

# Defensores del Planeta

## La Importancia del Bosque de Vásquez Pampa en la Mitigación del Cambio Climático

*Carlos Emilio Navas Del Águila*



**IDEOS**

Centro de Investigación  
y Producción Científica

# **Defensores del Planeta**

La Importancia del Bosque de Vásquez

Pampa en la Mitigación del Cambio

Climático

Editor



**Defensores del Planeta**

La Importancia del Bosque de Vásquez Pampa en la Mitigación del Cambio Climático

Carlos Emilio Navas Del Aguila

**Editado por**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN & PRODUCCIÓN CIENTÍFICA  
IDEOS E.I.R.L

**Dirección:** Calle Teruel 292, Miraflores, Lima, Perú.

**RUC:** 20606452153

Primera edición digital, Agosto 2024

Libro electrónico disponible en [www.tecnohumanismo.online](http://www.tecnohumanismo.online)

**ISBN:** 978-612-49674-8-1

**Registro de Depósito legal N°:** 2024-05835

ISBN: 978-612-49674-8-1



**Carlos Emilio Navas Del Aguila**

<https://orcid.org/0000-0002-1224-1544>

[pagki2020@gmail.com](mailto:pagki2020@gmail.com)

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas - Perú

Este libro científico se ha originado de la investigación denominada:

**“EL BOSQUE DE VÁSQUEZ PAMPA: UN SUMIDERO DE  
CARBONO CLAVE EN LA AMAZONÍA PERUANA”**

Presentada por Carlos Emilio Navas Del Aguila.

## RESEÑA

El bosque de Vásquez Pampa en Luya Viejo, Luya, Amazonas, es un bosque maravilloso que consume dicha cantidad de carbono y que no permite que esta suba al aire. En la investigación, se mide cómo el carbono entra en este bosque, qué pasa con él cuando llega, permanece, por ejemplo, en los árboles, en la tierra.

Dentro del análisis, se hacen pruebas de diversas maneras: se va a la naturaleza, se hacen experimentos en el laboratorio, se lee material científico para ver cuánto carbono guarda, protege, expulsa el bosque de Vásquez Pampa. Este bosque está haciendo un papel muy interesante en cuanto al consumo de dióxido de carbono y en cuanto a mantener limpio el planeta.

Este artículo le cuenta lo necesario que resultan los bosques, de qué forma nos ayudan a nosotros y al planeta Tierra. Este fragmento habla sobre cómo nuestros bosques, como el de Vásquez Pampa, están en peligro, afectados, por cosas que hacemos como talar bosques, ensuciar, y cómo podría ser, deberíamos hacerlo mejor para salvar nuestro bosque de forma que no largue más dióxido de carbono al aire. Habría que hacer regulaciones fuertes, y salvaguardas, por los bosques, como por el bosque de Vásquez Pampa, ya que hacen una función fundamental en la lucha contra el cambio climático.

## Índice

RESEÑA.....	3
INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO I.....	11
<b>Descripción Geográfica y Ecológica</b> .....	11
<b>Especies Predominantes y su Relevancia</b> .....	12
CAPÍTULO II.....	15
<b>Objetivo del Estudio</b> .....	15
<b>Metodologías Empleadas</b> .....	16
Cuantificación de la Captura de Carbono en la Biomasa Aérea.....	16
Revisión de la Literatura Científica.....	20
Análisis de Amenazas y Estrategias de Manejo .....	20
CAPÍTULO III .....	22
<b>Metodología de Muestreo y Análisis del Suelo</b> .....	22
Diseño de Muestreo y Extracción de Muestras de Suelo .....	23
Preparación y Procesamiento de las Muestras de Suelo.....	24
Análisis del Contenido de Carbono Orgánico .....	24
<b>Conversión de Datos y Análisis de Resultados</b> .....	25
Conversión a Contenido de Carbono por Unidad de Área .....	25
Resultados del Contenido de Carbono en Diferentes Profundidades .....	26
<b>Importancia del Almacenamiento de Carbono en el Suelo</b> .....	27
<b>Implicaciones para el Manejo Forestal y la Conservación</b> .....	27
CAPÍTULO VI .....	30
<b>Estudios Comparativos en Bosques de Pino y Tropicales</b> .....	30
Bosques de Pino .....	30
Bosques Tropicales.....	32
<b>Modelos y Factores de Conversión Utilizados</b> .....	33
Modelos de Estimación de Biomasa.....	33
Factores de Conversión de Biomasa a Carbono .....	34
Modelos de Estimación de Carbono en el Suelo .....	35
CAPÍTULO V.....	38
<b>Captura de Carbono en la Biomasa Aérea del Bosque</b> .....	38
<b>Almacenamiento de Carbono en el Suelo del Bosque</b> .....	40
<b>Comparación con Otros Bosques de la Región</b> .....	41
CAPÍTULO VI .....	44

