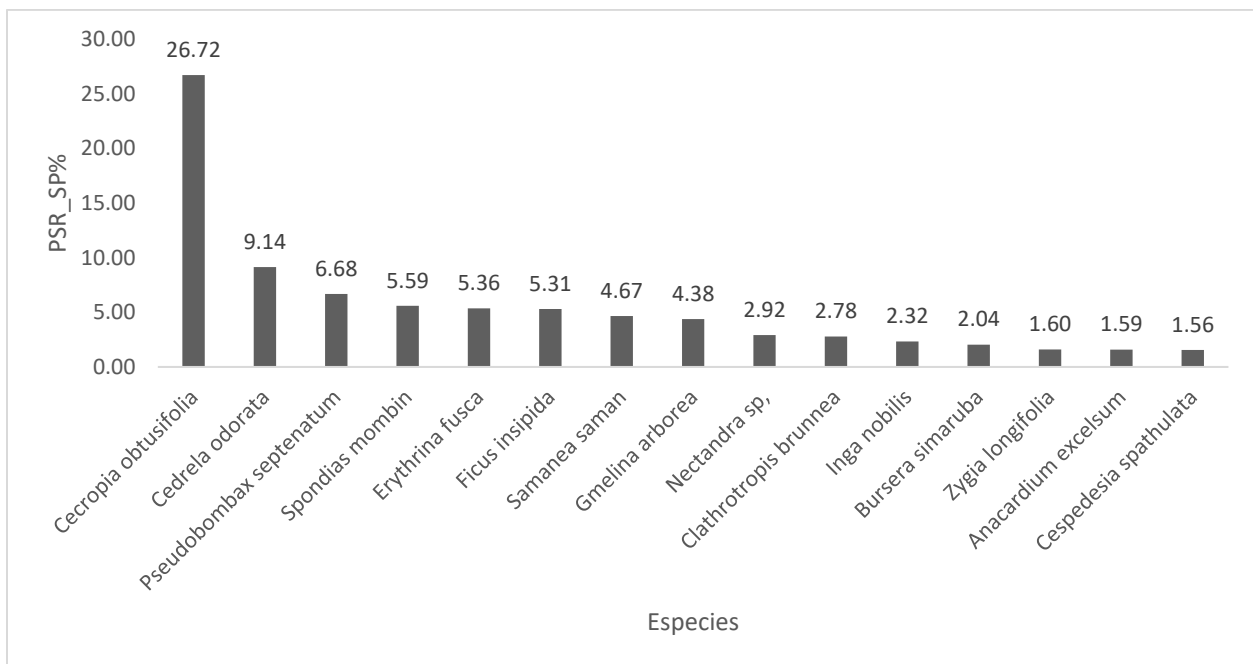


5.2.8.2 Posición sociológica. En la Figura correspondiente se presenta la evaluación de la posición sociológica relativa porcentual (PSR_SP %) de las especies arbóreas registradas en el ecosistema de Bosque Ripario. Los resultados muestran una marcada dominancia de *Cecropia obtusifolia*, con un valor de PSR_SP de 26,72%, lo que la posiciona como la especie estructuralmente más dominante del sistema. Esta especie pionera, asociada a ambientes perturbados o en sucesión temprana, cumple un papel clave en la cobertura arbórea del Bosque, actuando como especie sombrilla y facilitadora de procesos sucesionales, en segundo lugar,

Cedrela odorata registra un PSR_SP de 9,14%, seguida por *Pseudobombax septenatum* (6,68%), *Spondias mombin* (5,59%) y *Erythrina fusca* (5,36%), especies que conforman el grupo de co-dominantes dentro del ecosistema. Estas especies, al igual que *Ficus insipida* (5,31%) y *Samanea saman* (4,67%), contribuyen significativamente a la estructura del dosel, representando elementos funcionales claves para la conectividad estructural del Bosque.

Figura 25

Posición sociológica porcentual por especie en Bosque Ripario



5.3 Apoyo en la elaboración de Planes de Manejo Ambiental (PMA) para el manejo, uso, aprovechamiento y restauración de Bosques en el área de estudio

El objetivo final a apoyar la elaboración de Planes de Manejo Ambiental (PMA) orientados al manejo, uso sostenible, aprovechamiento responsable y restauración de los Bosques presentes en el área de estudio. Este apoyo incluyó la integración de información técnica y ambiental obtenida en campo, actualización de coberturas y fichas de manejo, así como el análisis de las

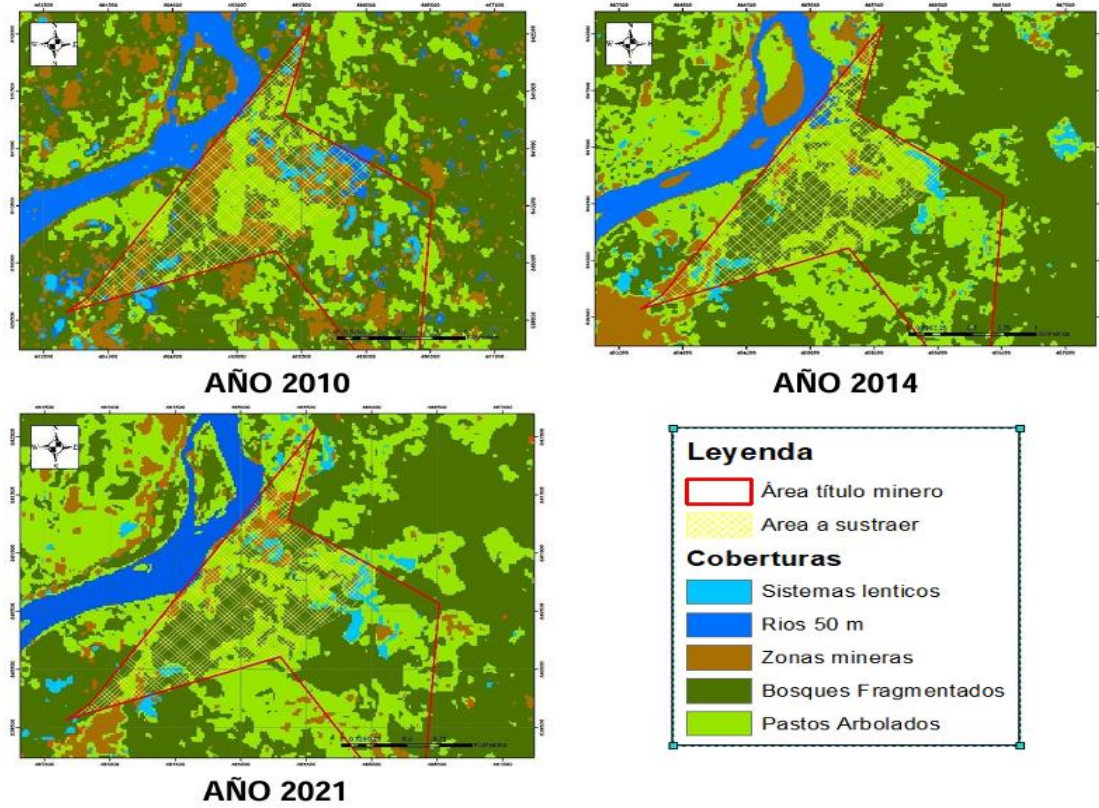
condiciones actuales del ecosistema forestal, con el fin de diseñar estrategias que promuevan la conservación y recuperación de los recursos naturales. La contribución al PMA facilita la toma de decisiones basadas en evidencia.

