



**Modelo para la aplicación de Créditos de Carbono en el campus de Estudios Ecológicos y Agroambientales de la Universidad de Antioquia, en el municipio de Carepa, Antioquia**

**Liliana Marcela Palencia Correa**

Trabajo de grado de maestría presentado para optar al título de Magíster en Sostenibilidad

Asesores

Isabel Cristina Rendón Vanegas, Magíster (MSc) en Sostenibilidad

Camilo Palacios Hurtado, Magister (MSc) en Bosques y Conservación ambiental

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Maestría en Sostenibilidad

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

### **Agradecimientos**

A mi familia, por su amor incondicional, su paciencia y su confianza en cada paso que he dado. Son la base sobre la que se ha construido esta etapa y muchas otras.

A mis compañeras y equipo de trabajo de la maestría, por ser inspiración, apoyo y complicidad en este camino compartido. Con cada conversación, cada trabajo en grupo y cada palabra de ánimo, reafirmaron que el conocimiento también se construye con afecto y sororidad.

A mis compañeros y compañeras de la Unidad de Innovación, Coordinación de Investigación y campus Tulenapa de la Universidad de Antioquia, gracias por su comprensión, respaldo y estímulo durante este proceso. Su compañía en lo cotidiano hizo posible avanzar sin perder la conexión con lo que somos como institución.

Y a los docentes de la Maestría en Sostenibilidad de la Universidad Pontificia Bolivariana, por su rigor académico, su acompañamiento comprometido y por sembrar preguntas que aún siguen creciendo en mí.

A todas y todos, gracias por ser parte de esta travesía. Esta tesis también les pertenece.

---

## Tabla de contenido

Resumen .....	9
Abstract .....	11
Introducción .....	13
1 Planteamiento del problema .....	15
2 Justificación.....	16
3 Objetivos .....	17
3.1 Objetivo general .....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
4 Marco teórico .....	18
4.1. Marco Conceptual .....	18
4.1.1. Créditos de carbono .....	18
4.1.2. Mercado de Créditos de Carbono.....	18
4.1.3. Bosque Tulenapa.....	20
4.2. Estado del arte del mercado de créditos de carbono.....	21
4.3. Marco Legal Jurídico.....	23
4.3.1. Marco legal Nacional Ambiental relacionado con el Mercado de Bonos de carbono en Colombia.....	23
4.3.2. Desarrollo histórico del Marco legal Internacional del Mercado de Bonos de carbono. ....	25
5 Metodología .....	26
5.1. Evaluación de la Capacidad de Captura de Carbono del Bosque Tulenapa.....	26
5.2. Diseño del Sistema de Monitoreo y Verificación de Créditos de Carbono.....	27
5.3. Fomento de la Participación Comunitaria y de Actores Relevantes .....	27
6. Resultados .....	28

---

6.1. Evaluación de la Capacidad de Captura de Carbono del Bosque Tulenapa.....	28
Resultados preliminares .....	28
6.1.1. Línea base y priorización de especies .....	28
6.1.1.1. El inventario de especies vegetales ideales para la captura de carbono en Urabá	28
6.1.1.2. El inventario de especies vegetales ideales para captura de carbono en el Bosque Tulenapa .....	29
6.1.2. Identificación y cuantificación de especies eficientes en captura de carbono .....	30
6.1.2.1. Especies óptimas para captura de carbono en Tulenapa .....	30
6.1.2.2. Otras especies destacadas en el inventario del Bosque Tulenapa .....	31
6.2. Diseño del Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) .....	32
Importancia de estos protocolos .....	33
6.2.1. Desarrollo del protocolo de monitoreo de carbono para el bosque Tulenapa.....	34
6.2.1.1. Diseño de inventario y muestreo .....	34
6.2.1.2. Medición de parámetros dendrométricos .....	34
6.2.1.3. Estimación de biomasa.....	34
6.2.1.4. Análisis de carbono del suelo.....	34
6.2.1.5. Reporte y verificación .....	34
6.2.2. Establecimiento de la ruta para la plataforma digital.....	35
6.2.2.1. Requisitos funcionales.....	35
6.2.2.2. Requisitos técnicos.....	35
6.2.2.3. Desarrollo e implementación .....	35
6.3. Fomento de la Participación Comunitaria y de Actores Relevantes .....	36
Importancia de los programas y espacios de socialización .....	36
6.3.1. Implementación de programas de socialización. ....	36
6.3.2. Perfil de los grupos de interés .....	37

---

6.3.3. Mapa de interacción del modelo con los grupos de interés .....	39
6.4. Limitaciones para la venta de créditos de carbono.....	40
6.4.1. Económicos.....	40
6.4.2. Complejidad técnica y requisitos de datos.....	40
6.4.3. Barreras institucionales y de tenencia de la tierra.....	41
7 Modelo .....	42
7.1. Modelo de monetización para el Bosque Tulenapa .....	43
7.1.1. Reconocimiento legal y figura OMEC .....	43
7.1.2. Instrumentos de monetización OMEC.....	43
7.1.3. Gobernanza y reparto de ingresos en contexto OMEC.....	44
7.1.4. Implementación y financiación.....	44
7.2. Modelo Integral para la Implementación de Crédito de Carbono en el Bosque Tulenapa .	46
7.3. Roles de los grupos de interés .....	46
7.4. Viabilidad del modelo .....	47
7.5. Mercados voluntarios .....	47
7.5.1. Mercados voluntarios internacionales.....	47
VERRA: Verified Carbon Standard (VCS) .....	47
Gold Standard for the Global Goals.....	48
Plan Vivo.....	48
7.5.2. Mercado voluntario nacional colombiano .....	48
Mercado voluntario de carbono en Colombia (MVC – Colombia) .....	48
BioCarbon Registry.....	49
7.5.3. Plataformas y corredores internacionales .....	49
ClimateTrade.....	49
South Pole .....	49

---

Nori y Pachama (EE.UU.).....	49
8. Conclusiones .....	50
9 Recomendaciones.....	51
9.1. Gobernanza y participación social .....	51
9.2. Reconocimiento legal y fortalecimiento institucional.....	51
9.3. Diseño técnico y metodológico .....	51
9.4. Capacitación y transferencia de conocimiento .....	52
9.5. Infraestructura tecnológica.....	52
9.6. Monitoreo, reporte y verificación.....	52
9.7. Financiación y sostenibilidad financiera .....	52
9.8. Restauración ecológica y ampliación territorial.....	53
9.9. Comunicación y divulgación.....	53
9.10. Evaluación y mejora continua .....	53
Referencias .....	54
Anexos.....	61
Especies con categoría de amenaza presentes en el Bosque Tulenapa .....	61
Bosque Tulenapa .....	62
Fichas Técnicas de Especies Clave para Captura de CO <sub>2</sub> en Tulenapa .....	63

**Lista de tablas**

Tabla 1 Crecimiento anual de los principales gases de efecto invernadero (GEI) y Equivalencia en Ton de CO <sub>2</sub> (Méndez Raigoza & Restrepo Amariles, 2013).....	19
Tabla 2 Marco legal Nacional Ambiental relacionado con el Mercado de Bonos de carbono en Colombia.....	23
Tabla 3 Desarrollo histórico del Marco legal Internacional del Mercado de Bonos de carbono...25	
Tabla 4 Evaluación de la Capacidad de Captura de Carbono del Bosque Tulenapa.....	26
Tabla 5 Diseño del Sistema de Monitoreo y Verificación de Créditos de Carbono .....	27
Tabla 6 Fomento de la Participación Comunitaria y de Actores Relevantes .....	27
Tabla 7 Especies óptimas para captura de carbono en Tulenapa – Fuente: Construcción propia a partir del informe Tulenapa: Refugio de Biodiversidad (Universidad de Antioquia, 2023).....	31
Tabla 8 Implementación de programas de socialización - Fuente: Elaboración propia a partir de (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, 2025); ( Ministerio del Interior y de Justicia & Universidad Pedagógica Nacional, 2021). .....	37
Tabla 9 Perfil de los grupos de interés .....	37
Tabla 10 Instrumento de monetización OMEC.....	43
Tabla 11 Implementación y financiación .....	45
Tabla 12 Modelo integral para la implementación de créditos de carbono en el bosque Tulenapa .....	46
Tabla 13 Roles de los grupos de interés .....	46
Tabla 14 Viabilidad del modelo .....	47
Tabla 15 Especies con categoría de amenaza presentes en el Bosque Tulenapa - Fuente: Elaboración propia a partir del informe Bosque Tulenapa: Refugio de biodiversidad natural.....	61
Tabla 16 Fichas Técnicas de Especies Clave para Captura de CO <sub>2</sub> en Tulenapa - Fuente: Elaboración propia a partir del informe Bosque Tulenapa: Refugio de biodiversidad natural.....	63

## Lista de figuras

Ilustración 1 Mapa de interacción del modelo con los grupos de interés .....	39
Ilustración 2 Contraste entre la cobertura boscosa al interior de Tulenapa y las extensas bananeras que la rodean. Fotografía: Juan Felipe Blanco Libreros. ....	62
Ilustración 3 Ceiba pentandra, mejor conocida como La Catedral, árbol de grandes dimensiones que está en el interior del bosque de Tulenapa. Fotografía: Ana María Sepúlveda Seguro.....	62
Ilustración 4 El suelo del bosque es un gran reservorio de carbono, dada su alta concentración de materia orgánica. Imagen: Juan Felipe Blanco Libreros.....	63

## Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>API</b>	Interfaz de Programación de Aplicaciones
<b>API REST</b>	Interfaz de Programación de Aplicaciones, Transferencia de Estados Representacional
<b>CER</b>	Certificados de Emisiones Reducidas
<b>CONPES</b>	Consejo Nacional de Políticas Económica y Social
<b>COP</b>	Conferencia de las Partes
<b>DAP</b>	Diámetro a la Altura del Pecho
<b>EURs</b>	Unidades de Reducción de Emisiones de Mecanismo de Implementación Conjunta en Europa
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
<b>LC</b>	Preocupación Menor
<b>MADS</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desarrollo Limpio
<b>MBC</b>	Mercado de Bonos de Carbono
<b>MIC</b>	Mecanismo de Implementación Conjunta
<b>OMEC</b>	Otras Medidas Efectivas de Conservación
<b>REDD+</b>	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal
<b>SINA</b>	Sistema Nacional Ambiental
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia
<b>VCS</b>	Verified Carbono Standard
<b>VU</b>	Vulnerable
<b>WWF</b>	World Wildlife Fund

## Resumen

El trabajo de grado se centró en algo que, aunque evidente para quienes conocen el Bosque Tulenapa, no contaba con un respaldo técnico; la urgente necesidad de transformar su enorme valor ecológico en un modelo que permita protegerlo de forma concreta y sostenible y que complementa los procesos que la Universidad de Antioquia viene realizando en pro de su conservación. Este fragmento de selva húmeda tropical, de apenas 144.2 hectáreas, pertenece a la Universidad de Antioquia y está ubicado en el municipio de Carepa, en el Urabá antioqueño. Aunque rodeado de extensos paisajes agrícolas, Tulenapa resiste. Su biodiversidad es extraordinaria, y su capacidad para capturar carbono lo convierte en un aliado silencioso frente al cambio climático. Sin embargo, hasta ahora, carecía de una estructura técnica y operativa que le permitiera traducir esos servicios ecosistémicos en incentivos reales para su conservación.

Con ese propósito claro, se planteó como objetivo general el diseño de un modelo integral que permitiera cuantificar, monitorear, verificar y comercializar las reducciones de emisiones de carbono que genera el bosque. Pero no se trataba solo de diseñar un sistema funcional; el modelo debía ser justo, participativo y replicable. Para lograrlo, se identificaron tres objetivos específicos; primero, identificar la capacidad de captura de carbono de las especies más representativas del ecosistema; luego, seguido de un protocolo de Medición, Reporte y Verificación (MRV) alineado con los estándares internacionales; y finalmente, algo fundamental, involucrar activamente a la comunidad local y a otros actores clave en la gobernanza del proyecto.

El camino metodológico fue, en sí mismo, una mezcla de ciencia, tecnología y diálogo. A partir de información secundaria, se localizó el inventario dendrométrico y los análisis de suelo del bosque. A partir de la información disponible se formuló los pasos para la creación y aplicación de un protocolo MRV que incluya mediciones periódicas, reportes digitales y auditables y un sistema confiable de retroalimentación.

Pero esto no fue todo. Paralelamente se diseñó una ruta para el desarrollo de una plataforma digital, que facilite la trazabilidad y transparencia de la información generada. En cuanto al componente participativo, se propusieron cinco ciclos de talleres ágiles, una metodología que permita involucrar de manera activa y constante a estudiantes, líderes comunitarios, autoridades ambientales y representantes del sector empresarial. Esto con el fin de que permita ajustar, co-diseñar y validar el modelo.

Los resultados no tardaron en sorprender. Especies como *Prioria copaifera*, *Dipteryx oleífera* y *Caryocar amygdaliferum* **mostran** una impresionante capacidad de captura de carbono (entre 800 y 1500 kilogramos por árbol). De hecho, estas especies concentran más del 60% de la biomasa aérea del bosque (Universidad de Antioquia, 2023). Aun así, se define que el bosque se aborde como un proyecto REDD+, con el fin de obtener recursos en el corto plazo y permita materializar el modelo.

En cuanto a la gobernanza, se diseñó un esquema multiactor que reparte responsabilidades y beneficios de forma equitativa; la Universidad de Antioquia lidera la dirección técnica; la comunidad local participa en las decisiones clave; y los beneficios económicos se distribuyen equitativamente para el funcionamiento del modelo y la conservación y restauración del bosque.

En conclusión, el modelo desarrollado no solo busca ser técnicamente sólido, sino también viable desde lo social y financiero. Tulenapa, ese bosque que hasta hace poco era solo un escenario de investigación académica, se transformaría en un referente de cómo los servicios ecosistémicos pueden medirse, valorarse y, sobre todo, protegerse. Un modelo que, al mismo tiempo que genera beneficios económicos para la región, fortalece la conservación, la equidad y el compromiso colectivo con el territorio.

*Palabras claves:* Créditos de carbono, Bosque Tulenapa, gobernanza multiactor, participación comunitaria, desarrollo sostenible, biodiversidad tropical húmeda

---

## Abstract

The thesis focused on something that, while evident to those familiar with the Tulenapa Forest, lacked technical support: the urgent need to transform its immense ecological value into a model that enables its concrete and sustainable protection, complementing the conservation efforts already being carried out by the Universidad de Antioquia. This fragment of tropical rainforest, covering only 144.2 hectares, belongs to the Universidad de Antioquia and is located in the municipality of Carepa, in the Urabá region of Antioquia. Although surrounded by vast agricultural landscapes, Tulenapa endures. Its biodiversity is extraordinary, and its carbon capture capacity makes it a silent ally in the fight against climate change. However, until now, it lacked a technical and operational structure capable of translating these ecosystem services into tangible incentives for its conservation.