Deforestación y sus Impactos .....	44
Degradación del Bosque y Factores Contribuyentes .....	48
CAPÍTULO VII .....	52
Prevenición de la Deforestación.....	52
Control de la Degradación Forestal.....	53
Restauración y Reforestación.....	55
Diversificación de Especies .....	56
Manejo Adaptativo del Bosque .....	57
CAPÍTULO VIII.....	59
Beneficios Locales del Manejo Sostenible del Bosque .....	59
Provisión de Servicios Ecosistémicos .....	59
Sostenibilidad Económica y Oportunidades de Desarrollo .....	60
Conservación de la Biodiversidad y Protección de los Medios de Vida.....	61
Importancia Global en la Mitigación del Cambio Climático .....	62
Captura y Almacenamiento de Carbono.....	62
Comparación con Otros Ecosistemas Globales .....	63
Contribución a los Objetivos Climáticos Internacionales .....	64
Estrategias Globales para la Conservación del Bosque de Vásquez Pampa .....	65
CAPÍTULO IX .....	67
Mecanismos de Financiamiento Internacional .....	67
Cooperación Científica y Técnica.....	69
Sensibilización y Educación Ambiental.....	70
Integración en Políticas Climáticas y de Biodiversidad .....	71
CONCLUSIONES.....	73
Referencias Bibliográficas .....	79

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha convertido en una de las mayores amenazas ambientales, económicas y sociales que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. La acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, especialmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es el principal motor del calentamiento global, provocando alteraciones significativas en los sistemas climáticos y ecológicos del planeta. Esta acumulación de GEI es en gran parte consecuencia de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación, y otros cambios en el uso de la tierra, que han contribuido al aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera desde la era preindustrial (IPCC, 2021). En este contexto, la mitigación del cambio climático ha surgido como una prioridad urgente en la agenda global, y los ecosistemas forestales han sido reconocidos como componentes fundamentales en esta lucha debido a su capacidad para actuar como sumideros naturales de carbono.

Los bosques, al absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera y almacenarlo en su biomasa y suelos, desempeñan un papel crucial en la regulación del ciclo del carbono terrestre. Durante el proceso de fotosíntesis, las plantas convierten el CO<sub>2</sub> en compuestos orgánicos que forman parte de su estructura, mientras que el carbono también se deposita en el suelo a través de la caída de hojas y la descomposición de materia orgánica. Este proceso de secuestro de carbono ayuda a reducir las concentraciones de GEI en la atmósfera, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (Canadell y Raupach, 2008; Lal, 2008). Diversos estudios han confirmado que los bosques, con su capacidad para almacenar grandes cantidades de carbono tanto en la biomasa aérea como en el suelo, son esenciales para las estrategias de mitigación del cambio climático a nivel global (Gibbs et al., 2007; Pan et al., 2011).

El Bosque de Vásquez Pampa, ubicado en la región de Luya Viejo, Luya, Amazonas,

Perú, es un ejemplo notable de un ecosistema forestal con un alto potencial para la captura y almacenamiento de carbono. Dominado por especies de pinos que son altamente eficientes en la absorción de CO<sub>2</sub>, este bosque representa un recurso natural invaluable no solo por su biodiversidad, sino también por su capacidad para contribuir a la lucha global contra el cambio climático. Además, el Bosque de Vásquez Pampa desempeña un papel importante en la regulación del clima local, la conservación del suelo, y la protección de recursos hídricos, lo que refuerza aún más su relevancia ecológica y ambiental.

En este libro, se explora en profundidad la importancia del Bosque de Vásquez Pampa en la mitigación del cambio climático, proporcionando una visión integral de sus características ecológicas, su capacidad de almacenamiento de carbono, y los beneficios ambientales que ofrece. Además, se analiza cómo la gestión sostenible de este bosque puede maximizar su potencial como sumidero de carbono, asegurando su conservación para las generaciones futuras. A través de un enfoque interdisciplinario que abarca desde la ecología forestal hasta las políticas ambientales, este libro busca sensibilizar sobre la necesidad urgente de proteger y gestionar adecuadamente los recursos forestales como el Bosque de Vásquez Pampa, destacando su papel crítico en la reducción del impacto del cambio climático y en la promoción de un desarrollo sostenible.

En la **Introducción** de este libro, presentamos una visión general sobre la importancia del **Bosque de Vásquez Pampa** en la mitigación del cambio climático y los objetivos de nuestra investigación. A continuación, se detallan los capítulos que conforman esta obra, proporcionando una guía para entender cómo este bosque amazónico contribuye a la captura y almacenamiento de carbono, así como las estrategias necesarias para su conservación y manejo sostenible.

El **Capítulo I** ofrece una **Descripción Geográfica y Ecológica** del Bosque de

Vásquez Pampa, estableciendo un contexto sobre su ubicación, características ambientales, y la importancia ecológica de las especies predominantes en la región. Se profundiza en las especies más relevantes y su papel en la dinámica del ecosistema, destacando su relevancia en la captura de carbono y la regulación climática.

En el **Capítulo II**, se discute el **Objetivo del Estudio** y las **Metodologías Empleadas** para llevar a cabo la investigación. Este capítulo detalla los métodos específicos utilizados para la **Cuantificación de la Captura de Carbono en la Biomasa Aérea**, la **Revisión de la Literatura Científica** relacionada con la captura de carbono en ecosistemas forestales similares, y el **Análisis de Amenazas y Estrategias de Manejo** para enfrentar los desafíos de conservación del bosque.