5.3.1 Caracterización de coberturas periodo 2025

Los estudios de coberturas identificadas en el área de interés mediante el control y seguimiento de los proyectos desarrollados en distintos periodos (2010, 2014 y 2021). Estos antecedentes reflejan la caracterización de coberturas vegetales y usos del suelo dentro del título minero y el área a sustraer, siendo la base para el análisis ambiental del proyecto (Figura 4). La cartografía de coberturas antecedentes proviene de información suministrada por ICMINA SAS, asociada al proyecto, y permite evidenciar la distribución de sistemas lénticos, ríos, zonas mineras, Bosques fragmentados y pastos arbolados. es importante precisar que las coberturas no han presentado cambios sustanciales; sin embargo, a partir del periodo 2022 se han venido actualizando y mejorando para una mejor percepción del proyecto y del territorio, estas a través del presente documento fueron actualizadas y mejoradas en mayor detalle, manteniendo coherencia con la información de ICMINA SAS, con el fin de contar con una representación más precisa y actualizada de la zona (Apendice P).

Figura 26

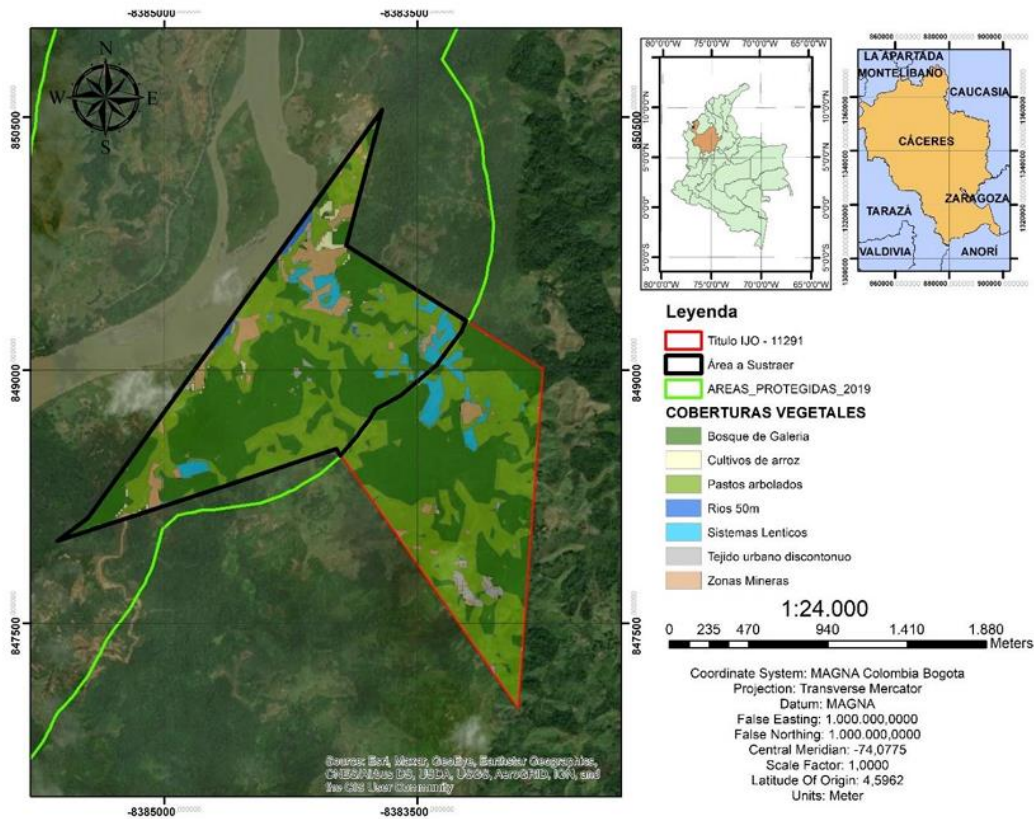
Cartografía de coberturas antecedentes



Nota. Cartografía de ICMINA SAS información asociada al proyecto

Figura 27

Coberturas establecidas para el periodo 2022



Nota. Cartografía de ICMINA SAS información asociada al proyecto

Se llevó a cabo el levantamiento y caracterización del estado actual de las coberturas vegetales para el año 2025 (Figura 10) a través de imágenes satelitales de los proveedores de Esri y Satelites de Maxar 2025 mejorados a una resolución de 50 cm por pixel a través del software SAS PLANET y verificados con imágenes Planetscope 2025 del mes de junio (Figura 11), se observó la condición actual de dichas coberturas en el área de estudio (Tabla 4). Este proceso

incluyó la actualización del inventario forestal, visita de verificación de las coberturas (Tabla 5), con especial énfasis en el análisis de las coberturas forestales Bosque de galería y Ripario y Bosque fragmentado, apoyando en la formulación de estrategias específicas y la adecuada implementación de los planes de manejo forestal, orientados a la conservación y restauración de los ecosistemas considerados (Figura 12) (Apéndice T).