With that clear purpose in mind, the general objective was to design a comprehensive model to quantify, monitor, verify, and commercialize the carbon emission reductions generated by the forest. But this was not merely about creating a functional system; the model had to be fair, participatory, and replicable. To achieve this, three specific objectives were defined: first, to identify the carbon capture capacity of the ecosystem's most representative species; then, to develop a Measurement, Reporting, and Verification (MRV) protocol aligned with international standards; and finally—and critically—to actively involve the local community and other key stakeholders in the governance of the project.

The methodological approach was, in itself, a blend of science, technology, and dialogue. Using secondary information, the dendrometric inventory and soil analyses of the forest were located. Based on the available data, steps were formulated to create and implement an MRV protocol that includes periodic measurements, digital and auditable reporting, and a reliable feedback system.

But that wasn't all. In parallel, a roadmap was designed for the development of a digital platform to ensure the traceability and transparency of the generated information. Regarding the participatory component, five cycles of agile workshops were proposed—a methodology aimed at actively and consistently involving students, community leaders, environmental authorities, and business sector representatives. The goal was to allow for the model to be refined, co-designed, and validated collaboratively.

---

The results were unexpectedly impressive. Species such as *Prioria copaifera*, *Dipteryx oleífera*, and *Caryocar amygdaliferum* demonstrated remarkable carbon capture capacities (between 800 and 1500 kilograms per tree). In fact, these species account for more than 60% of the forest's aboveground biomass (Universidad de Antioquia, 2023). Even so, it was decided that the forest should be approached as a REDD+ project to secure short-term resources and enable the implementation of the model.

Regarding governance, a multi-stakeholder scheme was designed to equitably distribute responsibilities and benefits: the Universidad de Antioquia leads the technical direction; the local community participates in key decisions; and economic benefits are equitably shared for the operation of the model and the conservation and restoration of the forest.

In conclusion, the developed model aims not only to be technically robust but also socially and financially viable. Tulenapa—once merely a site for academic research—would be transformed into a benchmark for how ecosystem services can be measured, valued, and, most importantly, protected. A model that, while generating economic benefits for the region, also strengthens conservation, equity, and collective commitment to the territory.

*Keywords:* Carbon credits, Tulenapa Forest, multistakeholder governance, community participation, sustainable development and tropical humid biodiversity

## Introducción

A nivel global, están surgiendo estrategias de solución para mitigar fenómenos relacionados con la liberación de Gases Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, causados por las actividades humanas que generan desestabilización y alteración de los ecosistemas y el clima, siendo este uno de los retos ambientales más apremiante del siglo XXI (World Wildlife Fund (WWF), 2001). Por lo tanto, se están implementando acciones orientadas a recuperar y conservar ecosistemas forestales y enfocadas a prestar servicios ecosistémicos, tal como, los mecanismos eficientes para captura de carbono y almacenamiento de biomasa a gran escala (IPCC, 2006). De hecho, los créditos de carbono funcionan como instrumentos financieros donde cada tonelada métrica de CO<sub>2</sub> equivalente reducida o eliminada se traduce en un incentivo económico. Esto empuja proyectos que no solo cuidan bosques maduros, sino que también restauran zonas degradadas (De la Rosa, 2022).

Colombia, como país mega diverso, tiene un potencial biótico excepcional para sumarse a esta causa y especialmente el Bosque Tulenapa, perteneciente al campus de Estudios Ecológicos y Agroambientales de la Universidad de Antioquia, ubicado en el municipio de Carepa de la subregión del Urabá antioqueño, que con sus 144.2 hectáreas de relicto de bosque húmedo tropical, se convierte en un laboratorio vivo y un patrimonio ambiental urbano (Universidad de Antioquia, 2023). Desde que la Universidad lo adoptó en 2008, Tulenapa ha sido escenario de múltiples estudios ecológicos, gracias a ello, se cuenta con una línea base sólida de flora, fauna y servicios ecosistémicos, reforzando su papel como sumidero de carbono y reserva de biodiversidad.

No obstante, aunque cuenta con datos valiosos, requiere de un modelo integral con elementos clave que cuantifique el carbono, cuente con un sistema de monitoreo y verifique la alineación con estándares internacionales y, vinculación y participación efectiva de actores locales para gestionar y comercializar créditos de carbono, lo anterior ha limitado la capacidad del Bosque Tulenapa de aprovechar su potencial de captura y acceder a recursos financieros que asegurarían su conservación a largo plazo, además de contribuir a los compromisos del país bajo el Acuerdo de París y las políticas de carbono neutral (Ley 1931 de 2018; Decreto 926 de 2017).

Por lo anterior, este trabajo de grado tiene como propósito establecer el diseño y viabilidad de un modelo integral para implementar créditos de carbono en el Bosque Tulenapa, de modo, que aporte a la mitigación de las emisiones de GEI y, fortalezca la conservación de la biodiversidad en el municipio de Carepa, del Urabá antioqueño. Esto se logra a través de tres objetivos específicos.

Primero, evaluar la capacidad de captura de carbono del Bosque Tulenapa, identificando las especies vegetales más efectivas en este proceso. Segundo, diseñar un sistema de monitoreo y verificación de créditos de carbono que garantice transparencia y precisión en la cuantificación de las reducciones de emisiones. Tercero, fomentar la participación de comunidades locales y otros actores relevantes, integrando sus intereses y conocimientos de manera activa. ( Ministerio del Interior y de Justicia & Universidad Pedagógica Nacional, 2021).

Estos objetivos se sostienen en un enfoque interdisciplinario y en el análisis de información secundaria sobre estudios realizados en el propio Bosque Tulenapa y de bosques húmedos tropicales de la región. Además, se alinean con los protocolos del (IPCC, 2006), (Verified Carbon Standard (VCS), s.f.) y el protocolo nacional del IDEAM (Yepes, y otros, 2011).

Para el primer objetivo, se cuenta con el registro de 257 especies leñosas en Tulenapa, lo que permite caracterizar biomasa aérea y carbono almacenado, además de estimar potencial anual de captura de CO<sub>2</sub> equivalente (Universidad de Antioquia, 2023).

Con miras al segundo, se ha embozado una ruta que combina la información disponible sobre la información de los individuos vegetales que se encuentran en el bosque, y las indicaciones para el desarrollo de una plataforma digital basada en PostgreSQL/PostGIS, y visualización de datos en generaciones de informes automatizados en API REST y Leaflet.

El tercer objetivo, reconoce que la legitimidad social y la gobernanza inclusiva son vitales; por ello, se propone metodologías ágiles (sprints workshops, daily stand-ups) para articular talleres, campañas de sensibilización y mecanismos continuos de retroalimentación con estudiantes, comunidad local, autoridades y sector privado.

En síntesis, el proyecto no solo es un trabajo a nivel metodológico, sino también incluyente en los social y económico. Seguramente se convertirá en una guía replicable para otros bosques húmedos, aportando al cumplimiento de compromisos globales y al desarrollo en carbono de Urabá.

## 1 Planteamiento del problema

Hoy en día, los Gases de Efecto Invernadero (GEI) han puesto en riesgo la supervivencia de los seres vivos del planeta, ya que, modifican el clima, afectan la producción de alimentos y alteran la salud de todo ser vivo. Desde la Revolución Industrial, cuando encendimos chimeneas para quemar carbón y luego petróleo, gas natural y electricidad, hemos liberado grandes cantidades de gases contaminantes en la atmósfera (Ibarra & Escobar).

De igual manera, el consumo de productos generados con esos combustibles fósiles no para de crecer. Vivimos en una sociedad de compras y desechar; ¿Quién no ha estrujado el bolsillo por un nuevo dispositivo o prenda de moda rápida? Sin embargo, tras cada objeto hay emisiones de GEI. Como dice (Delgado Huertos, 1998), nadie quiere sentirse culpable por la contaminación o la tala de bosques, pero tampoco renunciamos a nuestras comodidades.

Puesto que este panorama exige soluciones, han surgido acuerdos globales como el Protocolo de Kioto. Este propone mecanismos flexibles (Comercio de Emisiones, Desarrollo Limpio, Aplicación Conjunta) y reconoce el carbono que almacena los sumideros naturales (World Wildlife Fund (WWF), 2001). Así pues, los créditos de carbono se presentan como una chispa de esperanza; basados en el Teorema de Coase, permiten que quienes contaminan financien la conservación, siempre que los costos de transacción sean asumibles (López Toache, Romero Amado, Toache Bertto, & García Sánchez, 2016).

En cambio, Colombia, con su inmensa biodiversidad, ofrece una oportunidad única. Por ejemplo, en Urabá confluyen océanos y ríos (Atrato y León), creando un caldo de cultivo para 1.765 especies de hongos, fauna y flora (Piedrahita Tamayo N. , 2022). Sin embargo, gran parte de sus bosques cedió terreno a plantaciones agrícolas bananeras.

Ahora bien, el Bosque Tulenapa aparece como un refugio natural; un relicto de selva húmeda tropical que actúa como sumidero de carbono y pulmón urbano. Según (Blanco Libreros, 2018), el carbono que retienen sus plantas compensa parte de nuestras emisiones; además, a mediodía, la sombra de sus copas puede refrescar hasta diez grados el ambiente, y sus acuíferos nutren los arroyos locales (Piedrahita Tamayo N. , 2022).

---

## 2 Justificación

El trabajo de grado tiene dos focos claros; primero, descubrir cómo el Bosque Tulenapa, con sus 144.2 hectáreas rebosantes de especies nativas, actúa como un verdadero pulmón al capturar CO<sub>2</sub>, y segundo, ahondar en la grave crisis ambiental que desatan los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su huella c en el cambio climático. A medida que consumimos sin pausa, impulsados por productos de usar y tirar y por gigantescas industrias que queman combustibles fósiles, nuestra responsabilidad crece. Por ende, es urgente impulsar una transición real hacia energías limpias y procesos más respetuosos con el planeta.

Vivimos en una era de gratificación instantánea; compramos, desechamos y volvemos a comprar. Sin embargo, detrás de cada artículo barato hay emisiones que erosionan nuestra biodiversidad y amenazan el bienestar económico. En ese contexto, el mercado de créditos de carbono brilla como oportunidad; no solo permite generar ingresos fiscales para la inversión social, sino que fomenta la conservación de ecosistemas valiosos.

Por consiguiente, el presente estudio propone un modelo basado en la triada de la sostenibilidad que enlaza desarrollo económico, la protección ambiental, inspirando en conceptos de economía verde, bioeconomía y de participación social con comunidad, academia y empresas. La idea es diseñar una línea de negocio innovadora para emitir y vender créditos de carbono, garantizando la supervivencia del Bosque Tulenapa. Al final, este documento servirá de guía tanto para la comunidad académica de la Universidad de Antioquia como para entidades públicas y privadas, ya que mostrará las posibilidades reales del mercado colombiano de créditos de carbono, sus ventajas y las vías para mitigar GEI en beneficio de todos los involucrados

### 3 Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo integral para la implementación de créditos de carbono en el bosque Tulenapa, ubicado en el campus de Estudios Ecológicos y Agroambientales de la Universidad de Antioquia, en el municipio de Carepa, Antioquia, que contribuya a la mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible de la región.

#### 3.2 Objetivos específicos

**OE1:** Evaluar la capacidad de captura de carbono del bosque Tulenapa, mediante el análisis de información secundaria que permita la identificación de especies prioritarias para la captura de carbono.

**OE2:** Diseñar un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV), que incluya un protocolo técnico y una plataforma digital de trazabilidad de créditos de carbono, acorde a los estándares internacionales.

**OE3:** Elaborar una ruta que fomente la participación de las comunidades locales y otros actores relevantes en el esquema de crédito de carbono, para que sus intereses y conocimientos sean integrados de manera efectiva en el proyecto.

## 4 Marco teórico

### 4.1. Marco Conceptual

A continuación, se abordan los conceptos relevantes para la definición de un modelo de créditos de carbono para el campus Carepa de la Universidad de Antioquia.

#### 4.1.1. *Créditos de carbono*

Los créditos de carbono son un mecanismo de fijación del precio del carbono. Estos corresponden a una tonelada de gases efecto invernadero que ha sido reducida o removida a través del desarrollo de un proyecto o actividad (De la Rosa, 2022).

En efecto, en el marco de Protocolo de Kioto, los Bonos de Carbono, se definen como títulos emitidos por organismos certificadores que dan cuenta o son representativos de una tonelada métrica de reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Los mismos constituyen en la práctica un mecanismo para permitir a los países adscritos a dicho acuerdo compensar sus emisiones de gases con efecto invernadero (“GEI”), y de esa forma cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones de GEI (Contreras Camargo, 2017).

Los créditos de carbono, también conocidos como créditos de compensación o bonos de carbono, pueden generar confusión debido a la ambigüedad del término "bono". En finanzas, un bono es un instrumento de deuda, lo que lleva a confundir erróneamente los bonos de carbono con los bonos verdes. Los bonos verdes son, en realidad, mecanismos financieros destinados a financiar proyectos con beneficios sociales y ambientales (De la Rosa, 2022).

#### 4.1.2. *Mercado de Créditos de Carbono*

Tomando las definiciones de la Real Academia Española sobre "mercado", se pueden identificar varias interpretaciones:

- “Contratación pública en lugares y días específicos”.
- “Sitio público permanente o en días señalados para vender, comprar o permutar bienes o servicios”.
- “Actividades económicas realizadas libremente sin intervención pública”.
- “Operaciones comerciales que afectan a un sector específico de bienes”.
- “Conjunto de consumidores capaces de comprar un producto o servicio”.

- “Estado y evolución de la oferta y demanda en un sector económico”.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (s.f.) sintetiza el concepto de Mercado de Carbono como el lugar donde se comercializan permisos de emisión y créditos de reducción de gases de efecto invernadero (GEI), permitiendo a países y empresas cumplir con sus objetivos de reducción de emisiones y mitigar el calentamiento global y sus efectos, como el derretimiento de glaciares, aumento de temperaturas, cambios en patrones de precipitación, sequías y desplazamiento de especies.

Estos gases de efecto invernadero pueden producirse de manera natural o por actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón) en la generación de electricidad, transporte, incendios forestales, actividades industriales y generación de desechos.