El **Capítulo III** se centra en la **Metodología de Muestreo y Análisis del Suelo**. Aquí se describen el **Diseño de Muestreo y Extracción de Muestras de Suelo**, la **Preparación y Procesamiento de las Muestras**, y los procedimientos para el **Análisis del Contenido de Carbono Orgánico**. Además, se explica cómo se realiza la **Conversión de Datos a Contenido de Carbono por Unidad de Área** y se analizan los resultados obtenidos para diferentes profundidades del suelo, subrayando la **Importancia del Almacenamiento de Carbono en el Suelo** y sus implicaciones para el manejo forestal.

En el **Capítulo IV**, se presentan **Estudios Comparativos en Bosques de Pino y Tropicales**, explorando tanto los **Bosques de Pino** como los **Bosques Tropicales**, y los diversos **Modelos y Factores de Conversión Utilizados** para estimar la biomasa y el contenido de carbono en estos ecosistemas. Este capítulo también aborda los **Modelos de Estimación de Biomasa y Carbono en el Suelo**, proporcionando una base científica para entender cómo los diferentes tipos de bosque contribuyen a la mitigación del cambio climático.

El **Capítulo V** analiza en profundidad la **Captura de Carbono en la Biomasa Aérea del Bosque** y el **Almacenamiento de Carbono en el Suelo del Bosque de Vásquez Pampa**. Además, se realiza una **Comparación con Otros Bosques de la Región**, destacando las similitudes y diferencias en términos de capacidad de almacenamiento de carbono y las condiciones que influyen en estos procesos.

El **Capítulo VI** se enfoca en las **Amenazas al Bosque**, como la **Deforestación y sus Impactos** y la **Degradación del Bosque y los Factores Contribuyentes**. Se examinan las causas y consecuencias de estas amenazas, proporcionando un análisis detallado de cómo afectan la capacidad del bosque para actuar como sumidero de carbono.

En el **Capítulo VII**, se proponen diversas **Estrategias de Manejo Forestal Sostenible**, como la **Prevención de la Deforestación**, el **Control de la Degradación Forestal**, la **Restauración y Reforestación**, la **Diversificación de Especies**, y la implementación de un **Manejo Adaptativo del Bosque**. Estas estrategias son fundamentales para asegurar la preservación del Bosque de Vásquez Pampa y su papel en la mitigación del cambio climático.

El **Capítulo VIII** explora los **Beneficios Locales del Manejo Sostenible del Bosque**, incluyendo la **Provisión de Servicios Ecosistémicos**, las **Oportunidades de Desarrollo Económico y Sostenibilidad**, y la **Conservación de la Biodiversidad y Protección de los Medios de Vida**. Además, se discute la **Importancia Global en la Mitigación del Cambio Climático**, considerando la **Captura y Almacenamiento de Carbono**, la **Comparación con Otros Ecosistemas Globales**, y la **Contribución a los Objetivos Climáticos Internacionales**. Se presentan también **Estrategias Globales para la Conservación del Bosque de Vásquez Pampa**, subrayando la necesidad de un enfoque coordinado y global para su preservación.

Finalmente, el **Capítulo IX** aborda los **Mecanismos de Financiamiento Internacional**, la **Cooperación Científica y Técnica**, la **Sensibilización y Educación Ambiental**, y la **Integración en Políticas Climáticas y de Biodiversidad**. Estos temas son clave para fortalecer los esfuerzos de conservación y asegurar un apoyo internacional sostenido para la protección del Bosque de Vásquez Pampa.

El libro concluye con un capítulo de **Conclusiones** donde se sintetizan los hallazgos principales del estudio, resaltando la importancia de la conservación del Bosque de Vásquez Pampa en la lucha global contra el cambio climático. Finalmente, se presenta una sección de **Referencias Bibliográficas** que incluye todas las fuentes y estudios citados, proporcionando un marco académico sólido para futuros estudios e investigaciones.

# CAPÍTULO I

## EL BOSQUE DE VÁSQUEZ PAMPA: UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El Bosque de Vásquez Pampa, situado en la región de Amazonas en Perú, es mucho más que un simple conjunto de árboles; es un testimonio vivo de la biodiversidad y un baluarte en la lucha contra el cambio climático. Este bosque, que se encuentra en la localidad de Luya Viejo, en la provincia de Luya, se destaca no solo por su belleza natural, sino también por su capacidad única de capturar y almacenar carbono, un componente esencial en la mitigación del calentamiento global.

La importancia del Bosque de Vásquez Pampa va más allá de su papel ambiental; también es un ecosistema crucial para las comunidades locales, proporcionando recursos naturales, regulando el clima y sirviendo como hogar para una amplia variedad de flora y fauna. En este capítulo, exploraremos en detalle la ubicación geográfica, las características ecológicas de este bosque, así como las especies predominantes y su relevancia en el contexto ecológico y climático.