Figura 28

Imagen satelital Esri satélite, modificación software SASGIS resolución 50 cm píxel WGS 84

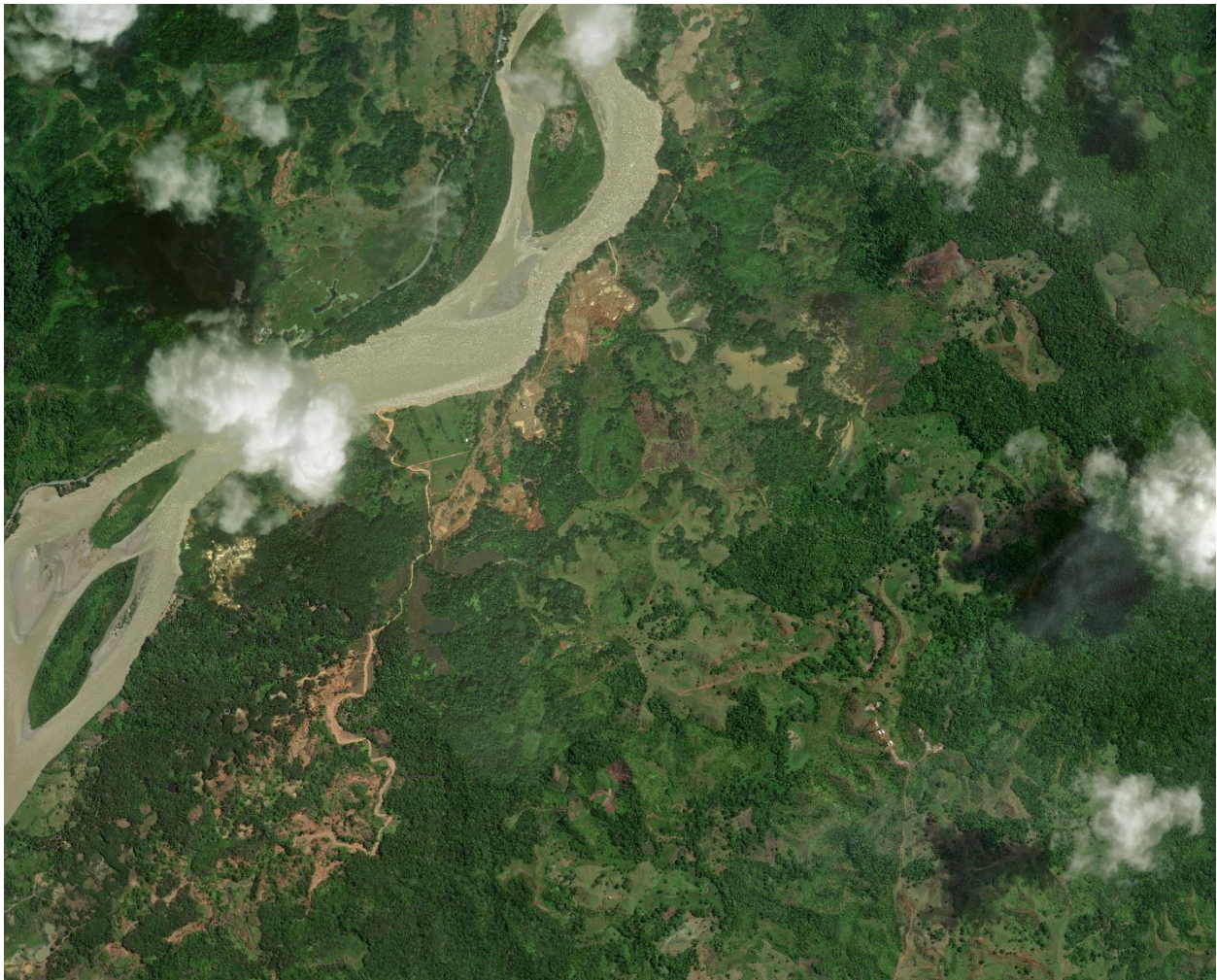


Figura 29

Imagen Planet scope L15-0595E-1067N Junio 2025 resolución 3 m por píxel



Figura 30

Caracterización del estado actual de las coberturas vegetales 2025

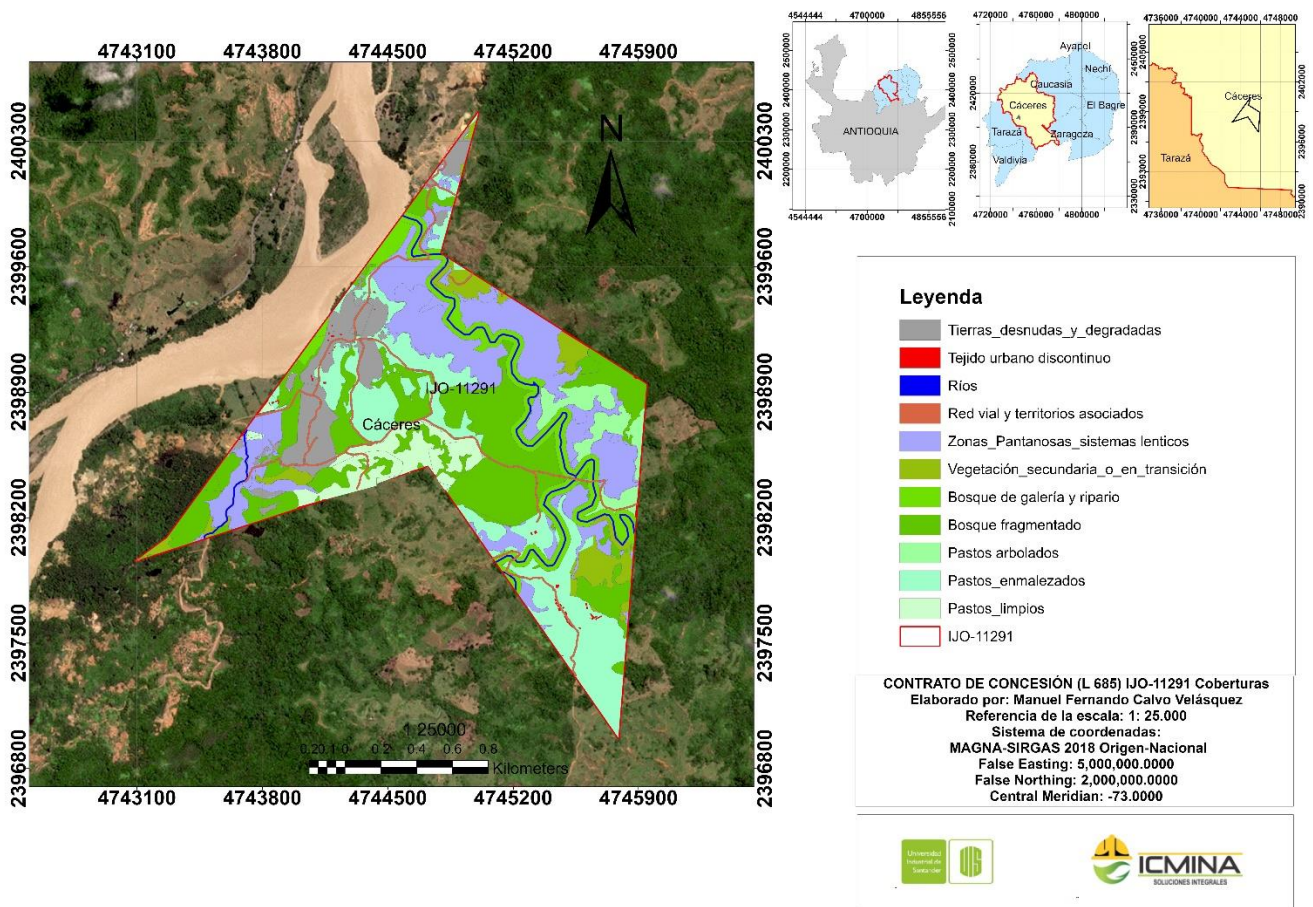


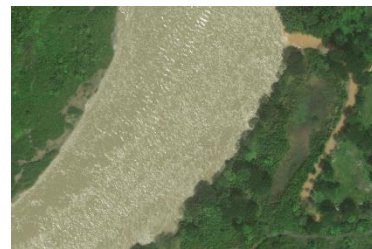
Tabla 7

Verificación Coberturas 2025 escala 1:2000 resolución 50 cm por píxel

Verificación Coberturas 2025 escala 1:2000 resolución 50 cm por píxel



Zonas Pantanosas – sistemas lenticos



Ríos



Pastos arbolados



Pastos enmalezados



Tejido urbano discontinuo



Pastos limpios



Tierras desnudas o degradadas



Vegetación secundaria o en transición

Tabla 8

Coberturas identificadas en campo

Bosque fragmentado



Bosque Ripario



Zonas Pantanosas -Sistemas Lenticos



Tierras desnudas o degradadas



Pastos Limpios



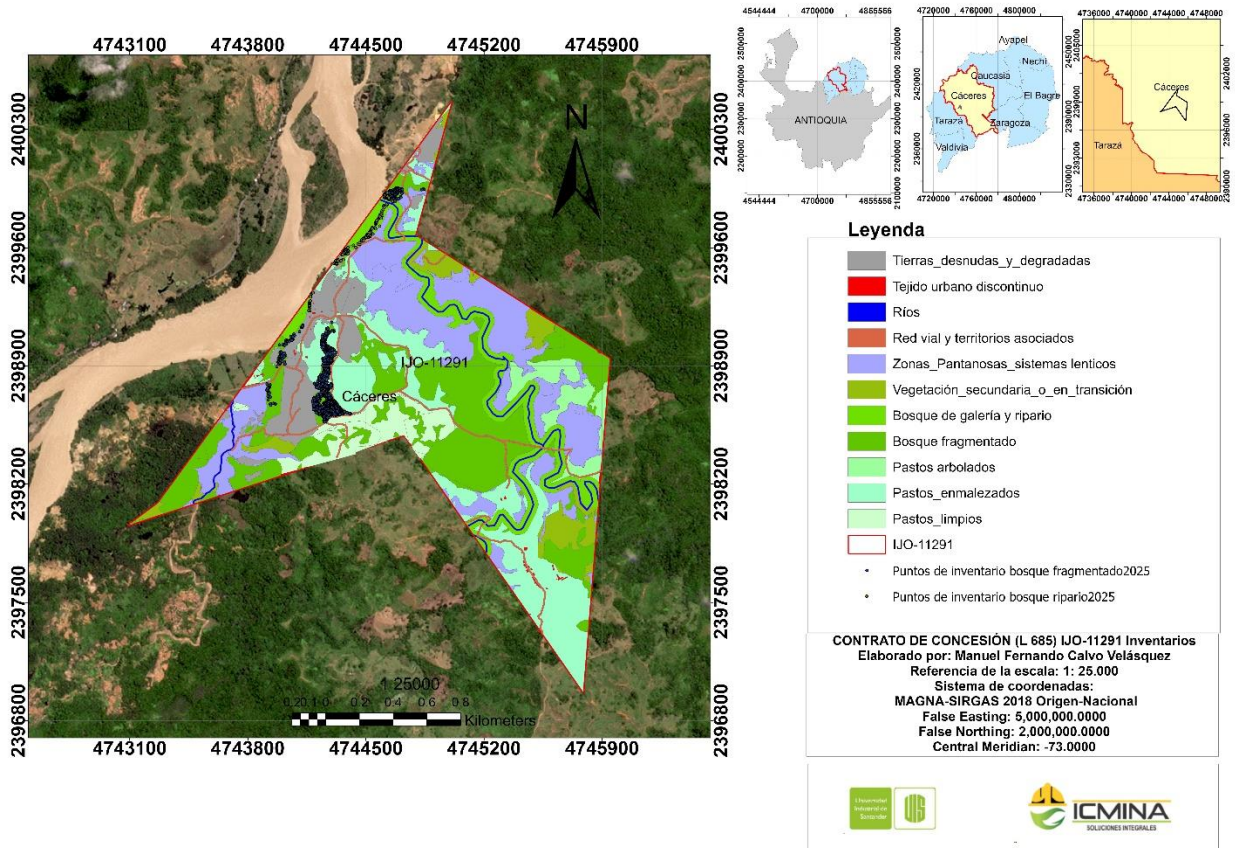
Pastos Enmalezados



Se pudo observar la llegada de especies pioneras, pastos, y especies menores en las áreas intervenidas observando una capacidad alta de revegetalización de estas zonas, a través de procesos de regeneración natural pasiva, donde se observan especies como *Mimosa pudica*, *Solanus subirerme*, *Vismia baccifera*, *Acacia mangium*, *Ochroma pyramidale* y *Cecropia obtusifolia* (Apéndice U).

Figura 31

Inventario coberturas forestales Bosque de galería y Ripario y Bosque fragmentado



5.3.2 Fichas del Plan de Manejo de áreas intervenidas.

Se desarrollaron las fichas técnicas del Plan de Manejo Ambiental (PMA) para las áreas intervenidas por el proyecto, con el propósito de establecer medidas claras y efectivas que permitan mitigar los impactos generados sobre el suelo y la vegetación nativa, incluye una estrategia integral de manejo de las áreas intervenidas, orientada a la reconfiguración morfológica del terreno y a la revegetación con especies nativas que favorezcan la recuperación ecológica y la sucesión vegetal natural.