*Tabla 1 Crecimiento anual de los principales gases de efecto invernadero (GEI) y Equivalencia en Ton de CO<sub>2</sub> (Méndez Raigoza & Restrepo Amariles, 2013)*

Compuesto Químico	Gas	Fuente	Crecimiento Anual (%)	Equivalencia en Ton CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	1. Combustión de carburantes fósiles (petróleo, gas, hulla) y madera.	0,5	1 Ton CO <sub>2</sub> =1 Ton CO <sub>2</sub>
		2. Erupciones volcánicas, quemadas forestales.		
CH <sub>4</sub>	Metano	1. Descomposición anaeróbica de vegetales en tierras húmedas (pantanos, ciénagas, arrozales).	0,9	1 Ton CH <sub>4</sub> =21 Ton CO <sub>2</sub>
		2. Producción pecuaria.		
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso	1. Prácticas agrícolas (uso de fertilizantes nitrogenados).	0,8	1 Ton N <sub>2</sub> O=310 Ton CO <sub>2</sub>
		2. Combustión de carburantes fósiles		
CFC (Sigla)	Clorofluorocarbonos	1. Origen sintético (propelentes de aerosoles, refrigeración, espumas, solventes, etc.).	4,0	Varía según el tipo de CFC
Es un tipo de Ozono O <sub>3</sub> (Ozono)	Ozono troposférico	1. Se forma cuando coexisten los óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ), los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y una radiación solar intensa a lo largo de un periodo de tiempo lo bastante largo.	0,5 – 0,2	Varía según el tipo de Ozono
		2. Combustión de carburantes fósiles.		
SF <sub>6</sub>	Hexasulfuro de azufre	1. Uso de transformadores eléctricos, producción de aluminio, magnesio y	4,1	1 Ton SF <sub>6</sub> =23,9

		otros metales, uso y producción de halocarbonos.		Ton CO2
		2.Combustión de carburantes fósiles		

Cada tipo de gas de efecto invernadero (GEI) señalado en la tabla 1, se mide en toneladas de CO2 equivalente, y un Certificado de Emisiones Reducidas (CER) representa una tonelada de CO2 no emitida. El precio de estos certificados se determina mediante oferta y demanda en el Mercado de Carbono (MCB) Internacional. Países o empresas que reduzcan o eliminen emisiones de CO2 pueden emitir "Bonos de Carbono", que pueden ser comprados por empresas que necesitan reducir sus emisiones.

#### **Dentro del MCB se comercializan tres tipos de activos:**

- Permisos de emisión: Asignados por los gobiernos a las empresas emisoras de GEI según los compromisos del Protocolo de Kioto.
- Certificados de Reducción de Emisiones (CERs): Generados por proyectos de mitigación en países en desarrollo o Europa que demuestren reducción de GEI. Incluyen CERs de proyectos MDL en países en desarrollo y EURs de Mecanismos de Implementación Conjunta (MIC) en Europa.
- Certificados de Reducción de Emisiones voluntarias: Comercializados en mercados de carbono voluntarios.

El proceso para obtener CERs está regulado por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

#### ***4.1.3. Bosque Tulenapa***

Los bosques, conocidos como los pulmones del planeta, tienen un fundamento científico, especialmente reconocido en el siglo XXI, donde se asocia el calentamiento de la atmósfera con la pérdida de la cubierta boscosa. El bosque de Tulenapa, en Urabá, Antioquia, sirve como un laboratorio para probar este conocimiento y contribuir a la discusión científica sobre la influencia humana en el calentamiento atmosférico (Blanco Libreros, 2018).

El bosque primario húmedo tropical de 144.2 hectáreas conocido como Tulenapa, donde está la Sede de Estudios Ecológicos y Agroambientales de la Universidad de Antioquia, en zona rural del municipio de Carepa, se encuentra figura de OMEC (Otras Medidas Efectivas de

Conservación) (González Toro, 2023). Desde 2008 la Universidad de Antioquia ha preservado las 144.2 hectáreas de bosque de la sede de Estudios Ambientales y Agroecológicos, a la que han llamado Tulenapa en honor al conocimiento de la *etnia guna* que habita la región. El significado, «tierra de los concedores del cosmos» (en lengua *guna dule*), sintetiza los hallazgos de académicos y curiosos que han llegado a este santuario ambiental con el objetivo de estudiar las formas de vida que se dan allí (Piedrahita Tamayo N. , 2022).

#### **4.2. Estado del arte del mercado de créditos de carbono**

La convención del Protocolo de Kioto de 1997 se definió una serie de medidas que posibilitaron la conformación del Mercado de Créditos de Carbono (antes llamados Bonos de carbono) a nivel global. Pese a esto, no fue hasta 2005 que se ejecutan las medidas establecidas en el Protocolo de Kioto y, posibilitó el inicio de investigaciones en torno a las alternativas de disminución de GEI mediante el Mercado de Créditos de Carbono (Nevado Velásquez, 2019).

Para dar cumplimiento a los acuerdos internacionales de reducción de huella de carbono, el país realizó; el Estudio de Estrategia Nacional para la Implementación del Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) en Colombia, elaborado en abril de 2000 por el Ministerio del Medio Ambiente y otras entidades, el cual tiene tres objetivos: Evaluar el potencial de Colombia en el nuevo mercado del MDL en términos de beneficios y competitividad. Identificar las restricciones que puedan limitar este desarrollo. Desarrollar estrategias para superar estas restricciones y maximizar los beneficios potenciales del MDL para el país (Black A, Blanco, Villa, & Castaño, 2000).

Por su parte, el artículo “El Protocolo de Kioto y los costos ambientales”, publicado en 2007 en Argentina, analiza los costos ambientales de adoptar el Protocolo de Kioto. El estudio concluye que la entrada en vigor del Protocolo impacta directamente a las empresas, alterando sus inversiones, planes financieros, ingresos, gastos y niveles de riesgo (Fronti de Garcí & Fernández Cuesta, 2007).

En concordancia con lo anterior, el Acuerdo de París habla de la visión de llevar a cabo plenamente el desarrollo y la transferencia para mejorar la resiliencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Establece un marco tecnológico para proporcionar una orientación general al Mecanismo Tecnológico. El mecanismo está acelerando el desarrollo y la transferencia de tecnología a través de sus subdivisiones de política y aplicación (Sanhueza).

En el caso de Colombia, el foco en este mercado se ha venido dando desde los últimos diez años a través de la apertura de estrategias de implementación. Méndez Raigoza y Restrepo Amariles, afirman que la entrada en vigor del MBC ha tenido un impacto positivo en la economía colombiana gracias a las toneladas de captura y, muy importante, ha llevado a que empresas internacionales vean un atractivo en el país “ya que estas buscan poder cumplir con sus metas de reducción en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero” (Méndez Raigoza & Restrepo Amariles, 2013).

Para 2004 se ha venido registrando un interés por analizar las potencialidades de Colombia y, también, de los países de América Latina frente al MBC. En el año 2003, el Departamento Nacional de Planeación y el Ministerio del Medio Ambiente publicaron el documento CONPES 3242 con el objetivo de “promover una incursión competitiva de Colombia en el mercado internacional de reducciones verificadas de emisiones de gases de efecto invernadero” (Amu Vente, 2018).

Desde el año 2017 el Mercado de Bonos de Carbono (MBC) ha venido creciendo de forma positiva. La entrada en vigor Decreto 926 de ese año en el que se regula el Impuesto al Carbono en Colombia (Ley 1819 del 2016) ha llevado al fortalecimiento del mercado y a la reducción de las emisiones de GEI en Colombia. De igual forma, la Ley de Cambio Climático en Colombia (Ley 1931 del 2018) ha permitido crear alianzas con el sector público para la regulación de los procesos de certificación y registro de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Lo anterior es significativo en la medida en que se ha robustecido -desde el sector público, pero también privado- los espacios de consolidación del MBC en el país (ASOCARBONO, 2020).

Finalmente, desde la academia, ha aumentado la producción científica alrededor del MBC. La oportunidad de negocio que hay en Colombia frente a la emisión de CER's reside en su potencial biológico y ecosistémico que permite “implementar proyectos forestales o de conservación de sus bosques naturales, que se presentan como oportunidad de negocio en la reducción de toneladas de CO<sub>2</sub> y posterior emisión de bonos de Carbono, que pueden ser adquiridos por países con intención de compensar sus emisiones de GEI y estando avalados por diferentes mecanismos internacionales” (Vargas Castro, 2018). En este sentido, dadas las ventajas comparativas en biodiversidad de Colombia, donde el 54% del territorio nacional son bosques, los proyectos de crecimiento del MBC se enmarca en el aprovechamiento de dicho potencial biótico donde la “reforestación y conservación de bosques naturales resultan muy interesantes para empresarios extranjeros con una

inminente necesidad y oportunidad de inversión para la compensación de emisiones de carbono en grandes industrias” (Giraldo Quintero, 2017).

### 4.3. Marco Legal Jurídico

El marco legal del mercado de bonos de carbono en Colombia es reciente, por lo que no tiene una jurisprudencia extensa y está compuesto principalmente por leyes, decretos y algunas resoluciones especiales. La mayoría de la normativa relevante proviene de legislación ambiental más amplia que de regulaciones específicas sobre bonos de carbono. La regulación de los bonos de carbono es sencilla, pero la legislación ambiental es más compleja y extensa. A continuación, se presenta la trayectoria legislativa del mercado de bonos de carbono y su relación con la normativa ambiental en Colombia durante las últimas cinco décadas.

#### 4.3.1. Marco legal Nacional Ambiental relacionado con el Mercado de Bonos de carbono en Colombia.

Tabla 2 Marco legal Nacional Ambiental relacionado con el Mercado de Bonos de carbono en Colombia

<b>Marco legal Nacional Ambiental relacionado con el Mercado de Bonos de carbono en Colombia</b>	
<b>Ley 23 de 1973</b>	La expidió el Código de Recursos Naturales y de protección al Medio Ambiente.
<b>Decreto - Ley 2811 de 1974 Parte XII</b>	Código Nacional de Recursos Naturales renovables y de Protección al Medio Ambiente
<b>Decreto 1681 de 1978</b>	Legislación con el objetivo de asegurar la conservación, el fomento y el aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos y del medio acuático. Énfasis en la disponibilidad permanente y su manejo racional, según técnicas ecológicas, económicas y sociales
<b>Constitución política de Colombia. (1991)</b>	Artículos: 8, 58, 63, 79, 80
<b>Ley 99 de 1993</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación del Ministerio de Ambiente</li> <li>• Se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)</li> </ul>
<b>Ley 164 de 1994</b>	Se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático" el 27 de octubre
<b>Resolución 1602 de 1995</b>	Se dictan medidas necesarias para garantizar la sostenibilidad de los manglares en Colombia
<b>Ley 629 de 2000</b>	Se aprueba el protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997. Se da el 27 de diciembre del 2000
<b>COMPES 3242 de 2003</b>	Se crea la estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático, la cual se enmarca en el Plan Nacional de desarrollo "Hacia un estado comunitario 2003 - 2006"

<b>Resolución 0453 de 2004</b>	Se crea el procedimiento de Aprobación Nacional. Regula el funcionamiento del Comité Técnico Intersectorial.
<b>Resolución 0551 de 2009 y Resolución 2734 de 2010</b>	Se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de GEI que optan al MDL
<b>Documento CONPES 3700 de 2011</b>	Se formula la estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones de Materia de Cambio Climático en Colombia.
<b>Ley 1753 de 2015</b>	Modificada por la Ley 2169 de 2021: Expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, artículo 175.
<b>Ley 1819 de 2016</b>	Artículo 221. Se crea el impuesto nacional al Carbono. La entidad responsable de la recaudación de impuesto es la Dirección de impuestos y Aduanas Nacionales que depende del Ministerio de Hacienda.
	Se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático
<b>Ley 1844 del 14 de Julio 2017</b>	Se aprueba el "Acuerdo de Paris" adoptado el 12 de diciembre de 2015 en París, Francia.
	Decreto 926 del 01 de junio
<b>Resolución 1447 de 2018</b>	Se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015.
<b>Ley 1931 del 27 de Julio de 2018</b>	Esta Ley tiene por objeto establecer las directrices de gestión para el cambio climático en las decisiones de las personas públicas y privadas, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas metropolitanas y Autoridades Ambientales con relación a la mitigación de GEI, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de la población frente a los efectos del mismo y la promoción de un desarrollo bajo en carbón.
<b>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)</b>	Reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de acciones de mitigación a nivel nacional (modificada por la Resolución 831 de 2020).
<b>Decreto 446 del 21 de marzo de 2020</b>	Se modifica el Decreto 1076 de 2015.
<b>Ley 2169 de 2021</b>	Impulsa el desarrollo bajo en carbono del país y establece metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática.
<b>Resolución 0552 de 2022</b>	Implementa la operación de la Comisión de Estudio para la Promoción y Desarrollo de los Mercados de Carbono en Colombia.

### 4.3.2. *Desarrollo histórico del Marco legal Internacional del Mercado de Bonos de carbono.*

Tabla 3 *Desarrollo histórico del Marco legal Internacional del Mercado de Bonos de carbono.*

<b>Desarrollo histórico del Marco legal Internacional del Mercado de Bonos de carbono.</b>	
<b>1988</b>	Panel Intergubernamental para el cambio climático 1988. Allí bajo una revisión científica se reconoce el problema del Calentamiento Global.
<b>1992</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convención de las Naciones Unidas 1992. Se reconoce políticamente el problema del calentamiento global. Se opera por medio de la Conferencia de las Partes (COP) (5) y Junta Directiva.</li> <li>• También se reconoce que el sistema climático es un recurso compartido cuya estabilidad puede verse afectada por actividades productivas industriales.</li> <li>• Se ponen en marcha estrategias de apoyo a países en desarrollo para adaptarse a los requerimientos previstos.</li> </ul>
<b>1997</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protocolo de KIOTO. Allí se establecen metas de emisiones con respecto a 1990 a países principalmente industrializados.</li> <li>• Se generan nuevas rondas de negociación con el fin de acordar entre países las efectivas normas de cumplimiento de los acuerdos climáticos.</li> <li>• Con ello países se comprometen a se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de GEI.</li> <li>• Entre los países firmantes se acuerda un total de recorte de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 5% con respecto a los niveles de 1990 en el periodo de compromiso de 2008-2012</li> </ul>
<b>2000</b>	Acuerdo de Marrakesh. Allí se definen las condiciones para que el Mercado de Bonos de carbono opere de forma preliminar.
<b>2015</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realiza la vigésima primera reunión de la Conferencia de las Partes (COP 21) de la CMNUCC.</li> <li>• Se fijan los aportes en términos del nivel de reducción de emisiones de (GEI) en el período post-2020. Estos aportes, conocidos como las Contribuciones Determinadas y Previstas a Nivel Nacional (INDC por sus siglas en inglés), se definen autónomamente por cada país.</li> </ul>

## 5 Metodología

La metodología es estructurada en función de los tres objetivos específicos planteados, utilizando fuentes secundarias como base para el análisis técnico, conceptual y operativo del modelo propuesto. Las actividades definitivas se centran en el diseño de un modelo de créditos de carbono aplicable al Bosque Tulenapa, abordando la evaluación de la captura de carbono, el diseño del sistema de monitoreo y verificación (MRV), y la integración de actores mediante estrategias participativas.

Cada componente metodológico incluye actividades específicas, técnicas de análisis y criterios de validación, enmarcados en estándares internacionales como el IPCC, el protocolo Verified Carbono Standard (VCS) y los lineamientos nacionales del IDEAM.

### 5.1. Evaluación de la Capacidad de Captura de Carbono del Bosque Tulenapa

**Objetivo:** Evaluar la capacidad de captura de carbono del bosque Tulenapa, mediante el análisis de información secundaria que permita la identificación de especies prioritarias para la captura de carbono.