### **Descripción Geográfica y Ecológica**

El Bosque de Vásquez Pampa se encuentra en la región amazónica del Perú, específicamente en la provincia de Luya, dentro del distrito de Luya Viejo. Esta área es conocida por su topografía variada, que va desde llanuras a ondulaciones suaves, hasta colinas más pronunciadas y áreas montañosas. La ubicación estratégica del bosque, a altitudes que oscilan entre los 1,800 y 2,500 metros sobre el nivel del mar, le confiere una combinación única de características ecológicas propias tanto de los bosques de montaña como de los ecosistemas amazónicos.

Geográficamente, el bosque se asienta sobre suelos de origen volcánico, caracterizados por una alta fertilidad natural, lo que favorece el crecimiento de una vegetación densa y diversa. Esta región es bañada por diversos riachuelos y quebradas que descienden de las montañas cercanas, aportando agua constante y favoreciendo un microclima húmedo que resulta fundamental para la vida del bosque. La disponibilidad de agua es un factor clave que sustenta la biodiversidad y permite que el Bosque de Vásquez Pampa funcione como un sumidero de carbono eficiente.

Desde una perspectiva climática, el bosque experimenta un clima templado-húmedo con precipitaciones que varían entre 1,500 y 2,500 milímetros anuales. Esta abundancia de lluvia, combinada con temperaturas moderadas que rara vez superan los 25 grados Celsius, crea un ambiente propicio para el desarrollo de especies vegetales y animales adaptadas a estas condiciones. Este tipo de clima no solo favorece el crecimiento vigoroso de los árboles, sino que también permite la formación de un suelo rico en materia orgánica, lo que a su vez mejora la capacidad del suelo para almacenar carbono.

Ecológicamente, el Bosque de Vásquez Pampa se clasifica como un bosque de transición entre el bosque montano bajo y el bosque húmedo montano, lo que significa que alberga una mezcla de especies típicas de diferentes zonas ecológicas. Esta diversidad de condiciones ecológicas dentro de un área relativamente pequeña contribuye a la alta biodiversidad del bosque, que incluye especies endémicas y otras adaptadas a las condiciones específicas de humedad, altitud y tipo de suelo.

### **Especies Predominantes y su Relevancia**

El Bosque de Vásquez Pampa es hogar de una impresionante variedad de especies vegetales, siendo los pinos (género *Pinus*) los más predominantes. Estas coníferas no solo dominan el paisaje con su altura imponente y su frondosidad, sino que también juegan un

papel crucial en el equilibrio ecológico del bosque y en la mitigación del cambio climático.

Los pinos del bosque de Vásquez Pampa se destacan por su capacidad para capturar y almacenar grandes cantidades de carbono en su biomasa. A diferencia de otras especies de árboles que pueden tener tasas de crecimiento más lentas, los pinos tienen la capacidad de crecer rápidamente, lo que les permite absorber dióxido de carbono de la atmósfera de manera eficiente. Esta característica los convierte en una pieza clave en la lucha contra el cambio climático, ya que actúan como "sumideros de carbono", capturando CO<sub>2</sub> y almacenándolo en sus troncos, ramas y hojas.

Además de los pinos, el bosque alberga una variedad de especies arbóreas secundarias como el cedro de altura (*Cedrela montana*), el aliso (*Alnus acuminata*), y el laurel de la sierra (*Cordia alliodora*), entre otros. Estas especies complementan la función de los pinos en la captura de carbono y contribuyen a la estabilidad del ecosistema al diversificar la estructura del bosque. Cada una de estas especies tiene un rol particular en el mantenimiento del equilibrio ecológico: algunas fijan nitrógeno en el suelo, mejorando su fertilidad; otras proporcionan hábitats para la fauna local, y algunas ofrecen recursos alimenticios en forma de frutos y semillas.

La fauna del Bosque de Vásquez Pampa también es diversa e incluye una variedad de mamíferos, aves, reptiles y anfibios que dependen del bosque para su supervivencia. Las aves, en particular, juegan un papel significativo en la dispersión de semillas, lo que ayuda a la regeneración del bosque y al mantenimiento de su diversidad genética. Entre las especies de aves más notables se encuentran el quetzal crestado (*Pharomachrus antisianus*), el colibrí gigante (*Patagona gigas*), y el búho de anteojos (*Pulsatrix perspicillata*), cada uno de los cuales contribuye al equilibrio del ecosistema de diferentes maneras.

La biodiversidad presente en el Bosque de Vásquez Pampa no solo es vital para la salud del ecosistema, sino que también tiene un impacto significativo en las comunidades locales. Las plantas medicinales, por ejemplo, son utilizadas tradicionalmente por los habitantes de la región para tratar diversas enfermedades, mientras que las maderas y otros productos forestales proporcionan materiales esenciales para la construcción y otras actividades económicas.

El Bosque de Vásquez Pampa es un ecosistema único que combina características geográficas y ecológicas especiales con una diversidad de especies de plantas y animales que desempeñan roles vitales tanto en el ámbito local como global. Su importancia como sumidero de carbono, junto con su biodiversidad rica y variada, lo convierte en un componente clave en los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático y preservar los recursos naturales para las generaciones futuras. En este capítulo hemos explorado cómo la ubicación geográfica y las características ecológicas del bosque contribuyen a su capacidad de capturar y almacenar carbono, y cómo las especies predominantes dentro del bosque desempeñan roles esenciales en la sostenibilidad del ecosistema y en la lucha contra el cambio climático.