Figura 32

Fichas de Manejo asociadas a Pérdida de suelos por aumento de procesos erosivos y modificación de las propiedades físico-químicas del suelo.

Recuperación de Suelos de áreas intervenidas							
Etapa							
Operación, Abandono y Cierre.							
Objetivo general							
Establecer medidas de control y recuperación de suelos intervenidos por las actividades extractivas de minerales.							
Objetivos específicos							
Disminución de la pérdida de suelos y aumento de la cobertura vegetal.							
Impacto a gestionar							
Pérdida de suelos por aumento de procesos erosivos y modificación de las propiedades físico-químicas del suelo							
Metas del programa							
Mejoramiento de las propiedades físico-químicas del suelo.							
Tipo de medida ambiental							
A. Prevenió	X	B. Mitiga ción	X	C.	X	D. Compensa ción	

n				Corrección n			
<p>Descripción detallada de la medida</p> <p style="text-align: center;">1. Retiro de la Vegetación</p> <p style="text-align: center;">Eliminación de la Vegetación</p> <p>Para llevar a cabo el proceso de descapote en las zonas necesarias (teniendo en cuenta que gran parte del área del proyecto ya fue modificada desde la etapa de exploración), será indispensable disponer una franja limpia de vegetación donde se instalarán las estructuras civiles. En esta tarea, se emplearán motosierras para el aprovechamiento de la vegetación, mientras que una excavadora servirá para extraer las raíces y acumular la materia orgánica, la cual se destinará para la producción de compost que favorecerá la restauración del suelo. La madera útil será aprovechada dentro del mismo proyecto. Para el adecuado manejo de la vegetación retirada se aplicarán las siguientes acciones:</p> <p>El sitio destinado al almacenamiento será definido conjuntamente por el líder del proyecto y la división ambiental, cuidando que no se mezcle con sustancias peligrosas ni se contamine con suelo estéril.</p> <p>El material se acumulará en capas separadas (pasto sobre pasto, tierra sobre tierra), no superando una altura de 1.5 metros y siempre sobre una superficie plana que permita evitar la compactación.</p> <p>La manipulación se realizará con el material en condiciones de humedad baja.</p> <p>Se prohibirá el tránsito de maquinaria o vehículos sobre el material almacenado.</p>							

El material deberá protegerse para evitar daños por agua, viento y exposición solar directa, aplicándose riegos temporales para conservar la humedad necesaria.

2. Remoción del Suelo Orgánico

La capa de suelo orgánico en los predios del proyecto asciende a los 0,30m en algunos lugares que no se ha realizado intervención directa. Esta será la profundidad promedio a extraer como suelo para garantizar la separación completa entre éste y el subsuelo y de esta manera hacer el manejo adecuado en la depositación, encima de los terrenos a recuperar. El suelo se removerá con un buldócer, acumulando la carga en el lugar definido por el líder y los responsables ambientales.

El suelo orgánico retirado y acopiado recibirá aireación periódica que permita el intercambio gaseoso y la oxigenación del material y también se le adicionará abono para mejorar las propiedades orgánicas del mismo una vez sea reutilizado para recuperar el terreno intervenido

Las medidas de manejo para el suelo orgánico son:

- El retiro de la capa de suelo se realizará cuidadosamente para evitar la muerte de la microfauna, la contaminación con sustancias peligrosas y suelo fértil. Además se evitará su compactación y la pérdida por erosión hídrica o eólica, así como evitar la alteración del ciclo de los compuestos nitrogenados.
- Para evitar la compactación, el suelo se manipulará cuando este seco (contenido de humedad inferior al 35 %), evitar el paso de la maquinaria sobre él y almacenarlo teniendo en cuenta las alturas de los montículos recomendadas.
- El suelo orgánico almacenado se protegerá contra la acción erosiva del agua, y el aire, y contra riesgos de contaminación. Este material siempre estará señalizado y en lo posible confinado con un dique que impida el arrastre y humedecimiento por el agua de escorrentía
- Las pilas de suelo se orientarán de tal forma que se exponga la menor dimensión a la acción del viento.
- Se cubrirá el material removido si no se reutiliza o se dispondrá de forma inmediata, para evitar fenómenos de erosión y arrastre de material por viento o escorrentía hacia los cuerpos de

<p>agua cercanos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica se dispondrá en zonas libres de inundaciones, de baja pendiente, fuera de drenajes superficiales y en pilas con su menor dimensión en la dirección del viento. - El material de descapote se utilizará en la revegetalización de las áreas intervenidas a medida que avancen las actividades de recuperación.
--

Figura 33

Fichas de Manejo asociadas a Corregir el impacto causado por el desbroce de las áreas intervenidas por el proyecto y sus áreas de apoyo.

Manejo de áreas intervenidas
Etapa
Adecuación del terreno, Operación, Abandono y Cierre.
Objetivo general
Corregir el impacto causado por el desbroce de las áreas intervenidas por el proyecto y sus áreas de apoyo.
Objetivos específicos
Establecer las coberturas vegetales una vez se haya recuperado morfológicamente las áreas intervenidas.
Generar medidas que garanticen la sucesión vegetal.
Impacto a gestionar
Modificación de la cobertura vegetal.

Modificación de poblaciones de flora.							
Alteración del paisaje.							
Metas del programa							
Revegetar las zonas afectadas por el proyecto minero							
Tipo de medida ambiental							
A.		B.	X	C.	X	D.	
Prevenición		Mitigación		Corrección		Compensación	
n				n			
<p>Descripción detallada de la medida</p> <p>Como medida para remediar la intervención en cada frente del proyecto minero, se llevará a cabo la revegetación una vez concluida las labores de reconfiguración y, en ciertos casos, la formación de nuevas unidades geomorfológicas, con el objetivo de mitigar la alteración o pérdida de las propiedades físicoquímicas del suelo y cuerpos de agua dentro del área de influencia directa del título minero.</p> <p>Es importante destacar que este plan de manejo busca restaurar vegetativamente tanto las áreas ya intervenidas con infraestructura existente al momento de presentar el EIA, como aquellas que serán afectadas en fases futuras del proyecto. Este proceso de revegetación se ejecutará simultáneamente con la explotación, aplicando un cierre progresivo sobre las áreas afectadas.</p> <p>El propósito principal de esta revegetación es favorecer la conservación del ecosistema y promover la recuperación de las coberturas naturales. Para ello, se empleará la metodología establecida en el plan nacional de restauración ecológica, cuya descripción general se presenta a continuación:</p> <p style="text-align: center;">Protocolo de aplicación</p>							

Todo el proceso de restauración deberá estar supervisado por un biólogo especialista en botánica, quien garantizará el desarrollo adecuado de las actividades, la calidad del material vegetal y evitará la introducción o proliferación de especies exóticas o invasoras. Este profesional realizará visitas de seguimiento trimestrales durante la fase de establecimiento.