*Tabla 4 Evaluación de la Capacidad de Captura de Carbono del Bosque Tulenapa*

Actividad	Descripción	Método	Indicador
<b>Levantamiento de la línea base de la flora</b>	Elaborar un inventario detallado de las especies vegetales presentes en el bosque Tulenapa utilizando exclusivamente la información secundaria disponible. Este proceso implicará la recopilación, análisis y consolidación de datos provenientes de estos previos realizados por la Universidad de Antioquia.	Solicitar la línea base a la universidad e identificar las especies vegetales para la captura de carbono.	Analizar al menos el 80% de los estudios disponibles vigentes sobre flora del Bosque Tulenapa, en el primer trimestre del proyecto
<b>Identificación y cuantificación de especies eficientes en captura de carbono</b>	Evaluar y cuantificar la capacidad de captura de carbono de las especies vegetales identificadas, utilizando información secundaria de especies idóneas para la captura de CO <sub>2</sub> .	Identificación de los parámetros o característica de los árboles censados para identificar la biomasa y la capacidad de carbono a capturar.	Elaborar fichas técnicas detalladas para al menos 9 especies vegetales con estimación de CO <sub>2</sub> capturado.

## 5.2. Diseño del Sistema de Monitoreo y Verificación de Créditos de Carbono

**Objetivo:** Diseñar un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV), que incluya un protocolo técnico y una plataforma digital de trazabilidad de créditos de carbono, acorde a los estándares internacionales.

Tabla 5 Diseño del Sistema de Monitoreo y Verificación de Créditos de Carbono

Actividades	Descripción	Método	Indicador
<b>Desarrollo del protocolo de monitoreo.</b>	Elaborar un protocolo integral que establezca los procedimientos para la medición continua de captura de carbono en el bosque Tulenapa, incluyendo directrices para la recolección, análisis y reporte de datos.	Basarse en estándares internacionales de monitoreo de carbono (como VCS) para asegurar la precisión y transparencia.	Protocolo de monitoreo de carbono validado según estándares internacionales (VCS) y adaptado al contexto local, con un plan de implementación y revisión aprobado.
<b>Establecimiento de la ruta para la plataforma digital.</b>	Crear un plan detallado para el desarrollo de una plataforma digital que registre y siga las transacciones de crédito de carbono.	Definir requisitos técnicos y funcionales de la plataforma, asegurando su alineación con las normas internacionales.	Un documento de ruta que describa los pasos a seguir para el desarrollo y la implementación de la plataforma digital.

## 5.3. Fomento de la Participación Comunitaria y de Actores Relevantes

**Objetivo:** Elaborar una ruta que fomente la participación de las comunidades locales y otros actores relevantes en el esquema de crédito de carbono, para que sus intereses y conocimientos sean integrados de manera efectiva en el proyecto.

Tabla 6 Fomento de la Participación Comunitaria y de Actores Relevantes

Actividades	Descripción	Método	Indicadora
<b>Implementación de programas de socialización.</b>	Desarrollar un programa de sensibilización y socialización para las comunidades locales y actores clave sobre la gestión sostenible del bosque y los beneficios de los créditos.	Realizar reuniones participativas con docentes y administrativos de la Universidad de Antioquia, que trabajan en función del bosque para involucrar y recoger sus opiniones e intereses.	3 encuentros virtuales de socialización con una participación activa de los estamentos de la Universidad de Antioquia.

## 6. Resultados

Los resultados del presente proyecto están estructurados en función de los tres objetivos específicos. Cada uno de ellos consolida productos conceptuales, estimaciones y propuestas que sientan la base para la implementación futura de un modelo de captura de carbono con enfoque participativo en el Bosque Tulenapa.

### 6.1. Evaluación de la Capacidad de Captura de Carbono del Bosque Tulenapa

#### *Resultados preliminares*

Se identifica árboles estrella, como; *Prioria copaifera* y *Dipteryx oleifera*, que acaparan grandes volúmenes de biomasa, de hecho, un solo ejemplar puede almacenar hasta 1,5t de carbono, equivalente a 5,5t de CO<sub>2</sub> (Yepes, y otros, 2011). En pocas palabras, Tulenapa no es solo un rincón verde; es un poderoso capturador de carbono.

De igual manera, al comparar Tulenapa con área agrícolas vecinas, su capacidad de captura resulta varias veces mayor. En consecuencia, proteger y expandir estos remanentes boscosos se vuelve prioritario para mitigar los GEI y frenar el cambio climático.

#### 6.1.1. Línea base y priorización de especies

Se identifican 257 especies leñosas, distribuidas en 43 familias botánicas, con base en los inventarios previos realizados por el Herbario de la Universidad de Antioquia. De estas, se propone priorizar 9 especies por su alto potencial de captura de carbono. Entre ellas destacan *Prioria copaifera*, *Dipteryx oleifera* y *Caryocar amygdaliferum*, con estimaciones que superan las 5t CO<sub>2</sub> por árbol en condiciones maduras (Universidad de Antioquia, 2023).

##### 6.1.1.1. El inventario de especies vegetales ideales para la captura de carbono en

##### Urabá

Basando en datos secundarios regionales (CORPOURABA, 2018), se destacan varios ecosistemas como reservorios de carbono y acaparadores de biomasa:

- **Manglares:** *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racmosa* y *Avicennia germinans* (bosques manglares  $\geq$  6993 ha; principales reservorios de biomasa aérea y carbono).

- Bosques riparios del Catival: *Prioria copaifera* (80% -90% área basal), *Carapa guianensis*, *Anacardium excelsum*, *Pterocaopus officinalis*, *Virola* sp y *Spondias mombin*.
- Plantaciones protectorales (restauración y servicios de captura de CO<sub>2</sub>): *Tabebuia rosea*, *Zygia longifolia*, *Brownea* sp y *Trichantera gigantea*.
- Regeneración espontánea en potreros: *Ochroma pyramidale*, *Cecropia spp*, *Trema micrantha* y *Guazuma ulmifolia*, que aportan carbono. Estos brotes inician la cicatrización del paisaje degradado.

#### 6.1.1.2. El inventario de especies vegetales ideales para captura de carbono en el Bosque Tulenapa

El catálogo florístico del bosque Tulenapa, a partir de la información del Herbario de la Universidad de Antioquia, incluye 257 especies leñosas en 43 familias (Universidad de Antioquia, 2023, pág. 31). *Fabaceae* lidera con 12 especies, seguida por *Moraceae* (9), *Annonaceae* (8) y *Rubiaceae* y *Malvaceae* (7 cada una). Un ejemplo es el papel de *Fabaceae* en el ciclo de nutrientes, donde sus raíces fijan nitrógeno.

Además, se detectaron 22 especies con amenazas o restricciones comerciales (Universidad de Antioquia, 2023). Entre ellas resaltan:

- *Prioria copaifera* (EN): rodales puros, hasta 90% del área basal.
- *Dipteryx oleífera* (VU): destaca en bosques muy húmedos; densidad entre 0.8 y 0.95g/cm<sup>3</sup>.
- *Caryocar amygdaliferum* (VU): colosos de madera apreciada (densidad ~ 0.7g/cm<sup>3</sup>).
- *Gustavia nana subsp nana* (VU): sotobosque inundable de biomasa moderada.
- *Licania aborea* (EN): longeva y robusta, madera resistente.
- *Astrocaryum standleyanum* (LC): palmera de sotobosque, biomasa moderada y dispersión faunística.

Ahora bien, el dosel está dominado por *Castilla tunu Hemsl*, mientras que en el sotobosque sobresalen *Clavija mezii Pittier* y *Chamaedorea tepejilote Liebm*. Otras frecuentes incluyen *Virola* sp, *Inga acrocephala Steud* y *Piper reticulatum L*. (Universidad de Antioquia, 2023, págs. 31-33).

Así pues, este inventario se establece como línea base esencial para evaluar servicios ecosistémicos y, acto seguido, escoger especies “sombrija” o “bandera” en iniciativas de conservación y crédito de carbono

### **6.1.2. Identificación y cuantificación de especies eficientes en captura de carbono**

Según la información disponible en el informe Tulenapa: Refugio de Biodiversidad, se puede identificar varias especies como óptimas para la captura de carbono, gracias a sus características ecológicas, su estructura morfológica, su rol dentro del ecosistema y su importancia en el dosel del bosque.

#### **6.1.2.1. Especies óptimas para captura de carbono en Tulenapa**

***Prioria copaiifera***: Esta especie dominante de bosque húmedo es ampliamente reconocida por su gran tamaño, presencia en zonas inundables y su crecimiento lento pero robusto. Forma parte de los denominados “catibales”, comunidades boscosas de alto almacenamiento de carbono por su elevada biomasa aérea. Además, su presencia está restringida a zonas específicas, lo que la hace estratégica para la conservación del carbono y la biodiversidad (Universidad de Antioquia, 2023).

***Caryocar amygdaliferum***: Especie vulnerable que crece en bosques maduros y húmedos, con troncos gruesos y estructura leñosa densa. Su gran tamaño y longevidad contribuyen significativamente al almacenamiento de carbono, su condición de amenaza también refuerza su valor de conservación en proyectos de carbono con co-beneficios (Universidad de Antioquia, 2023).

***Dipteryx oleífera***: Esta especie arbórea se encuentra en ecosistemas húmedos y premontanos<sup>1</sup>. Tiene maderas pesadas y longevas, ideales para almacenar carbono a largo plazo. Su densidad y escasa presencia por hectárea indican que los pocos ejemplares presentes son grandes captadores de biomasa.

***Gustavia nana subsp. Nana***: Endémica y dependiente de zonas inundables, esta especie ha sido registrada en condiciones específicas de suelo y humedad. Su especialización ecológica y

---

<sup>1</sup> **Premontano**: se refiere a una **zona de vida o piso altitudinal** que se encuentra entre el bosque húmedo tropical de tierras bajas y los bosques montanos o de montaña alta. Es un concepto ecológico usado para describir regiones con condiciones intermedias de altitud, temperatura y humedad.

rareza la hacen fundamental para conservar la integridad del ecosistema, y aunque su tamaño es menor que otras, su valor está en su representatividad de relictos boscosos (Universidad de Antioquia, 2023).

***Astrocaryum standleyanum***: Palma abundante en el bosque, con alto contenido leñoso y presencia frecuente en zonas de sotobosque. Aunque su biomasa individual no es tan alta como otras especies, su frecuencia y densidad compensan y aportan significativamente a la captura total de carbono (Universidad de Antioquia, 2023).

### 6.1.2.2. Otras especies destacadas en el inventario del Bosque Tulenapa

***Licania arbórea***: Especie con madera densa y uso económico tradicional. Se encuentra en categoría de peligro (EN) y es clave para la recuperación de zonas degradadas (Universidad de Antioquia, 2023).

***Gustavia grandibracteata* y *Gustavia dubia***: Ambas especies tienen distribuciones limitadas, alta dependencia de condiciones específicas y funciones ecológicas clave, como la acumulación de detritos y la dispersión por animales (Universidad de Antioquia, 2023).

***Castilla tunu***: Identificada como especie dominante del dosel en Tulenapa, forma parte de la estructura superior del bosque, lo que implica gran capacidad de acumulación de biomasa (Universidad de Antioquia, 2023).

Tabla 7 Especies óptimas para captura de carbono en Tulenapa – Fuente: Construcción propia a partir del informe Tulenapa: Refugio de Biodiversidad (Universidad de Antioquia, 2023).

Especie	Nº de individuos (estimados)	Categoría de amenaza	Observaciones ecológicas clave
<b><i>Prioria copaifera</i></b>	Alta densidad (hasta 90% del dosel en rodales)	EN (En Peligro)	Forma rodales densos en zonas inundables. Dominante en el dosel. Madera muy codiciada
<b><i>Dipteryx oleifera</i></b>	1–2 árboles/ha	VU (Vulnerable)	Madera densa, útil para construcción. Se encuentra en bosques húmedos tropicales
<b><i>Caryocar amygdaliferum</i></b>	No se precisa, pero en reducción	VU (Vulnerable)	Árbol indicador de bosques maduros. Su madera es altamente apreciada.
<b><i>Gustavia nana subsp. nana</i></b>	Rara	VU (Vulnerable)	Especie endémica del Atrato-Darién. Crece en

			zonas inundables. Indicadora de ecosistemas vulnerables
<i>Astrocaryum standleyanum</i>	Alta densidad en sotobosque	LC (Preocupación menor)	Palma clave para fauna. Dependiente de dispersión por guatines. Importante para regeneración

La selección de especies como *Prioria copaifera*, *Caryocar amygdaliferum*, *Dipteryx oleifera* y *Gustavia nana subsp. nana* para el modelo de créditos de carbono se hace a partir de su estructura arbórea, rareza ecológica, estado de conservación, frecuencia en el bosque Tulenapa y su rol funcional en el ecosistema. Estas especies reflejan no solo un alto potencial de captura de carbono, sino también un importante valor para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, condiciones que fortalecen la elegibilidad del bosque dentro de mercados de carbono con enfoque en co-beneficios sociales y ambientales.

## 6.2. Diseño del Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)

Para monetizar el Bosque Tulenapa se diseña conceptualmente un protocolo técnico para el monitoreo, reporte y verificación (MRV) del carbono capturado en el bosque Tulenapa. Este protocolo está alineado con los estándares del IPCC (2006) y del Verified Carbon Standard (VCS), que definirá límites del proyecto, líneas base de deforestación histórica y protocolos de monitoreo de stock de carbono. El modelo incorpora lecciones aprendidas de pilotos REDD+ que destacan la importancia de alianzas institucionales, financiamiento anticipado y participación comunitaria para garantizar la viabilidad y continuidad del proyecto (Harvey, Zerbock, Papageorgiou, Papageorgiou, & Parra, 2010).

El protocolo incluiría variables clave como biomasa aérea, carbono del suelo, y regeneración natural. Además, contempla una frecuencia de monitoreo cada cinco años y validación externa por entidades acreditadas. Adicionalmente, se propone una plataforma digital basada en una arquitectura con PostgreSQL/PostGIS, conexión API REST y visualización con Leaflet.

Se establece una hoja de ruta para fases de diseño, desarrollo, prueba y escalabilidad institucional de la plataforma. La funcionalidad incluiría carga de datos, visualización por parcelas y exportación de reportes periódicos de captura de carbono.

Cuantificar el carbono que capturan los bosques no es simplemente sumar árboles o calcular su peso, es una tarea compleja, que requiere seguir rutas bien trazadas por protocolos internacionales que aseguran precisión y coherencia. Entre los más respetados se encuentran las directrices del IPCC sobre uso del suelo, cambio de uso y silvicultura (IPCC, 2006), junto con estándares como Verified Carbono Standard (VCS) y el Gold Standard. Estos marcos metodológicos son como mapas detallados que guían cada paso del monitoreo y reporte de gases de efecto invernadero (GEI) (Honorocio C. & Baker, 2010). En el caso colombiano el IDEAM publicó en 2011 un “Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa – carbono”, el cual armoniza desde los criterios de muestreo hasta los modelos alométricos que predicen la biomasa a partir del diámetro de un tronco.