# CAPÍTULO II

## OBJETIVO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### Objetivo del Estudio

El objetivo principal de este estudio es evaluar exhaustivamente la capacidad de captura de carbono del bosque de Vásquez Pampa, ubicado en Luya Viejo, Luya, Amazonas. Esta evaluación se centra en comprender cómo este bosque, dominado por especies de pinos, contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático a través de su capacidad para capturar y almacenar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera. Además, se pretende discutir las implicaciones de estos hallazgos en el contexto más amplio de la lucha global contra el cambio climático. Este estudio busca no solo cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo del bosque de Vásquez Pampa, sino también analizar las amenazas que enfrenta este ecosistema y proponer estrategias de manejo sostenible para asegurar su conservación a largo plazo.

El bosque de Vásquez Pampa es un ecosistema de gran importancia debido a su capacidad para actuar como un sumidero de carbono, lo que significa que puede absorber más carbono del que emite, contribuyendo así a la reducción de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este papel es crucial en un momento en que el cambio climático representa una amenaza global urgente. Por lo tanto, la investigación realizada aquí tiene el potencial de aportar datos valiosos que puedan ser utilizados para desarrollar políticas y estrategias de manejo forestal que fortalezcan la capacidad de mitigación del cambio climático a nivel local y global.

### **Metodologías Empleadas**

Para alcanzar los objetivos de este estudio, se diseñó una metodología de investigación multidisciplinaria que combina varios enfoques para una evaluación integral de la captura de carbono en el bosque de Vásquez Pampa. La metodología abarca tanto la cuantificación de la captura de carbono en la biomasa aérea de los árboles como el análisis del contenido de carbono en el suelo, además de una revisión exhaustiva de la literatura científica relevante. A continuación, se detallan los enfoques metodológicos utilizados:

#### **Cuantificación de la Captura de Carbono en la Biomasa Aérea**

La cuantificación de la captura de carbono en la biomasa aérea de los bosques es fundamental para entender su papel en la mitigación del cambio climático. La biomasa aérea, que incluye todas las partes vivas de los árboles sobre el suelo, como el tronco, las ramas y las hojas, es un componente clave del ciclo del carbono. Cuando los árboles absorben dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de la atmósfera durante la fotosíntesis, gran parte de este carbono se almacena en su biomasa. Así, los bosques actúan como sumideros de carbono, ayudando a reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

En este capítulo, se describe detalladamente el enfoque metodológico utilizado para cuantificar la captura de carbono en la biomasa aérea del bosque de Vásquez Pampa. Este proceso involucró la medición directa de los árboles dentro de parcelas de muestreo establecidas y el uso de ecuaciones alométricas específicas para estimar la biomasa aérea y, posteriormente, el contenido de carbono almacenado.

#### **Diseño del Muestreo de Parcelas**

Para llevar a cabo una evaluación precisa de la biomasa aérea del bosque de Vásquez Pampa, se establecieron múltiples parcelas permanentes de muestreo de diferentes tamaños

y formas dentro del bosque. Estas parcelas, que varían en tamaño de 0.1 a 1 hectárea y pueden ser cuadradas o rectangulares, se dispusieron siguiendo un diseño de muestreo estratificado aleatorio. Este diseño es esencial para garantizar que todas las áreas del bosque, con sus respectivas variaciones en la densidad de árboles, especies y estructura, estén representadas de manera adecuada en el estudio.

El muestreo estratificado aleatorio es una técnica comúnmente utilizada en estudios forestales que busca reducir el sesgo y mejorar la precisión de las estimaciones al dividir el área total en diferentes estratos o segmentos. Cada estrato puede ser una subdivisión del bosque que presenta características similares, como la densidad de los árboles o el tipo de suelo. Al seleccionar parcelas de muestreo de manera aleatoria dentro de cada estrato, se garantiza una cobertura completa y representativa del área de estudio.

### **Mediciones en Campo**

Dentro de cada parcela establecida, se llevó a cabo un proceso de identificación y medición de todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10 cm. El DAP es una medida estándar en estudios forestales que se toma a una altura de 1.3 metros desde el suelo, proporcionando una referencia consistente para medir y comparar el tamaño de los árboles.

Además del DAP, se registraron otras características importantes de cada árbol, como la especie y la altura total. La identificación de la especie es crucial, ya que diferentes especies de árboles tienen diferentes densidades de madera y estructuras, lo que afecta la cantidad de carbono que pueden almacenar. La altura total, por otro lado, proporciona información adicional sobre el volumen del árbol y, en última instancia, sobre su biomasa total.

La recopilación de estos datos es una parte esencial del proceso de cuantificación de

la biomasa aérea, ya que permite aplicar modelos matemáticos específicos, conocidos como ecuaciones alométricas, para estimar la biomasa de cada árbol a partir de sus medidas físicas.