Se suspenderán todas las actividades humanas no relacionadas con la restauración para favorecer la regeneración natural y prevenir daños al proyecto, lo cual incluye la remoción manual o mecánica (guadañadoras, machetes, etc.) de la vegetación herbácea.

Se instalarán cercas alrededor de todos los polígonos de revegetación. Si estos polígonos se cruzan con caminos, se cercarán ambos lados para impedir el ingreso de personas o animales que puedan afectar la restauración.

Las zonas con riesgo de deslizamientos se estabilizarán mediante la implementación de curvas de nivel.

Se construirá un vivero con las condiciones adecuadas: germinadores apropiados, drenajes eficientes para evitar encharcamientos, protección contra exposición excesiva al sol y capacidad para albergar al menos el 70% de las plantas que el proyecto requiera en simultáneo. El número total de plántulas se determinará según el área a restaurar, conforme a lo detallado en la sección 0 del plan de manejo.

Se sembrarán únicamente especies nativas en áreas intervenidas con poca o ninguna vegetación dentro de los polígonos destinados a restauración. La selección del número de individuos y especies se basará en las características del terreno y la cobertura vegetal existente. El plan de siembra deberá ser presentado para su aprobación a la autoridad ambiental competente, quien verificará el origen nativo de las especies y la adecuación del número de plantas al área.

Las plántulas podrán obtenerse a partir de:

- Brinzales provenientes de bosques aledaños.

- Plántulas germinadas de semillas recolectadas de árboles en potreros o bosques cercanos.

No se permitirán especies introducidas, es decir, árboles o plantas no nativas de la zona. Solo se considerarán plántulas adquiridas en viveros comerciales que cumplan esta condición. Se procurará maximizar la diversidad de especies conforme disponibilidad del material vegetal para promover la heterogeneidad en el área de compensación.

Los ejemplares rescatados deben tener alturas entre 0,3 m y 1,5 m para optimizar la supervivencia; luego se deben mantener en vivero al menos dos meses antes de la plantación definitiva. Las plantas deberán medir al menos 0,4 m al momento de su siembra en campo.

La siembra se realizará preferiblemente en temporada de lluvias para minimizar el riesgo de desecamiento; si no es posible, se implementarán riegos según necesidad.

Para asegurar la sostenibilidad de la revegetación, se efectuará monitoreo continuo para detectar problemas, aplicar correcciones, evitar pérdidas y replantar ejemplares que no prosperen adecuadamente.

Será indispensable mantener un control fitosanitario permanente. Ante cualquier ataque de plagas, se tomarán medidas inmediatas.

Condiciones técnicas para la siembra

- Densidad recomendada: 1000 árboles por hectárea, ajustada según espacios libres y geomorfología.

- Altura mínima de las plantas: entre 0.40 y 0.60 metros; todas deben ser especies nativas.
- Limpieza previa del sitio de plantación, despejando un área de 0,80 a 1 metro de diámetro de herbáceas que compitan.
 - Marcación precisa de los puntos de siembra con cintas o cuerdas y estacas.
- Cada hoyo tendrá aproximadamente 0.40 m x 0.40 m de profundidad, ajustándose al tamaño de la planta para que el cuello de la raíz quede nivelado o levemente hundido respecto a la superficie, favoreciendo la retención de humedad.
- Fertilización previa, uno o dos días antes de la plantación, con materia orgánica como humus de lombriz u otro abono orgánico, para mejorar suelo y desarrollo.
 - Al plantar, retirar cuidadosamente la bolsa de la plántula sin deshacer el sustrato, cortar raíces que sobresalgan, ubicar en el hoyo y rellenar, compactando ligeramente para eliminar bolsas de aire.

Mantenimiento de la revegetación

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015), las labores de mantenimiento comprenden:

- Control de plántulas de especies invasoras, eliminándolas manualmente desde el primer año trimestralmente, y luego semestralmente. Esto se realizará en toda el área de actuación.
- Desyerbe y manejo de matorrales para evitar competencia excesiva o riesgo de incendios, aplicando laboreo selectivo, principalmente en zonas secas o con alta densidad de herbáceas.
 - En zonas húmedas con presencia de enredaderas y herbáceas, se realizarán escardas alrededor de cada planta.
- Reposición de plantas muertas durante los dos primeros años, con un margen de hasta 10% de pérdidas permisibles, plantando en lugares diferentes sin extraer las plantas muertas para facilitar rebrote y evitar repetición del daño.
- Evaluación anual de mortalidad vegetal, con muestreos aleatorios y reportes que contemplen las causas de muerte.

- En zonas con fuerte viento, realizar aporcamiento manual para proteger las raíces y evitar daños por desecación.
- Podas para favorecer la dominancia apical, realizadas al año, y posteriores para controlar el desarrollo de ramas laterales en los años 3 y 6. También podas correctivas si los tallos principales se doblan.
- Reparación y mantenimiento de cercas y postes para protección contra animales, con periodicidad semestral el primer año y bienal posteriormente.
- Revisión y mantenimiento anual de obras complementarias (zanjas, trampas de semillas, entre otras) durante dos años, después bienalmente.
- Realización de inventarios anuales de flora y fauna en las áreas restauradas para monitorear la biodiversidad y evaluar la ganancia o pérdida con respecto a las condiciones iniciales del EIA.

Figura 34

Fichas de Manejo asociadas a Corregir el impacto causado por el desbroce de las áreas intervenidas por el proyecto y sus áreas de apoyo.