### **Importancia de estos protocolos**

- **Rigurosidad y comparabilidad:** No basta con tener cifras, estas deben hablar el mismo idioma. Por ello, los protocolos garantizan las estimaciones de carbono sean consistentes y comparables entre proyectos, ecosistemas y países (IPCC, 2006).
- **Transparencia y credibilidad:** En un contexto donde los créditos de carbono aún generan dudas, ceñirse a estándares reconocidos brindan confianza. Facilita que entidades externas verifiquen los datos y que los mercados, tanto voluntarios como regulados, acepten los resultados sin titubeos (Navarrete & Ordóñez Castro, 2022).
- **Gestión adaptativa:** Como los bosques no son estáticos, estos protocolos proponen indicadores clave y tiempos de medición definidos. Así, es posible ajustar prácticas de conservación y manejo cuando el ecosistema da señales de cambio, como si trata de leer los signos vitales de un paciente en recuperación.
- **Acceso a financiamiento:** En pocas palabras, sin protocolos no hay créditos. Cumplir con estas metodologías es condición indispensable para que un proyecto pueda generar créditos de carbono certificados fundamentales para ingresar a iniciativas como VCS, Gold Standard o REDD+.

Estos protocolos no solo ordenan el proceso; lo dotan de legitimidad técnica, lo hacen visible ante el mundo financiero y, sobre todo, nos permite traducir el esfuerzo ecológico en oportunidades concretas de sostenibilidad

### **6.2.1. Desarrollo del protocolo de monitoreo de carbono para el bosque Tulenapa.**

#### **6.2.1.1. Diseño de inventario y muestreo**

Para comenzar se propone una estratificación minuciosa del bosque. Es decir, se diferenciará zonas como el dosel, el sotobosque y los márgenes riparios, cada una con su propia dinámica ecológica. Luego se instalarán parcelas permanentes de 0.1 hectárea (20 x 50 m) en cada estrato. Estas parcelas funcionarán como pequeñas estaciones de observación continua, con sus coordenadas GPS registradas con precisión quirúrgica, para volver una y otra vez al mismo punto sin desviarse ni un metro.

#### **6.2.1.2. Medición de parámetros dendrométricos**

Cada árbol contará su historia a través del DAP, es decir, su diámetro a la altura del pecho, que se medirá a 1.3 metros del suelo usando una cinta dendrométrica. También se registrará su altura total, utilizando un clinómetro o, si se dispone, una torre LIDAR portátil, estos datos son clave, porque cada centímetro importa cuando se trata de calcular carbono.

#### **6.2.1.3. Estimación de biomasa**

Acto seguido, se recomienda estimar la biomasa aérea de los árboles. Para ello se emplearán ecuaciones alométricas regionales ya validadas, como las propuestas por (Yepes, y otros, 2011). Estas fórmulas, que combinan DAP, altura y densidad de la madera, son las indicadas para el estudio, pues son precisas y se adapta al contexto local.

#### **6.2.1.4. Análisis de carbono del suelo**

El carbono no solo está en los árboles. También vive en forma orgánica, bajo nuestros pies. Por eso, se recomienda tomar una muestra de suelo entre 0 y 30 cm de profundidad en cada parcela. En laboratorio se medirá el porcentaje de carbono orgánico, una variable muchas veces subestimada, pero esencial para entender el almacenamiento total.

#### **6.2.1.5. Reporte y verificación**

Para mantener el pulso del bosque, se recomienda que a partir de la línea base, se realice monitoreo cada cinco años. Además, habrá reportes anuales de avances. La verificación externa

correrá por cuenta de una auditoría independiente. Conforme a los estándares VCS y Gold Standard. Esto no solo aporta confianza, también asegura credibilidad internacional.

## **6.2.2. Establecimiento de la ruta para la plataforma digital.**

### **6.2.2.1. Requisitos funcionales**

La plataforma será el corazón digital del sistema. Allí se registrarán los datos de cada parcela y las mediciones asociadas (DAP, altura, biomasa, carbono del suelo). También calculará automáticamente los stocks de carbono y su equivalente CO<sub>2</sub>. Además, ofrecerá un historial detallado y generará alertas cuando se acerque una nueva campaña de muestreo.

### **6.2.2.2. Requisitos técnicos**

Se identifica un sistema con una base de datos relacionados PostgreSQL con extensión PostGIS, ideal para manejar datos espaciales, se conectará mediante una API REST<sup>2</sup>, que permitirá cargar y consultar datos de forma segura y eficiente. En la superficie, los usuarios interactuarán con una interfaz web intuitiva y visualmente clara, apoyada en mapas dinámicos desarrollados con Leaflet o una herramienta similar.

### **6.2.2.3. Desarrollo e implementación**

El desarrollo seguirá un camino progresivo. En la Fase 1 se definirá la arquitectura de datos. En la Fase 2 se construirá el backend<sup>3</sup> y la API. Luego, en la Fase 3, se diseñará el frontend con enfoque en usabilidad. En la Fase 4, se integrará el sistema con mecanismos de verificación para facilitar auditorías. Finalmente, la Fase 5, incluirá pruebas piloto en Tulenapa y talleres de capacitación para quienes usarán esta herramienta en el día a día.

Este sistema, en pocas palabras, no solo busca eficiencia, sino también confianza. Permitirá trazar, verificar y contar, con transparencia y solidez, cada gamo de carbono que el Bosque Tulenapa sea capaz de capturar.

---

<sup>2</sup> **API REST:** Es una interfaz de programación que usa las convenciones de HTTP (GET, POST, PUT, DELETE) para exponer “recursos” (datos o servicios) mediante URLs. Facilita la comunicación entre aplicaciones y asegura intercambios estandarizados de información, normalmente en formato JSON.

<sup>3</sup> **Backend:** Es la parte de una aplicación que corre en el servidor y no se ve directamente. Gestiona la lógica de negocio, las operaciones con la base de datos, la autenticación, la seguridad y expone APIs para que el frontend (la interfaz de usuario) consuma datos y servicios.

### 6.3. Fomento de la Participación Comunitaria y de Actores Relevantes

Los proyectos de carbono forestal no se sostienen únicamente con técnicas y datos; requieren el pulso y la pasión de la gente que habita el territorio. En pocas palabras, su verdadero motor es la conciencia colectiva y el compromiso diario de cada actor. Por ende, la educación ambiental, esa que impulsa entidades conscientes del cambio climático, actúa como chispas; sensibiliza, comparte saberes y muestra por qué cada hoja vibrante y cada arroyo cristalino importan de verdad (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, 2025).

#### Importancia de los programas y espacios de socialización

- **Empoderamiento local:** Cuando los vecinos comprenden cómo Tulenapa retiene CO<sub>2</sub> y sostiene servicios vitales (agua pura, refugio para fauna), se sienten protagonistas en su cuidado y renuevan sus lazos de custodia (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, 2025).
- **Legitimidad y gobernanza:** la participación ciudadana refuerza la transparencia en el cálculo y registro de créditos, garantizando que las decisiones nazcan de necesidades y sueños reales de la comunidad ( Ministerio del Interior y de Justicia & Universidad Pedagógica Nacional, 2021).
- **Sostenibilidad a largo plazo:** al sumar voces diversas, estudiantes curiosos, autoridades con visión y empresas responsables, aseguramos vigilancia constante y acceso a recursos para que el bosque siga latiendo con fuerza (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, 2025).

De este modo, involucrar a todos los actores no es un extra opcional; es el latido fundamental que da vida y sentido a cualquier iniciativa de créditos de carbono.

#### 6.3.1. Implementación de programas de socialización.

Se propone una estrategia de participación estructurada en cinco ciclos metodológicos (sprints), diseñados para facilitar la apropiación del modelo por parte de los actores institucionales, comunitarios y académicos vinculados al bosque Tulenapa.

Los sprints definidos son: (1) descubrimiento del territorio, (2) diseño colaborativo, (3) implementación piloto, (4) evaluación participativa, y (5) cierre y transferencia. Cada uno plantea actividades de formación, diálogo y validación técnica.

*Tabla 8 Implementación de programas de socialización - Fuente: Elaboración propia a partir de (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, 2025); ( Ministerio del Interior y de Justicia & Universidad Pedagógica Nacional, 2021).*

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Método Ágil</b>	<b>Público Objetivo</b>
<b>Sprint 1: Descubrimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taller “Conoce tu bosque y su carbono”</li> <li>• Encuesta de expectativas y saberes previos</li> </ul>	Reuniones breves diarias (daily stand-up) Mapa mental colaborativo	Comunidad universitaria (estudiantes, docentes) Visitas guiadas con residentes locales
<b>Sprint 2: Diseño participativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Co-creación de mensajes clave</li> <li>• Definición de roles y canales de comunicación (WhatsApp, carteleras)</li> </ul>	Sesiones de co-diseño (workshops) Prototipado rápido de materiales (posters, infografías)	Personal administrativo, egresados, investigadores Autoridades ambientales
<b>Sprint 3: Implementación piloto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charlas en aulas y espacios comunitarios</li> <li>• “Carbono en acción”: dinámica de medición de DAP y altura</li> </ul>	Entregas incrementales: cada charla se ajusta según feedback inmediato	Visitantes al bosque (turistas, estudiantes de colegios) Comunidad de Carepa
<b>Sprint 4: Retroalimentación &amp; escalado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reunión de validación de resultados</li> <li>• Ajuste de protocolo de socialización según sugerencias</li> </ul>	Retrospectiva al final de cada sprint Priorización de mejoras con backlog	Empresas e inversionistas interesados en créditos Jubilados y personal de apoyo
<b>Sprint 5: Consolidación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evento “Créditos de Carbono Tulenapa” con panel de actores</li> <li>• Firma de compromisos y cronograma anual</li> </ul>	Planificación de la siguiente fase (release planning) Tablero Kanban visible a todos	Todos los grupos anteriores, medios de comunicación, organizaciones de la sociedad civil

**6.3.2. Perfil de los grupos de interés**

*Tabla 9 Perfil de los grupos de interés*

<b>Grupo</b>	<b>Intereses y expectativas</b>	<b>Nivel de influencia</b>	<b>Nivel de afectación</b>	<b>Rol en el proyecto</b>
Universidad de Antioquia (UdeA)	Asegurar rigor académico, reputación institucional, cumplimiento de misión de conservación y sostenibilidad.	Alto	Alto	Promotor, financiador y supervisor técnico-académico.

Comunidad local (Carepa, Urabá)	Generación de oportunidades económicas, mejora de servicios ecosistémicos, participación en beneficios del proyecto.	Medio	Alto	Beneficiaria, co-gestora y vigilante del bosque.
Estudiantes e investigadores UdeA	Formación práctica, publicación de resultados, aporte científico.	Medio	Medio	Ejecutores de mediciones, análisis y difusión de resultados.
Administrativos y egresados UdeA	Fortalecimiento de redes institucionales, oportunidades de extensión y vinculación.	Bajo	Bajo	Apoyo logístico, divulgación y apoyo en enlace institucional.
Autoridades ambientales (Corpouraba)	Cumplimiento de normativas, conservación del patrimonio natural, coordinación de licencias y decretos.	Alto	Medio	Verificador, regulador y colaborador técnico.
Empresas e inversionistas	Rentabilidad de créditos, transparencia en el mercado, cumplimiento de estándares ( Verified Carbon Standard (VCS), s.f.) y (Gold Standard, 2023)	Alto	Bajo	Compradores de créditos, financiadores y auditores.
ONGs y sociedad civil	Protección de biodiversidad, justicia ambiental, transparencia y participación ciudadana.	Medio	Medio	Observadores y aliados en comunicación y vigilancia social.
Visitantes y turismo científico	Educación ambiental, experiencias de ecoturismo y divulgación de buenas prácticas.	Bajo	Bajo	Difusión externa y validación social del proyecto.

Además, se formula una propuesta preliminar de gobernanza basada en la creación de un Comité Multiactor con representación de la Universidad, comunidad local, entes ambientales y

potenciales compradores de créditos. Se sugieren mecanismos de toma de decisiones, roles diferenciados y rutas de articulación interinstitucional.

### 6.3.3. Mapa de interacción del modelo con los grupos de interés

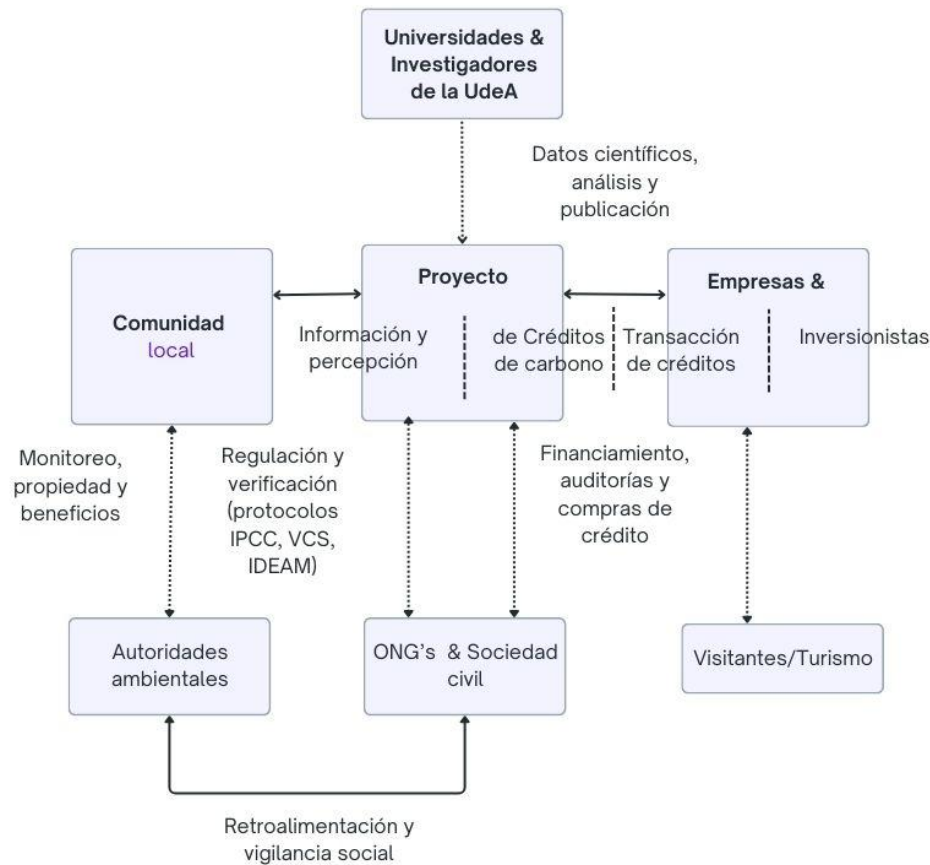


Ilustración 1 Mapa de interacción del modelo con los grupos de interés

**Fuente:** elaboración propia a partir de (Gold Standard, 2023) y (Verified Carbon Standard (VCS), s.f.)

- El proyecto es el nodo central que articula la generación de créditos de carbono mediante protocolos técnicos y científicos.
- UdeA (investigación, academia) aporta datos robustos y metodologías válidas.
- La comunidad local dona terreno, disfruta de beneficios y tiene una participa activa en el monitoreo.
- Autoridades ambientales regulan, verifican y certifican el cumplimiento de estándares globales.