### **Uso de Ecuaciones Alométricas para Estimar la Biomasa Aérea**

Una vez recolectadas las medidas de DAP y altura de cada árbol, se emplearon ecuaciones alométricas específicas para estimar la biomasa aérea. Las ecuaciones alométricas son modelos matemáticos que relacionan las dimensiones de un árbol, como el DAP y la altura, con su biomasa total. Estas ecuaciones se desarrollan a partir de estudios empíricos y son específicas para diferentes tipos de bosques y especies de árboles.

En este estudio, se utilizaron ecuaciones alométricas específicas para bosques de pinos, basadas en investigaciones anteriores (Chave et al., 2005; Návar, 2009). Estas ecuaciones permiten convertir las mediciones de campo en estimaciones precisas de la biomasa aérea de los árboles, facilitando así el cálculo del carbono almacenado en el bosque.

El uso de ecuaciones alométricas específicas para bosques de pinos es crucial en este contexto, dado que las características estructurales y la densidad de madera de los pinos difieren de las de otras especies arbóreas. Por lo tanto, las ecuaciones genéricas podrían no proporcionar estimaciones precisas de la biomasa aérea en un bosque dominado por pinos.

### **Cálculo de la Biomasa Aérea Total y el Contenido de Carbono**

Una vez que se estimó la biomasa aérea individual de cada árbol dentro de las parcelas de muestreo, el siguiente paso fue calcular la biomasa aérea total de cada parcela. Este cálculo se realizó sumando los valores individuales de biomasa de todos los árboles presentes en la parcela. La suma de estos valores proporciona una estimación de la biomasa total de la parcela, que puede ser utilizada para inferir la biomasa aérea del bosque completo mediante extrapolación.

Para convertir la biomasa aérea en contenido de carbono, se utilizó un factor de conversión estándar de 0.5. Este factor, ampliamente utilizado en estudios forestales (Gibbs et al., 2007), asume que, en promedio, el 50% de la biomasa aérea de los árboles está compuesta de carbono. Al aplicar este factor de conversión, se obtuvo una estimación del contenido de carbono para cada parcela de muestreo, la cual se utilizó para calcular el contenido total de carbono en el bosque de Vásquez Pampa.

Los resultados del proceso de cuantificación indican que el bosque de Vásquez Pampa tiene una alta capacidad de captura de carbono en su biomasa aérea. Las mediciones realizadas y las estimaciones obtenidas a partir de las ecuaciones alométricas revelaron que la biomasa aérea total en las parcelas de muestreo varía considerablemente dependiendo de la densidad de los árboles, la especie y la estructura del bosque.

Al extrapolar estos datos a todo el bosque de Vásquez Pampa, se estimó que el contenido total de carbono en la biomasa aérea se encuentra dentro del rango de lo reportado para otros bosques de pinos en climas similares. Estos hallazgos destacan la importancia del bosque de Vásquez Pampa como un sumidero de carbono significativo y subrayan la necesidad de su conservación como parte de los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático.

La cuantificación de la captura de carbono en la biomasa aérea del bosque de Vásquez Pampa ha demostrado ser una herramienta esencial para entender su papel en la mitigación del cambio climático. A través de un enfoque meticuloso que combina la medición en campo y el uso de modelos matemáticos específicos, se ha podido estimar con precisión la cantidad de carbono almacenado en este importante ecosistema forestal. Los resultados obtenidos refuerzan la relevancia del bosque como un recurso natural crítico en la lucha contra el cambio climático y subrayan la necesidad de estrategias de manejo sostenible para asegurar

su preservación a largo plazo.

### **Revisión de la Literatura Científica**

La revisión de la literatura científica desempeñó un papel clave en este estudio al proporcionar un marco de referencia para la interpretación de los datos obtenidos y para la comparación de los resultados con estudios similares realizados en otros bosques. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de artículos científicos, libros y reportes técnicos relevantes sobre captura de carbono en ecosistemas forestales, especialmente aquellos con características similares al bosque de Vásquez Pampa.

Además, se recopiló información de casos de estudio en bosques de pinos y bosques tropicales de áreas cercanas para fines de comparación. Esta comparación es importante para contextualizar los hallazgos del bosque de Vásquez Pampa dentro del panorama más amplio de los ecosistemas forestales y sus capacidades de captura de carbono. También se estudiaron las principales metodologías, modelos y factores de conversión utilizados en otros estudios para estimar el contenido de carbono, lo que permitió mejorar la precisión y validez de los métodos aplicados en este estudio.

### **Análisis de Amenazas y Estrategias de Manejo**

Además de evaluar la capacidad de captura de carbono del bosque, este estudio también consideró las amenazas que enfrenta el bosque de Vásquez Pampa y las estrategias de manejo que podrían implementarse para mitigar estas amenazas. Para este fin, se realizaron recorridos de campo y entrevistas semi-estructuradas con los comuneros de la localidad. Estas actividades permitieron identificar las principales amenazas que enfrenta la conservación del bosque, como la deforestación, la degradación forestal, la tala selectiva, el pastoreo excesivo y los incendios forestales.