Compensación Por Pérdida de Biodiversidad
Etapa
Abandono y Cierre.
Objetivo general
Compensación total de las áreas propuestas y entrega a la autoridad ambiental
Objetivos específicos

<p>Compensar las coberturas vegetales intervenidas por el desarrollo del proyecto atendiendo las tasas de compensación correspondientes según las planteadas en el Anexo 1 del Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad.</p> <p>Favorecer los procesos de conectividad de las coberturas vegetales de la zona a partir de procesos de restauración ecológica.</p>							
<p>Impacto a gestionar</p>							
<p>Pérdida de cobertura vegetal</p> <p>Afectación de especies sensibles</p> <p>Afectación de hábitats</p> <p>Afectación de comunidades faunísticas</p>							
<p>Metas del programa</p>							
<p>Generar estrategias que prioricen la conservación de zonas con equivalencia ecosistémica o con algún grado de importancia ecológica ubicadas en el área de influencia indirecta del proyecto.</p>							
<p>Tipo de medida ambiental</p>							
A.		B.		C.		D.	X
Prevenición		Mitigación		Corrección		Compensación	
<p>Descripción detallada de la medida</p>							

Conforme al "Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad" de 2014, se establecieron los factores de compensación respectivos para el distrito biogeográfico correspondiente a cada ecosistema y tipo de cobertura natural. En este manual se indica que, para las áreas cubiertas por vegetación secundaria con menos de 15 años, el factor de compensación equivale a la mitad del factor asignado a la cobertura boscosa propia de cada ecosistema.

Determinación de la Superficie a Compensar

Se presentan las áreas propuestas para compensar las intervenciones en las coberturas naturales, calculadas a partir del producto del factor de compensación, que varía según el ecosistema y cobertura vegetal, multiplicado por la extensión del área impactada por cobertura y su correspondencia ecológica.

Metodologías para la Compensación

Dado el alto valor ecológico de las áreas, caracterizadas por una diversidad significativa de flora y fauna, y la presencia de especies de alto valor para la conservación por su estado de amenaza o protección especial, la compensación por pérdida de biodiversidad deberá basarse fundamentalmente en actividades orientadas a la conservación. Esto implica implementar acciones que garanticen la protección de la biodiversidad y la funcionalidad ecosistémica en el área de influencia, promoviendo la preservación efectiva mediante conservación activa y medidas de manejo específicas.

6. Conclusiones

El estudio permitió realizar una caracterización integral del componente flora dentro del área de influencia del contrato de concesión minera IJO-11291 en el municipio de Cáceres, aportando información clave para la evaluación ambiental y la formulación de planes de manejo ambiental orientados a la conservación y restauración.

Se logró establecer inventarios forestales precisos mediante la implementación de parcelas tipo RAP modificadas, permitiendo identificar la composición florística, riqueza, estructura horizontal y vertical, así como la biomasa de las coberturas arbóreas predominantes, en especial del Bosque fragmentado y el Bosque Ripario. La diversidad registrada es moderada, con indicios de homogeneización.

Las especies dominantes y estructurales identificadas, como *Schefflera morototoni* en bosque fragmentado y *Cecropia obtusifolia* en bosque ripario, muestran una clara influencia en la dinámica y organización del ecosistema, desempeñando roles fundamentales en la funcionalidad ecológica y en la regeneración natural, evidenciada en la distribución diamétrica de los fustales.

La aplicación y comparación de diferentes ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea permitió seleccionar modelos adaptados a las condiciones específicas de la zona, siendo el modelo de Álvarez (2012) el que mejor ajustó para bosque fragmentado y el modelo 1.3 de Chave (2005) para bosque ripario.

El trabajo evidenció la importancia de implementar estrategias de restauración ecológica y medidas específicas para la recuperación de suelos intervenidos, revegetación con especies nativas y control de especies invasoras para fortalecer la conservación y conectividad biológica en la zona de influencia del proyecto.

Finalmente, esta investigación aporta un marco técnico sólido que facilita la toma de decisiones ambientales responsables, ofreciendo herramientas para la gestión sostenible y mitigación de impactos en proyectos extractivos en ecosistemas tropicales del Bajo Cauca Antioqueño, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y la funcionalidad ecosistémica regional.

7. Recomendaciones

Para garantizar el éxito de las estrategias de restauración ecológica en la zona de influencia del título minero IJO-11291, se debería monitorear en la fase de cierre y abandono, evaluar la evolución de la biodiversidad, la salud del ecosistema y la efectividad de las medidas adoptadas. La recopilación y análisis sistemático de datos sobre la dinámica poblacional de especies nativas y regeneración natural ayudara en la formulación de estrategias de regeneración pasiva de las zonas intervenidas y a dar una ilustración más visual del proyecto, se recomienda que los resultados del monitoreo sirvan de base para ajustar y optimizar las acciones de restauración, garantizando así un proceso adaptativo y sostenible.

Es esencial delimitar claramente la zona de compensación ambiental para establecer un área protectora con características ecosistémicas equivalentes que asegure la conservación y conectividad ecológica de los remanentes forestales. Esta área debe ser priorizada para la conservación activa, con la implementación de medidas que eviten la fragmentación y aseguren la integridad funcional del paisaje. Además, la definición de esta zona debe considerar criterios ecológicos, como la presencia de especies clave y la diversidad florística, y debe contar con la aprobación y coordinación de la autoridad ambiental competente.

Finalmente, fomentar la restauración pasiva de las zonas intervenidas mediante el estímulo de la proliferación natural de especies nativas es una estrategia eficiente para recuperar los procesos ecológicos y la heterogeneidad estructural del bosque. La siembra complementaria de plántulas nativas, obtenidas preferentemente de fuentes locales, debe integrarse de manera estratégica para acelerar la recuperación. Además, se debe mantener un monitoreo activo de la zona dando información técnica del avance y estado de las etapas del proyecto.