- Empresas e inversionistas compran créditos y financian el proyecto.
- ONGs y sociedad civil actúan como observadores, promueve la transparencia y confianza.
- Visitantes, a través del ecoturismo científico validan la iniciativa y comparten relatos inspiradores.

Este entramado humano y técnico fluye un río de información, recursos y retroalimentación, garantizando una gobernanza inclusiva, inámica y sensible del modelo de créditos de carbono del Bosque Tulenapa.

## **6.4. Limitaciones para la venta de créditos de carbono**

### **6.4.1. Económicos**

Los costos de certificación (auditorias, elaboración del diseño del proyecto, monitoreo MRV) suelen ser costosos para un proyecto REDD+<sup>4</sup> de tamaño medio son contar con los honorarios anuales de verificación (Shoch, 2013). En un área reducida como Tulenapa, el costo por tonelada de CO<sub>2</sub> evitada puede ser bajo, lo cual erosiona la rentabilidad y disuade a compradores de créditos de pequeño volumen.

### **6.4.2. Complejidad técnica y requisitos de datos**

- Línea base y monitoreo: Es necesario contar con una serie histórica de al menos 10 años de tasa de deforestación y un inventario forestal detallado (parcelas permanentes, imágenes satelitales de alta resolución), además de aplicar metodologías IPCC y VCS para el cálculo de emisiones evitadas (Shoch, 2013).
- Riesgo de fuga: Proyectos pequeños con alta fragmentación territorial enfrentan mayores incertidumbres en la cuantificación de desplazamiento de actividad de tala, lo que encarece los factores de ajuste y aumenta la probabilidad de invalidación de créditos (Shoch, 2013).

---

<sup>4</sup> REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal) es un mecanismo internacional que busca incentivar económicamente la conservación de bosques en países en desarrollo, reconociendo y valorizando su rol en la mitigación del cambio climático.

**6.4.3. Barreras institucionales y de tenencia de la tierra**

- Para registrar en proyecto REDD+ bajo estándares voluntarios (VCS), la totalidad del área debe estar bajo control claro del promotor y sin conflictos de tenencia durante el periodo de referencia y de crédito (Shoch, 2013). En Muchos casos, la coexistencia de múltiples propietarios o falta de reconocimiento de reservas privadas (RPPN) complica la demostración de adicionalidad y permanencia.

## 7 Modelo

Los mecanismos de monetización del Bosque Tulenapa trascienden la venta de créditos de carbono y funcionan como “pases de valor” que reconocen y remuneran la conservación y los múltiples servicios ecosistémicos que ofrece este relicto urbano maduro de 144,2 ha (Universidad de Antioquia, 2023).

Por ejemplo, el establecimiento de Pagos por Servicios Ecosistémicos (PSE) convierte la regulación hídrica y la purificación del agua en un activo financiero, generando fondos constantes para restauración y manejo sostenible. Al mismo tiempo, la figura de Reserva Privada de Patrimonio Natural (RPPN) brinda exenciones fiscales y acceso a subvenciones municipales, reduciendo los costos de conservación y liberando recursos para programas comunitarios (Harvey, Zerbock, Papageorgiou, Papageorgiou, & Parra, 2010).

El ecoturismo científico y educativo añade otra fuente de ingresos: visitas guiadas, talleres de investigación y cursos de campo permiten a universidades, colegios y público general contribuir económicamente a cambio de experiencias formativas en sitio. Asimismo, la emisión de certificados verdes por cada hectárea protegida se convierte en un instrumento comercializable ante empresas locales que buscan demostrar su compromiso ambiental sin depender exclusivamente de los mercados de carbono ( Ministerio del Interior y de Justicia & Universidad Pedagógica Nacional, 2021).

En síntesis, esta estrategia diversificada, que combina PSE, RPPN, ecoturismo, certificados de conservación y alianzas público-privadas incentiva la participación de la comunidad, el sector privado y las autoridades locales, asegurando la sostenibilidad financiera y social del Bosque Tulenapa para las próximas décadas (Harvey, Zerbock, Papageorgiou, Papageorgiou, & Parra, 2010).

En la búsqueda de encontrar una forma de obtener fondos para la conservación y preservación del Bosque Tulenapa, se plantean dos opciones de monetización, primero una alternativa a través de proyectos REDD+ mucho más ligera que permita generar ingresos en el corto plazo y de paso para preparar el bosque para una venta de créditos de carbono en el largo plazo.

## 7.1. Modelo de monetización para el Bosque Tulenapa

El Bosque Tulenapa, con 144,2 ha de relicto de bosque urbano maduro, está declarado como Otras Medidas Efectivas de Conservación (OMEC) mediante la Resolución Superior 2552 de 2023, lo que cataloga como área de conservación in situ bajo gestión de la Universidad de Antioquia, con enfoque en biodiversidad, servicios ecosistémicos y valores culturales locales (Universidad de Antioquia, 2023).

### 7.1.1. Reconocimiento legal y figura OMEC

OMEC: La Universidad de Antioquia, ejerciendo sus facultades estatutarias, estableció 144,2 ha de Tulenapa como OMEC ante el consejo Superior, garantizando protección perpetua, autonomía administrativa y nominación ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia). – WCMC<sup>5</sup>. Los beneficios asociados con la figura OMEC son:

- Reconocimiento de gestión efectiva sin necesidad de figura privada (RNSC<sup>6</sup>) ni de exención predial, pero con posibilidad de acceso a subvenciones de conservación (art.33 Acuerdo Superior 1/1994) (Universidad de Antioquia, 2011).
- Autonomía para crear su plan de Manejo Ambiental, de parte de la Universidad de Antioquia (art 2) (Universidad de Antioquia, 2023).

### 7.1.2. Instrumentos de monetización OMEC

Tabla 10 Instrumento de monetización OMEC

Instrumento	Descripción
Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE)	Contratos con acueducto y municipio para remunerar la regulación hídrica, purificación y control de erosión propios del OMEC (Universidad de Antioquia, 2023).
Turismo científico y educativo	Programas de visitas y talleres en el OMEC Tulenapa, capitalizando su rol de laboratorio vivo para cursos de campo y capacitación (Universidad de Antioquia, 2023).

<sup>5</sup> WCMC: World Conservation Monitoring Centre, un centro especializado del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-WCMC).

<sup>6</sup> RNSC significa **Reserva Natural de la Sociedad Civil**. Es una figura jurídica y ambiental que se otorga en Colombia a predios privados que voluntariamente se destinan a la conservación de ecosistemas, bajo registro en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP).

Donaciones y “naming rights” <sup>7</sup>	Patrocinios corporativos para infraestructura (senderos, estaciones de monitoreo) dentro del OMEC gestionados por la Universidad de Antioquia (Universidad de Antioquia, 2011).
Certificados de conservación OMEC	Emisión de certificados verdes por hectárea OMEC, acreditados ante Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -WCMC, vendidos a industrias locales bajo normas APPA (art. 27 lit. i) (Universidad de Antioquia, 2023).
Concesiones de investigación	Tarifas por uso de parcelas permanentes OMEC para proyectos de I + D y monitoreo de biodiversidad (Universidad de Antioquia, 2023).
Pagos voluntarios locales (PVE <sup>8</sup> )	Aportes de empresas regionales para mantener el OMEC, con reconocimiento público y reportes semestrales de avances (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, 2025).

### 7.1.3. Gobernanza y reparto de ingresos en contexto OMEC

- **Fondo OMEC UdeA:** Los recursos se distribuyen de la siguiente forma; 80% para conservación, monitoreo y restauración dentro del OMEC; 20% para programas sociales y educativos.
- **Consejo Consultivo OME:** Son conforma con la participación de la Universidad de Antioquia, la Alcaldía de Carepa, Corpourabá y comunidad local, con el fin de tomar decisiones conjuntas sobre el uso de fondos y actividades.

### 7.1.4. Implementación y financiación

La implementación del OMEC Tulenapa requiere una hoja de ruta progresiva articulada con las capacidades institucionales de la Universidad de Antioquia, los requerimientos normativos y la participación activa de actores locales.

<sup>7</sup> **Naming rights**” (derechos de denominación) es un mecanismo de financiación en el cual una empresa o entidad privada paga por el derecho a poner su nombre en parte de una infraestructura o programa público, como un sendero, estación de monitoreo o aula al aire libre.

<sup>8</sup> **PVE:** Se refiere a un mecanismo en el que empresas de la región (por ejemplo, bananeras, turísticas o agroindustriales de Urabá) hacen **contribuciones económicas voluntarias** para apoyar la conservación del Bosque Tulenapa como OMEC.

Tabla 11 Implementación y financiación

Ruta	Descripción
Formalización del OMEC	Etapa completada mediante la Resolución Superior 2552 de 2023, lo cual legitima el marco institucional y habilita la Universidad de Antioquia como ente gestor autónomo (Universidad de Antioquia, 2023).
Diseño y adopción del Plan de Manejo Ambiental (PMA)	Documento en construcción, el cual incluye zonas de uso, actividades permitidas, estrategias de restauración, indicadores de biodiversidad y mecanismos de evaluación participativa. Será aprobado mediante acto administrativo del Rector
Diseño técnico del esquema de Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE)	Este componente deberá formularse en articulación con el IDEAM, empresa de servicios públicos y la Alcaldía de Carepa. Debe definir los servicios priorizados (hídrico, regulación térmica, biodiversidad), los beneficiarios (voluntarios o tributarios)
Desarrollo e implementación del piloto de ecoturismo científico y educativo	En el primer año, se desarrolla una experiencia piloto con visitas escolares, cursos de campo universitarios y jornadas abiertas para el público. Esto incluye el diseño de senderos interpretativos, estaciones pedagógicas y protocolos de ingreso.
Diseño e implementación de los certificados verdes del OMEC	En un plazo máximo de 6 meses, se crea una línea de “certificados de conservación” por hectáreas protegida en el OMEC, dirigidos a empresas interesadas en apoyar acciones de conservación sin necesidad de recurrir al mercado de carbono. Estos certificados pueden incluir métricas como; biodiversidad conservada, especies endémicas y acciones de restauración ejecutadas.
Consolidación del sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)	Establecer un sistema de monitoreo ambiental participativo, con reportes semestrales de indicadores de biodiversidad, cobertura vegetal, calidad del agua y servicios ecosistémicos. Esto permite evaluar el cumplimiento de los objetivos del OMEC y retroalimentar el Plan de Manejo Ambiental (PMA).
Búsqueda de confirmación y alianzas estratégicas	De forma paralela a los anteriores pasos, se gestiona alianzas con fondos ambientales, universidades, ONG y empresas privadas para cofinanciar las acciones del OMEC y expandir su imparto territorial

## 7.2. Modelo Integral para la Implementación de Crédito de Carbono en el Bosque Tulenapa

Tabla 12 Modelo integral para la implementación de créditos de carbono en el bosque Tulenapa

Fase	Actividad	Resultados esperados
Línea base y cuantificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventario florístico: 257 especies leñosas en 43 familias (Universidad de Antioquia, 2023)</li> <li>• Cálculo de biomasa y carbono por especie con ecuaciones alométricas regionales.</li> </ul>	Base de datos dendrométrica y estimación inicial de toneladas CO <sub>2</sub> .
Protocolo de monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de parcelas permanentes (0.1 ha) estratificadas por cobertura.</li> <li>• Procedimientos de medición DAP, altura y carbono edáfico según IPCC/VCS.</li> </ul>	Protocolo validado localmente con plan de muestreo cada cinco años
Plataforma digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de requisitos (API REST, PostGIS) para captura de datos, trazabilidad y reporte.</li> <li>• Desarrollo incremental (Kanban) de backend y frontend con mapas Leaflet.</li> </ul>	Sistema en línea para registro, cálculo y emisión de créditos.
Socialización y gobernanza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Talleres ágiles con estudiantes, comunidad, autoridades y empresas (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, 2025).</li> <li>• Mecanismo de retroalimentación continuo y toma de decisiones compartidas.</li> </ul>	Al menos 3 eventos participativos con representantes de todos los estamentos.
Validación y registro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Validación externa por auditor acreditado (Verified Carbon Standard (VCS), s.f.) y (Gold Standard, 2023).</li> <li>• Registro de créditos en plataforma pública o banco de carbono regional.</li> </ul>	Créditos certificados y serializados listos para comercialización.
Comercialización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de mercados voluntarios (precio proyectado &gt; \$380.000/t CO<sub>2</sub> para 2030).</li> <li>• Contratos con compradores (empresas, fondos de carbono).</li> </ul>	Flujo de ingresos sostenibles para la Universidad de Antioquia.

## 7.3. Roles de los grupos de interés

Tabla 13 Roles de los grupos de interés

Actor	Rol principal
Universidad de Antioquia (UdeA)	Líder técnico y fiduciario; genera datos, supervisa protocolo, administrará fondos de crédito.
Comunidad local (Carepa)	Proveedor de conocimiento tradicional, co-gestor del bosque y beneficiario de ingresos y servicios ecosistémicos.

Investigadores y estudiantes UdeA	Ejecutan inventarios, análisis y reportes; garantizan rigor científico y formación.
Autoridades ambientales (Corpouraba)	Verifican cumplimiento normativo; emiten permisos y facilitan registro de créditos.
Empresas e inversionistas	Compradores de créditos; financian fases de desarrollo y aportan contraprestaciones.
ONGs y sociedad civil	Velan por transparencia, participan en auditorías sociales y co-diseñan estrategias de conservación.
Visitantes y turismo científico	Validan en terreno; difunden la iniciativa y generan conciencia pública.

#### 7.4. Viabilidad del modelo

Tabla 14 Viabilidad del modelo

Horizonte	Factores clave	Nivel de factibilidad
<b>Corto plazo</b>	Inventario y protocolo (1 año); plataformas y talleres piloto; validación inicial.	<i>Alta</i> : recursos académicos y técnicos disponibles.
<b>Mediano plazo</b>	Escalado de socialización; registro de primeros créditos; contratos pilotos de venta.	<i>Media-Alta</i> : dependiente de certificación externa y comercial.
<b>Largo plazo</b>	Consolidación de ingresos; reinversión en restauración; establecimiento de banco de carbono regional.	<i>Media</i> : sujeto a demanda de mercado y políticas nacionales.

#### 7.5. Mercados voluntarios

##### 7.5.1. Mercados voluntarios internacionales

Los mercados voluntarios de carbono representan una oportunidad real para conectar proyectos como el Bosque Tulenapa con organizaciones, empresas, gobiernos, fundaciones, entre otras, que desean compensar sus emisiones de manera voluntaria y responsable (United Nations Environment Programme (UNEP), 2022). Son espacios donde el compromiso con el planeta se transforma en acciones concretas.