Se revisaron también políticas, planes y programas forestales vigentes a nivel local, regional y nacional relacionados con el manejo forestal sostenible. La consulta de estudios de caso sobre estrategias de manejo aplicadas en bosques similares ayudó a identificar mejores prácticas que podrían ser adaptadas para el manejo del bosque de Vásquez Pampa. Las estrategias propuestas incluyen la prevención de la deforestación, el control de la degradación forestal, la restauración y reforestación de áreas degradadas, la diversificación de especies arbóreas y la implementación de un manejo forestal adaptativo.

Este capítulo ha presentado una visión general del objetivo y la metodología del estudio realizado en el bosque de Vásquez Pampa, destacando la importancia de un enfoque multidisciplinario para evaluar la capacidad de captura de carbono de este ecosistema. A través de una combinación de técnicas de campo, análisis de laboratorio y revisión de la literatura, este estudio ofrece una evaluación integral del papel del bosque en la mitigación del cambio climático y proporciona una base sólida para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible que garanticen su conservación a largo plazo.

# CAPÍTULO III

## ANÁLISIS DEL CARBONO EN EL SUELO DEL BOSQUE

El suelo es uno de los reservorios más importantes de carbono en los ecosistemas terrestres, desempeñando un papel fundamental en la regulación del ciclo global del carbono y en la mitigación del cambio climático. A menudo se pasa por alto en comparación con la biomasa aérea de los árboles, pero el suelo almacena grandes cantidades de carbono orgánico que pueden permanecer retenidas durante siglos o incluso milenios. En el caso del bosque de Vásquez Pampa, ubicado en la región de Luya Viejo, Luya, Amazonas, el análisis del carbono en el suelo es clave para entender su contribución como sumidero de carbono y su potencial para ayudar a reducir las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera.

El bosque de Vásquez Pampa, dominado por especies de pinos, presenta características únicas que afectan tanto la captura como el almacenamiento de carbono. Este capítulo explora detalladamente la metodología empleada para evaluar el contenido de carbono en el suelo del bosque, discute los resultados obtenidos, y considera su significado en el contexto más amplio de la conservación del carbono en ecosistemas forestales. La importancia de este análisis radica en que una comprensión profunda del almacenamiento de carbono en el suelo puede proporcionar datos críticos para las estrategias de manejo forestal sostenible y la mitigación del cambio climático.

### **Metodología de Muestreo y Análisis del Suelo**

El análisis del carbono en el suelo del bosque de Vásquez Pampa se llevó a cabo utilizando una metodología meticulosa y rigurosa para asegurar la precisión y la

representatividad de los datos. A continuación, se describen los pasos seguidos para la recolección de muestras y el análisis de su contenido de carbono.

### **Diseño de Muestreo y Extracción de Muestras de Suelo**

Para realizar un análisis exhaustivo del contenido de carbono en el suelo, se establecieron múltiples parcelas de muestreo permanentes dentro del bosque. Estas parcelas fueron seleccionadas siguiendo un diseño de muestreo estratificado aleatorio, lo que permite una representación adecuada de la variabilidad espacial del suelo en todo el bosque. Este enfoque es esencial para capturar las diferencias en el contenido de carbono que pueden existir debido a factores como la topografía, el tipo de vegetación, y las condiciones microambientales.

En cada parcela, se extrajeron muestras de suelo a tres profundidades diferentes: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Estas profundidades fueron elegidas específicamente para captar las variaciones en el contenido de carbono en las capas superficiales del suelo, que son las más influenciadas por la descomposición de la materia orgánica y las interacciones con la biomasa aérea. Las muestras se recolectaron utilizando barrenas de muestreo de suelo, herramientas especializadas que permiten extraer muestras cilíndricas de suelo sin perturbar significativamente su estructura. Este método asegura que las muestras sean representativas del perfil de suelo en cada parcela y facilita la comparabilidad de los datos.

La extracción de muestras a diferentes profundidades también proporciona una comprensión más detallada de cómo se distribuye el carbono orgánico dentro del perfil del suelo. Las capas más superficiales (0-10 cm) tienden a tener mayores concentraciones de carbono debido a la acumulación de materia orgánica de la hojarasca y otros residuos vegetales, mientras que las capas más profundas (20-30 cm) pueden contener carbono más estable, menos susceptible a las fluctuaciones anuales de la descomposición de la materia

orgánica.

### **Preparación y Procesamiento de las Muestras de Suelo**

Una vez recolectadas las muestras, se sometieron a un proceso de secado al aire. El secado al aire es una técnica estándar utilizada para eliminar la humedad de las muestras sin alterar significativamente su composición química. Este paso es crucial porque la presencia de humedad puede influir en las mediciones de peso y en el contenido de carbono orgánico. Tras el secado, las muestras se tamizaron para remover todos los residuos de plantas, tales como raíces, hojas, y ramas. Este proceso de tamizado asegura que el análisis se enfoque únicamente en el suelo mineral y su contenido de carbono orgánico, excluyendo cualquier materia orgánica visible que podría introducir errores en los resultados.

Eliminando estos residuos se logra un enfoque más preciso en la fracción mineral del suelo, que es la que verdaderamente refleja el contenido de carbono orgánico más estable y de interés a largo plazo. Este nivel de precisión en la preparación de las muestras es fundamental para garantizar que los datos obtenidos sean fiables y representativos del verdadero contenido de carbono del suelo del bosque de Vásquez Pampa.