Referencias

- Alvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., de las Salas, G., del Valle, I., Lema, A., Moreno, F., Orrego, S., & Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>
- Angulo Díaz, D. S., & León Manrique, D. A. (2024, septiembre 27). Estimación de carbono retenido en zonas de restauración asistida de bosque seco tropical en el proyecto hidroeléctrico el Quimbo, Huila-Colombia. Edu.co. <https://repository.udistrital.edu.co/items/354bc048-1452-432e-9c8d-4280cc20114e>
- Apostol, B., Chivulescu, S., Ciceu, A., Petrila, M., Pascu, I.-S., Apostol, E. N., Leca, S., Lorent, A., Tanase, M., & Badea, O. (2018). Data collection methods for forest inventory: a comparison between an integrated conventional equipment and terrestrial laser scanning. *Annals of Forest Research*, 61(2), 189–202. <https://doi.org/10.15287/afr.2018.1189>
- Barrios Maturana, F., Bolilla Flórez, J. A., Martínez Guardia, M., & Medina Arroyo, H. H. (2007). Determinación del porcentaje de desperdicio en las labores de aprovechamiento forestal en un bosque pluvial tropical en el municipio de Medio San Juan, Chocó, Colombia. *Nova*, 5(8), 154. <https://doi.org/10.22490/24629448.384>
- Benayas, J. M. R., Bullock, J. M., & Newton, A. C. (2020). Enhancing ecosystem services through reforestation: A global review. *Ecological Applications*, 30(5), e02053. <https://doi.org/10.1002/eap.2053>
- Cardona, A., & Orrego, V. (2020). Minería ilegal en el Bajo Cauca antioqueño, impactos, causas y problemáticas. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/635>

- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Desarrollos Energéticos de Oriente S.A.S. E.S.P. (2018). Estudio de impacto ambiental para la pequeña central hidroeléctrica PCH El Retiro: Informe final, capítulo 1. Generalidades (Versión 2). https://corponor.gov.co/AudienciasPublicasAmbientales/2018/pch_elretiro/capitulos/CA-P%201_Generalidades.pdf
- Duarte, C. G., & Sánchez, L. E. (2020). Addressing significant impacts coherently in environmental impact statements. *Environmental Impact Assessment Review*, 82, 106373. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106373>
- FAO. (2020). Bosques andinos: Características y distribución. <https://www.fao.org/4/AD392S/AD392s10.htm>
- Ferretti, M., Fischer, C., Gessler, A., et al. (2024). Advancing forest inventorying and monitoring. *Annals of Forest Science*, 81(6). <https://doi.org/10.1186/s13595-023-01220-9>
- Gentry, A. H. (1982). Patterns of neotropical plant species diversity. In *Evolutionary Biology: Volume 15* (pp. 1–84). Boston, MA: Springer US.
- Georgakis, A., Gatzliolis, D., & Stamatellos, G. (2023). A primer on clustering of forest management units for reliable design-based direct estimates and model-based small area estimation. *Forests*, 14(10), 1994. <https://doi.org/10.3390/f14101994>

- González, A., & Martínez, J. (2022). Monitoreo ambiental utilizando parcelas tipo RAP. *Revista Colombiana de Ecología*, 13(2), 1–15.
<https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.14137>
- Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., Senf, C., & Seidl, R. (2023). Airborne laser scanning to optimize the sampling efficiency of a forest management inventory in South-Eastern Germany. *Forestry: An International Journal of Forest Research*.
<https://doi.org/10.1093/forestry/cpac055>
- Higgins, S. I., et al. (2021). The role of tree size in determining forest structure and dynamics. *Forest Ecology and Management*, 482, 118798.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118798>
- Hurlbert, S. H. (1971). The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology*, 52(4), 577–586. <https://doi.org/10.2307/1934145>
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
https://www.researchgate.net/publication/303960063_LEYENDA_NACIONAL_DE_COBERTURAS_DE_LA_TIERRA_METODOLOGIA_CORINE_LAND_COVER_ADAPTADA_PARA_COLOMBIA_ESCALA_1100000
- IDEAM. (2023). *Inventario Forestal Nacional: Protocolo de Conglomerados*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
<http://sgi.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestal-nacional>
- Kauffman, J. B., et al. (2020). The importance of tree cover in tropical forest ecosystems. *Tropical Conservation Science*, 13, 1–15. <https://doi.org/10.1177/1940082920951234>

- Martín Cantarino, C. (2023). La evaluación de impacto ambiental de proyectos hidráulicos ¿lo estamos haciendo bien? En: Melgarejo Moreno, J.; López Ortiz, M.^a I.; Fernández Aracil, P. Seguridad hídrica (pp. 677–693). Alacant: Universitat d'Alacant. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/137409>
- Mena-Mosquera, V. E., Andrade C, H. J., & Torres-Torre, J. J. (2020). Composición florística, estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó, Quibdó, Chocó, Colombia. *Entramado*, 16(1), 204–215. <https://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6109>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Planes de Manejo Ambiental: Normativa y lineamientos. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/7._Lineamientos_ambientales_ordenamiento_actividades_industriales_de_mediana_y_pequena_escal_a_en_suelo_rural.pdf
- Muhamad, S. (2023). Impacto ambiental del Bajo Cauca se vive a escala nacional. <https://www.minambiente.gov.co/distrito-minero-y-formalizacion-propuesta-del-gobierno-nacional-para-resolver-paro-en-el-bajo-cauca/>
- Ramos-Escalante, G., Ley de-Coss, A., Arce-Espino, C., Escobar-España, J. C., Raj-Aryal, D., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., & Guerra-Medina, C. E. (2018). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el trópico húmedo de Chiapas, México. *Agrociencia*, 52(5), 671–683. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000500671

Rovira Cano, D. A., Moreno Zapata, L. T., & Marulanda Vásquez, R. (2023). Degradación de suelos ocasionados por la minería en la subregión del Bajo Cauca antioqueño, a partir de los sistemas de información geográficos. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/59651>

Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., García, M. C., & Ordoñez, M. F. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimaci%C3%B3n+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-0bcc1af8f108

Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Datos IJO-11291 Bosques fragmentados

Apéndice B. Datos IJO-11291 Bosques riparios.

Apéndice C. Puntos especies Cáceres

Apéndice D. Red Hídrica Coberturas IJO-11291

Apéndice E. Imagenes Modelos 3D Especies

Apéndice F. Bosque de galería y ripario

Apéndice G. Bosque fragmentado

Apéndice H. Pastos arbolados

Apéndice I. Pastos_limpios

Apéndice J. Pastos_enmalezados

Apéndice K. Red vial y territorios asociados

Apéndice L. Modelos 3D Especies

Apéndice M. Tejido urbano discontinuo

Apéndice N. Tierras_desnudas_y_degradadas

Apéndice Ñ. Vegetación_secundaria_o_en_transición

Apéndice O. Zonas_Pantanosas_sistemas lenticos

Apéndice P. Mapas Contrato De Concesión (L 685) IJO-11291

Apéndice Q. Guia de Modelamiento y Rutas de Nodos de Geometría

Apéndice R. Multimedia de modelos 3D implementados

Apéndice S. Datos Parcelas de verificación

Apéndice T. Imágenes Satelitales SAS PLANET y Planet

Apéndice U. Fotografías Verificación en campo , inventarios y parcelación

Apéndice V. Modelado Blender y ArcGis Pro