#### **VERRA: Verified Carbon Standard (VCS)**

Es, sin duda, el estándar más ampliamente utilizado a nivel global, sobre todo para proyectos forestales de uso de suelo (VERRA (Verified Carbon Standard), 2022). Permite registrar iniciativas como REDD+, reforestación, conservación de bosques maduros, como Tulenapa, bajo

protocolos avalados por (IPCC, 2006). Lo interesante de VCS es que no solo valora la captura de carbono, sino que también permite sumar “co-beneficios”; biodiversidad, participación comunitaria, educación, entre otros (VERRA (Verified Carbon Standard), 2022).

Eso sí, exige un seguimiento riguroso, auditorías externas y el cumplimiento estricto del protocolo MRV, lo cual puede ser demandante, pero porta credibilidad y respaldo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2023).

### **Gold Standard for the Global Goals**

Este estándar fue diseñado para proyectos con alma social. Si la iniciativa tiene impacto en género, educación, agua, salud, o gobernanza, aquí puede tener un valor adicional (Gold Standard, 2023). De hecho, muchas empresas dispuestas a pagar más por tonelada buscan precisamente esto co-beneficios certificados, por eso, es idea para proyectos universitarios con impacto territorial y participación comunitaria, como el planteado para el Bosque Tulenapa. Además, su enfoque en los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) le da fuerza ética y visibilidad global.

### **Plan Vivo**

Es una alternativa más accesible para proyectos pequeños, enfocados en comunidades rurales y desarrollo por universidades u ONG's (Plan Vivo Foundation, 2021).

Plan Vivo pone especial énfasis en que las comunidades estén realmente involucradas, no solo como beneficiarios sino como protagonistas. Una ventaja clave es que sus costos de certificación y verificación son considerablemente menores que los de VCS o Gold Standard, lo que lo hace atractivo para fases piloto o académicas. También ofrece una plataforma flexible, muy útil si el proyecto está en etapa temprana.

## ***7.5.2. Mercado voluntario nacional colombiano***

### **Mercado voluntario de carbono en Colombia (MVC – Colombia)**

Coordinado por el Ministerio de Ambiente y el IDEAM, este mercado ha ganado fuerza gracias a la legislación nacional (Ley 1819 de 2016, Decreto 926 de 2017). Permite registrar proyectos con estándares nacionales o internacionales y vender créditos a empresas que están obligadas a compensar emisiones o que desean hacerlo voluntariamente.

Un detalle clave; si la empresa compra estos créditos verificados, puede descontarlos directamente de su impuesto al carbono, lo que crea una demanda interna activa y constante (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2023).

### **BioCarbon Registry**

Esta plataforma 100% colombiana facilita el registro y la venta de créditos con menores costos operativos. Está bien posicionada entre compradores locales y es una excelente opción para proyectos que quieran empezar en el mercado nacional son complicarse demasiado con procesos internacionales (BioCarbon Standard, 2024). Además, al estar alineado con la legislación tributaria del país, representa una vía estratégica para fases iniciales de comercialización del proyecto Tulenapa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2023).

### **7.5.3. Plataformas y corredores internacionales**

#### **ClimateTrade**

Plataforma española que funciona como un “mercado directo” entre proyectos certificados y compradores. Tiene una interfaz amigable, permite pagos digitales y le da visibilidad internacional a proyectos forestales (ClimateTrade, 2023).

#### **South Pole**

Consultora global especializada en proyectos de carbono. Más que una plataforma, actúa como aliado técnico y comercial, ayudando a registrar, certificar y vender créditos en mercados globales. Tiene experiencia en América Latina, lo cual suma bastante (South Pole, 2022).

#### **Nori y Pachama (EE.UU.)**

Son plataformas emergentes que combinan blockchain y monitoreo satelital. Atraen a empresas tecnológicas que buscan compensaciones trazables y en tiempo real. Si se busca llegar a startups, fintechs o incluso fondos de inversión de impacto, pueden ser una alternativa para Tulenapa (United Nations Environment Programme (UNEP), 2022).

## 8. Conclusiones

Este proyecto avanza en el cumplimiento del objetivo general al diseñar una propuesta técnica y participativa para un modelo de captura de carbono forestal, aplicable al bosque Tulenapa. La propuesta integra lineamientos metodológicos de monitoreo y fortalece los procesos de conservación desde una perspectiva regenerativa, bajo estándares reconocidos como los del IPCC y el Verified Carbon Standard.

Los hallazgos permiten evidenciar la importancia de articular enfoques ecosistémicos, económicos y sociales que promuevan no solo la conservación sino la regeneración activa de los bosques, con criterios técnicos y estructuras de gobernanza efectiva. A partir del análisis de información secundaria, se priorizan especies nativas con alto potencial de captura de carbono y se formulan rutas que pueden servir como base para procesos de certificación futura.

La figura OMEC otorga al Bosque Tulenapa un régimen de conservación permanente y autónomo, facilitando instrumentos de monetización diversificados (PSE, ecoturismo, certificación, patrocinios). Este enfoque fortalece la sostenibilidad financiera, académica y comunitaria, asegurando la protección y valoración de sus servicios ecosistémicos a largo plazo.

Por otro lado, el enfoque participativo, estructurado en cinco sprints metodológicos, sienta las bases para una gobernanza multiactor del territorio, mientras que los principios de economía circular propuestos abren posibilidades para monetizar servicios ecosistémicos mediante mercados de carbono verificados. Esta dimensión comunitaria y de corresponsabilidad territorial refuerza la apropiación local del modelo y su sostenibilidad a largo plazo.

Adicionalmente, el desarrollo del protocolo MRV y la arquitectura tecnológica propuesta permiten proyectar la replicabilidad del modelo en otros contextos regionales con características ecológicas y sociales similares. Esta propuesta ofrece una hoja de ruta inicial para su validación en campo, fortalecimiento institucional y posible escalamiento a otras zonas del Urabá antioqueño.

En conclusión, el modelo de carbono propuesto representa una apuesta innovadora de la Universidad de Antioquia en alianza con actores del territorio, articulada a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 13: Acción por el clima, ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres, y ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos). Constituye un paso estratégico hacia la sostenibilidad ambiental con justicia climática y una herramienta para dinamizar nuevas formas de economía verde y gobernanza ambiental en la región.

## **9 Recomendaciones**

Para llevar a cabo el modelo integral de conservación y monetización del Boque Tulenapa, se propone diez ejes estratégicos como pilares interconectados; gobernanza y participación; reconocimiento legal y fortalecimiento institucional; diseño técnico y metodológico; capacidad y transferencia y conocimiento; infraestructura tecnológica; monitoreo, reporte y verificación (MRV); financiación y sostenibilidad financiera; restauración ecológica y aplicación territorial; comunicación y divulgación; y evaluación y mejora continua. Estos ejes responden no solo al diseño inicial de un modelo basado en créditos de carbono, sino también a las modificaciones necesarias para abordar sus limitaciones, integrar el enfoque REDD+ y ampliar las vías de monetización más allá del mercado de carbono.

### **9.1. Gobernanza y participación social**

Fortalecer la gobernanza local mediante la consolidación del Consejo Consultivo OMEC, compuesto por representantes de la Universidad de Antioquia, la Alcaldía de Carepa, Corpourabá y la comunidad. Este órgano lidera la toma de decisiones, garantizando representatividad, transparencia y corresponsabilidad en la gestión del bosque.

### **9.2. Reconocimiento legal y fortalecimiento institucional**

Formalizar y consolidar el estatuto del bosque como OMEC mediante la implementación efectiva de la Resolución 2552 de 2023. Complementar la figura con la posibilidad de acoger a esquemas REDD+ en el mediano plazo, si se logra superar las barreras de escala, tenencia y trazabilidad.

### **9.3. Diseño técnico y metodológico**

Actualizar el diseño técnico del proyecto, incluyendo el protocolo de monitoreo y verificación (MRV) adaptado a la realidad del OMEC, e integrar metodologías IPCC/VCS para eventuales ciclos REDD+. Desarrollar el Plan de Manejo Ambiental (PMA) con enfoque ecosistémico, social y educativo.

#### **9.4. Capacitación y transferencia de conocimiento**

Desarrollar programas formativos continuos dirigidos a estudiantes, técnicos comunitarios y personal institucional sobre gestión forestal, medición de carbono, restauración ecológica y normatividad ambiental. Incorporar una estrategia de formación de formadores con impacto multiactor.

#### **9.5. Infraestructura tecnológica**

Implementar una plataforma digital de monitoreo geoespacial que permita visualizar parcelas permanentes, registrar datos de biodiversidad, controlar servicios ecosistémicos y facilitar el reporte público. Incorporar herramientas como Leaflet, PostGIS y API REST en fases progresivas.

#### **9.6. Monitoreo, reporte y verificación**

Establecer un sistema de monitoreo participativo con indicadores de carbono, biodiversidad, restauración y uso público. Integrar métodos de observación remota y censos de campo, con reporte semestral a los actores locales y publicación en línea para garantizar transparencia.

#### **9.7. Financiación y sostenibilidad financiera**

Rediseñar el componente financiero del modelo incorporando mecanismos alternativos de monetización:

- Pagos por Servicios Ecosistémicos (PSE) con empresas de servicios públicos, el municipio de Carepa y actores de la región.
- Turismo científico y educativo.
- Donaciones corporativas y “naming rights”.
- Certificaciones de conservación del OMEC para empresas locales.
- Pagos Voluntarios Empresariales (PVE) regionales.

Estos instrumentos diversifican el ingreso y reducen la dependencia del mercado de carbono.

### **9.8. Restauración ecológica y ampliación territorial**

Incluir metas de restauración en bordes degradados (al menos 20ha en 5 años), con especies nativas clave como *Prioria copaifera* y *Caryocar amygdaliferum*. Explorar la incorporación de relictos boscosos aledaños al POMECA para conformar un banco de carbono o paisajes funcional ampliado.

### **9.9. Comunicación y divulgación**

Diseñar una estrategia de comunicación para difundir los beneficios del OMEC Tulenapa a través de redes institucionales, publicaciones, eventos comunitarios y alianzas con medios regionales. Generar materiales didácticos accesibles para todos los públicos.

### **9.10. Evaluación y mejora continua**

Implementar un sistema de evaluación anual del modelo, basado en indicadores de impacto ambiental, social y económico. Usar los resultados para adaptar el plan de manejo y reorientar acciones. Incluir auditorías externas para fortalecer la credibilidad del proyecto.

## Referencias

- Ministerio del Interior y de Justicia, & Universidad Pedagógica Nacional. (2021). *Ministerio del Interior y de Justicia*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://comunal.mininterior.gov.co/documentos/NORMATIVIDAD/Publicaciones/guia%209%20-%20Medio%20ambiente.pdf>
- Aalde , H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Ogle , S., . . . Somogyi, Z. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - IPCC*. Recuperado el 21 de mayo de 2025, de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_04\\_Ch4\\_Forest\\_Land.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf)
- Amu Vente, W. (2018). Consencuencias de la comercialización de bonos de carbono en Colombia. *Universidad Cooperativa de Colombia*. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/3621/1/2018\\_Consecuencias\\_comercializacion.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/3621/1/2018_Consecuencias_comercializacion.pdf)
- Andramunio-Acero, & et. (2024). *Fundación Natura Colombia*. Recuperado el 21 de mayo de 2025, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): [https://natura.org.co/wp-content/uploads/2024/02/V1\\_Documento-metodologico-Protocolo-Carbono-Humedales-08-02-24.pdf](https://natura.org.co/wp-content/uploads/2024/02/V1_Documento-metodologico-Protocolo-Carbono-Humedales-08-02-24.pdf)
- ASOCARBONO. (2020). Diálogo sobre el estado actual del mercado de. Ciudad de Panamá. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RCCReport2019\\_RCC%20Panamafinal1\\_Sp.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RCCReport2019_RCC%20Panamafinal1_Sp.pdf)
- BioCarbon Standard. (4 de junio de 2024). *BioCarbon Standard*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de [https://biocarbonstandard.com/wp-content/uploads/BCR\\_Estandar.pdf](https://biocarbonstandard.com/wp-content/uploads/BCR_Estandar.pdf)
- Black A, T., Blanco, J., Villa, A., & Castaño, L. (2000). Estudio de Estrategia Nacional para la Implementación del MDL. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de [https://www.rds.org.co/aa/img\\_upload/4511420d3e057b82d476661a73bb159c/Estr\\_MDL\\_NSS\\_espanol](https://www.rds.org.co/aa/img_upload/4511420d3e057b82d476661a73bb159c/Estr_MDL_NSS_espanol)
- Blanco Libreros, J. (23 de noviembre de 2018). El bosque de Tulenapa: pulmón de Urabá. *UdeA Noticias*. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea->

- oticia/!ut/p/z1/tZRdb5swFIb\_Sm9yadl8GJxLIKXJutDQNeSDm8qASTyBTcDJpv76GVXqVql0aSsjgX2sw-PzHI4DE7iGiaBHvqWKS0FLHW8S74kMR7YVuGiGPNdDgRe52LcnzmKJ4KqX8MPCKHgyR\_eL-Sj6dmfD5Jr30ZkrQNe9\_05C8j5-CROY
- ClimateTrade. (2023). *ClimateTrade*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://climatetrade.com/es/inicio/>
- Contreras Camargo, P. (31 de mayo de 2017). *DIRECCIÓN DE IMPUESTOS Y ADUANAS NACIONALES - DIAN*. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://globalb.co/wp-content/uploads/2017/08/29-Con-DIAN-13505-2017-Bonos-carbono-IVA-y-retefuente.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. (2025). *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de [cvc.gov.co: https://cvc.gov.co/sites/default/files/2024-09/Anexo%201.%20Guia%20de%20educaci%C3%B3n%20ambiental.pdf](https://cvc.gov.co/sites/default/files/2024-09/Anexo%201.%20Guia%20de%20educaci%C3%B3n%20ambiental.pdf)
- CORPOURABA. (marzo de 2018). *Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA*. Recuperado el 12 de mayo de 2025, de <https://corpouraba.gov.co/wp-content/uploads/107-Tomo-V-Vegetaci%C3%B3n-Flora-Fauna-y-Ecosistemas-1.pdf>
- De la Rosa, M. (28 de noviembre de 2022). *Universidad del externado*. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://medioambiente.uexternado.edu.co/creditos-de-carbono-que-son-y-cuales-han-sido-alguna-de-las-problematicas-en-su-aplicacion/>
- Delgado Huertos, E. (1998). Consumo y medio ambiente. *Tabanque*, 12 - 13, 41 - 64. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de <file:///C:/Users/ADMINISTRATIVO/Downloads/Dialnet-ConsumoYMedioAmbiente-127576.pdf>
- Deloitte. (febrero de 2022). Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2022/Mercados-Voluntarios-de-Creditos-de-Carbono.pdf>
- Fronti de García, L., & Fernández Cuesta, C. (junio de 2007). EL PROTOCOLO DE KIOTO Y LOS COSTOS AMBIENTALES. *Revista del Instituto International de Costos - Dialnet*, 9 -31. . doi:ISSN 1646-6896
- Giraldo Quintero, C. (2017). *Evaluación del mercado regulado de bonos de carbono vs el mercado voluntario en proyectos hidroeléctricos en Colombia*. Trabajo de grado, Universidad

- Nacional de Colombia, Medellín. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63147/1017157086.2018.pdf?sequence=1>
- Global Financial Integrity (GFI); Corporación Transparencia por Colombia & Centro de Alternativas al Desarrollo (CEALDES). (diciembre de 2024). *Transparencia por Colombia*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://transparenciacolombia.org.co/wp-content/uploads/2024/12/Informe-Completo-Mercado-Voluntario-de-Carbono-en-Colombia-V2.pdf>
- Gold Standard. (2023). *Gold Standard for the Global Goals*. Recuperado el 24 de mayo de 2025, de Gold Standard for the Global Goals: <https://globalgoals.goldstandard.org/>
- González Toro, R. (2023). *Territorios Sostenibles*. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de <https://territoriossostenibles.com/biodiversidad-y-ecosistemas/bosque-tulenapa-en-uraba-fue-declarado-como-area-de-conservacion-para-la-biodiversidad/#:~:text=biodiversidad%20%2D%20Territorios%20Sostenible,Bosque%20Tulenapa%20en%20Urab%C3%A1%20fue%20dec>
- Harvey, C. A., Zerbock, O., Papageorgiou, s., Papageorgiou, S., & Parra, A. (2010). *¿Qué se necesita para hacer REDD+ funcionar en el campo?* Resumen ejecutivo y recomendaciones, Conservation International, Arlington, Virginia. Recuperado el 3 de junio de 2025, de [https://redd.unfccc.int/uploads/2\\_210\\_redd\\_20100729\\_ci\\_sum\\_es.pdf](https://redd.unfccc.int/uploads/2_210_redd_20100729_ci_sum_es.pdf)
- Honorocio C., E. N., & Baker, T. R. (octubre de 2010). *Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana* . Recuperado el 22 de mayo de 2025, de Universidad de Leeds: [https://rainfor.org/wp-content/uploads/sites/129/2022/06/Honorio\\_Baker2010-Manual-carbono.pdf](https://rainfor.org/wp-content/uploads/sites/129/2022/06/Honorio_Baker2010-Manual-carbono.pdf)
- Ibarra, D., & Escobar, L. (s.f.). Mercado de bonos de carbono. *Laboratorio de Análisis Económico y Social, A. C. y unam*, 17 - 38. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de <https://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2017/07/09te2.pdf>
- IPCC. (2006). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de [https://archive.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)
- Juan Felipe , B. L. (abril de 2014). *Universidad de Antioquia*. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de

- file:///C:/Users/ADMINISTRATIVO/Downloads/aguzmanh,+Experimenta+Ed+10\_V\_27  
sept\_compressed-6-8.pdf
- López Toache, V., Romero Amado, J., Toache Bertto, G., & García Sánchez, S. (enero - junio de 2016). Bonos de carbono: financiarización del medioambiente en México. *Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 25(47), 191-215. doi:0188-4557
- Melo, J., & Hernández, N. (enero de 2018). *Proantioquia*. Recuperado el 11 de abril de 2025, de [https://antioquiasostenible.proantioquia.org.co/sites/default/files/2020-07/documentos/20180228\\_RUTA%20URABA.pdf](https://antioquiasostenible.proantioquia.org.co/sites/default/files/2020-07/documentos/20180228_RUTA%20URABA.pdf)
- Méndez Raigoza, M., & Restrepo Amariles, E. (2013). *Los bonos de carbono y el impacto en la economía colombiana*. Universidad EIA, Bogotá. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/b194087b-da04-40b7-afe3-998278a229d6>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2023). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de Minambiente: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/Mercados-de-Carbono-Libro-Minambiente.pdf>
- Navarrete, D., & Ordóñez Castro, M. (2022). *The Nature Conservancy*. doi: ISBN: 978-958-52666-4-3
- Nevado Velásquez, S. (2019). *Modelamiento y simulación de mercados de carbono en Colombia como estrategia de mitigación al cambio climático*. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Antioquia, Medellín. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77357/1037625076.2019.pdf?sequence>
- Piedrahita Tamayo, N. (junio de 2022). Por la protección de una selva húmeda del Urabá antioqueño. *Alma Mater*(718), 6 - 7. doi:ISSN 1657- 4303
- Piedrahita Tamayo, N. (junio de 2022). Por la protección de una selva húmeda del Urabá antioqueño. *Alma Mater Universidad de Antioquia*(717), 6 - 7. Recuperado el 20 de mayo de 2024, de [https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia/!ut/p/z0/fYwxD4IwFIT\\_igujeY-KBUfiYGIcHIyBLuYFGi2WvgLF-PMFHYyLy-Xu8t2BggKUo4e5UjDsyE65VPKSbbYizhM8oEwk5vKYrFOxW53OCHtQ\\_4HpwTRdp3JQFbugnWEKz30gO9aaIqThN9241R8\\_68JxMJWhIcL32pmaZ-pb](https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia/!ut/p/z0/fYwxD4IwFIT_igujeY-KBUfiYGIcHIyBLuYFGi2WvgLF-PMFHYyLy-Xu8t2BggKUo4e5UjDsyE65VPKSbbYizhM8oEwk5vKYrFOxW53OCHtQ_4HpwTRdp3JQFbugnWEKz30gO9aaIqThN9241R8_68JxMJWhIcL32pmaZ-pb)

- Plan Vivo Foundation. (2021). *Plan Vivo Foundation*, 5.0. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://www.planvivo.org/>
- Rügnitz Tito, M., Chacón León, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Technical Manual, Centro Mundial Agroflorestal, Lima. doi:ISBN: 978-92-9059-254-9
- Sandoval, A. (29 de noviembre de 2019). Una mirada a las áreas protegidas del Urabá-Darién: esquina de tesoros naturales de Colombia. *Revista Universidad Nacional*, 22(2), 291 - 302. doi:<https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.76047>
- Sanhueza, J. E. (s.f.). *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. Recuperado el 24 de mayo de 2024, de <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20habla,orientaci%C3%B3n%20general%20al%20Mecanismo%20Tecnol%C3%B3gico>.
- Shoch, D. T. (enero de 2013). *ResearchGate*. Recuperado el 3 de junio de 2025, de [https://www.researchgate.net/publication/313813590\\_Project\\_Developer's\\_Guidebook\\_to\\_VCS\\_REDD\\_Methodologies](https://www.researchgate.net/publication/313813590_Project_Developer's_Guidebook_to_VCS_REDD_Methodologies)
- South Pole. (2022). *South Pole*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://www.southpole.com/what-we-do/project-finance>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *United Nations Environment Programme (UNEP)*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://www.unep.org/topics/climate-action/climate-finance/carbon-markets>
- Universidad de Antioquia. (2011). *Acuerdo Superior 1 de 1994*. Acuerdo Superior , Universidad de Antioquia, Consejo Superior, Medellín. Recuperado el 2 de junio de 2025, de [https://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/582e2ba1-c294-4515-961c-96530772faeb/EstatutoGeneral07\\_12\\_2011.pdf?MOD=AJPERES#:~:text=Art%C3%ADculo%2033.&text=Son%20funciones%20del%20Consejo%20Superior,de%20investigaci%C3%B3n%20y%20de%20extensi%C3%B3n](https://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/582e2ba1-c294-4515-961c-96530772faeb/EstatutoGeneral07_12_2011.pdf?MOD=AJPERES#:~:text=Art%C3%ADculo%2033.&text=Son%20funciones%20del%20Consejo%20Superior,de%20investigaci%C3%B3n%20y%20de%20extensi%C3%B3n).
- Universidad de Antioquia. (2023). *Bosque Tulenapa. Refugio de biodiversidad natural*. Universidad de Antioquia, Dirección de Regionalización, Medellín. Recuperado el 20 de mayo de 2025

- Universidad de Antioquia. (2023). *Consejo Territorial de Planeación de Antioquia*. Recuperado el 11 de mayo de 2025, de [https://ctpantioquia.co/wp-content/uploads/2023/12/Perfil-de-desarrollo-Uraba\\_compressed1.pdf](https://ctpantioquia.co/wp-content/uploads/2023/12/Perfil-de-desarrollo-Uraba_compressed1.pdf)
- Universidad de Antioquia. (2023). *Resolución Superior 2552*. Resolución Superior, Universidad de Antioquia, Consejo Superior, Medellín. Recuperado el 2 de junio de 2025, de <https://udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/1fbf5774-fd8b-4741-9d16-22b30bb47363/RS+2552++-+CSU+del+25+de+abril+de+2023+%281%29.pdf?MOD=AJPERES&CVID=owRzp9F>
- Vargas Castro, A. M. (10 de diciembre de 2018). *Oportunidad de negocio en Colombia con la captura de carbono a través de proyectos forestales*. Universidad Militar Nueva Granada. Cajicá, Cundinamarca: Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <http://hdl.handle.net/10654/20864>
- Vargas Ríos, O., Díaz Triana, J. E., Reyes Bejarano, S. P., & Gómez Ruiz, P. A. (2012). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de Universidad Nacional de Colombia: [https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/plan\\_nacional\\_restauracion/Anexo\\_8\\_Guias\\_Tecnicas\\_Restauracion\\_Ecologica\\_2.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/plan_nacional_restauracion/Anexo_8_Guias_Tecnicas_Restauracion_Ecologica_2.pdf)
- Velázquez de Castro González, F. (marzo - abril de 2005). Cambio climático y Protocolo de Kioto. Ciencia y estrategias. Compromisos para España. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 191 - 201. doi:ISSN 2173-9110
- Verified Carbon Standard (VCS). (s.f.). *Verra*. Recuperado el 24 de mayo de 2025, de <https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/vcs-program-details/>
- VERRA (Verified Carbon Standard). (2022). *VERRA (Verified Carbon Standard)*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/>
- World Wildlife Fund (WWF). (2001). *Protocolo de Kioto: Situación actual y perspectivas*. Madrid: World Wildlife Fund (WWF). Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://www.ceida.org/prestige/Documentacion/Protocolo%20Kioto.pdf>
- Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Philips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., . . . Ordoñez, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono*

*en Colombia*. Protocolo, Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM, Bogotá. doi:ISBN: 978-958-8067-34-6

## Anexos

### Especies con categoría de amenaza presentes en el Bosque Tulenapa

**CITES:** Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. **IUCN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. **CR:** en peligro crítico. **EN:** en peligro. **VU:** vulnerable. **LC:** preocupación menor. **NT:** casi amenazada.

*Tabla 15 Especies con categoría de amenaza presentes en el Bosque Tulenapa - Fuente: Elaboración propia a partir del informe Bosque Tulenapa: Refugio de biodiversidad natural*

Familia	Especie	Categoría de amenaza	CITES
Anacardiaceae	Anacardium excelsum (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels	NT	
Arecaceae	Reinhardtia simplex (H. Wendl.) Drude ex Dammer	CR	
Arecaceae	Astrocaryum standleyanum L.H. Bailey	LC	
Arecaceae	Phytelephas macrocarpa Ruiz & Pav.	LC	
Arecaceae	Socratea exorrhiza (Mart.) H. Wendl	LC	
Arecaceae	Chamaedorea tepejilote Liebm.	LC	
Arecaceae	Desmoncus orthacanthos Mart	LC	
Arecaceae	Attalea butyracea (Mutis ex L. f.) Wess. Boer	LC	
Arecaceae	Bactris maraja Mart.	LC	
Arecaceae	Geonoma interrupta (Ruiz & Pav.) Mart.	LC	
Bromeliaceae	Tillandsia balbisiana Schult. f.	LC	
Bromeliaceae	Tillandsia fasciculata Sw.	LC	
Bromeliaceae	Tillandsia longifolia Baker	LC	
Cactaceae	Pereskia bleo (Kunth) DC.		II
Caryocaraceae	Caryocar amygdaliferum Mutis	VU	
Chrysobalanaceae	Parinari pachyphylla Rusby	EN	
Chrysobalanaceae	Licania arborea Seem.	EN	
Fabaceae	Prioria copaifera Griseb.	EN	
Fabaceae	Dipteryx oleifera Benth.	VU	
Lecythidaceae	Gustavia nana Pittier subsp. nana	VU	
Lecythidaceae	Gustavia dubia (Kunth) O. Berg	VU	
Primulaceae	Clavija mezii Pittier	NT	

## Bosque Tulenapa



*Ilustración 2 Contraste entre la cobertura boscosa al interior de Tulenapa y las extensas bananeras que la rodean. Fotografía: Juan Felipe Blanco Libreros.*



*Ilustración 3 Ceiba pentandra, mejor conocida como La Catedral, árbol de grandes dimensiones que está en el interior del bosque de Tulenapa. Fotografía: Ana María Sepúlveda Seguro.*



*Ilustración 4 El suelo del bosque es un gran reservorio de carbono, dada su alta concentración de materia orgánica. Imagen: Juan Felipe Blanco Libreros*

#### **Fichas Técnicas de Especies Clave para Captura de CO<sub>2</sub> en Tulenapa**

*Tabla 16 Fichas Técnicas de Especies Clave para Captura de CO<sub>2</sub> en Tulenapa - Fuente: Elaboración propia a partir del informe Bosque Tulenapa: Refugio de biodiversidad natural*

<b>Especie científica</b>	<b>Familia</b>	<b>Categoría UICN</b>	<b>Uso/Potencial ecológico</b>	<b>Observaciones relevantes</b>
Caryocar amygdaliferum	Caryocaraceae	VU	Árbol de bosque maduro, madera valiosa, semillas comestibles	Indicador de bosques primarios
Prioria copaifera	Fabaceae	VU	Asociado a ecosistemas inundables, madera densa	Alto potencial de captura de carbono
Dipteryx oleifera	Fabaceae	VU	Madera pesada, frutos consumidos por fauna	Importante en dinámicas tróficas
Gustavia nana subsp. nana	Lecythidaceae	VU	Árbol de zonas húmedas, polinización especializada	Requiere restauración de hábitat ripario
Gustavia dubia	Lecythidaceae	EN	Madera ornamental, especie de	Vulnerable por pérdida de hábitat

			distribución restringida	
				Sensible a perturbaciones
Parinari pachyphylla	Chrysobalanaceae	EN	Árbol importante en restauración ecológica	Potencial para banco de germoplasma
Licania arborea	Primulaceae	NT	Endémica, ornamental, importancia ecosistémica y cultural	Distribución limitada
Clavija mezii	Arecaceae	CR	Palma de sotobosque, única en Tulenapa y Serranía de Abibe	Potencial simbólico y de conservación única