### **Análisis del Contenido de Carbono Orgánico**

El siguiente paso en el proceso fue la determinación del contenido de carbono orgánico total en las muestras de suelo utilizando el método de combustión seca (Yeomans & Bremner, 1988). Este método implica la oxidación completa de la materia orgánica presente en una muestra a altas temperaturas, convirtiéndola en CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> liberado se mide entonces con un analizador elemental, que calcula el contenido total de carbono basado en la cantidad de gas generado.

El método de combustión seca es considerado uno de los más precisos y confiables

para la determinación del carbono orgánico en el suelo debido a su capacidad para oxidar completamente toda la materia orgánica presente en la muestra. Además, al utilizar un analizador elemental, se minimizan los errores potenciales asociados con otras técnicas de medición menos directas. Esto garantiza que los resultados obtenidos reflejen con precisión el contenido real de carbono orgánico en las muestras de suelo del bosque de Vásquez Pampa.

## **Conversión de Datos y Análisis de Resultados**

### **Conversión a Contenido de Carbono por Unidad de Área**

Una vez obtenidos los valores de concentración de carbono orgánico en términos de porcentaje del peso de las muestras de suelo, fue necesario convertir estos datos en términos más aplicables al manejo forestal y la política ambiental. Por lo tanto, los resultados se expresaron como contenido de carbono por unidad de área (toneladas de carbono por hectárea, t C/ha).

La conversión de los valores de concentración de carbono orgánico a contenido de carbono por unidad de área se realizó utilizando datos de densidad aparente del suelo. La densidad aparente del suelo es una medida del peso del suelo por unidad de volumen y varía según la textura, la compactación y otros factores del suelo. Al aplicar esta medida, es posible calcular cuántas toneladas de carbono están presentes en una hectárea de suelo, considerando tanto la concentración de carbono como la densidad del suelo en cada capa de profundidad.

Esta conversión es crucial no solo para entender cuánto carbono está almacenado en el suelo del bosque de Vásquez Pampa, sino también para permitir comparaciones significativas con otros estudios y ecosistemas forestales. Al expresar el contenido de carbono en términos de área, se facilita la evaluación del potencial de secuestro de carbono del bosque y su contribución al balance global de carbono.

### **Resultados del Contenido de Carbono en Diferentes Profundidades**

Los resultados del análisis del carbono en el suelo del bosque de Vásquez Pampa mostraron variaciones significativas en el contenido de carbono orgánico a diferentes profundidades. La capa superficial del suelo (0-10 cm) mostró las concentraciones más altas de carbono orgánico, reflejando la acumulación de materia orgánica procedente de la caída de hojas, ramas y otros residuos vegetales. Estos resultados están en línea con otros estudios que han demostrado que las capas superficiales de suelo en los bosques tienden a tener mayores concentraciones de carbono debido a la descomposición de la materia orgánica en contacto con la superficie.

Las capas más profundas (10-20 cm y 20-30 cm) mostraron una disminución gradual en el contenido de carbono orgánico. Esta tendencia es típica en muchos ecosistemas forestales, donde la mayor parte del carbono orgánico se concentra en las capas superficiales, que son más ricas en materia orgánica en descomposición. Sin embargo, el carbono presente en las capas más profundas puede ser más estable y menos susceptible a las fluctuaciones a corto plazo, lo que lo convierte en un componente importante del reservorio de carbono del suelo a largo plazo.

Los valores obtenidos para el contenido de carbono en las capas superficiales y más profundas del suelo del bosque de Vásquez Pampa se encuentran dentro del rango reportado para otros bosques de pinos y bosques templados, lo que indica que este bosque posee una capacidad significativa para almacenar carbono no solo en su biomasa aérea, sino también en su suelo. Este doble potencial de almacenamiento subraya la importancia del bosque de Vásquez Pampa como sumidero de carbono en la región amazónica.

### **Importancia del Almacenamiento de Carbono en el Suelo**

El almacenamiento de carbono en el suelo es un proceso fundamental que contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático. A diferencia del carbono almacenado en la biomasa aérea, que puede ser liberado rápidamente a la atmósfera en caso de disturbios como incendios forestales, la deforestación o la tala, el carbono en el suelo tiende a ser más estable y puede permanecer almacenado durante largos periodos de tiempo. Este almacenamiento prolongado hace que el suelo actúe como un reservorio a largo plazo de carbono, contribuyendo de manera sustancial a la reducción de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

En el caso del bosque de Vásquez Pampa, el carbono almacenado en el suelo complementa la captura de carbono en la biomasa aérea de los árboles, creando un sistema integral de almacenamiento de carbono que es vital para la regulación del clima local y global. Los altos niveles de carbono orgánico encontrados en las capas superficiales del suelo del bosque sugieren que este ecosistema tiene un potencial significativo para el almacenamiento de carbono a largo plazo, comparable a algunos de los bosques más eficaces en términos de secuestro de carbono.

La importancia de este almacenamiento se ve aún más acentuada en el contexto de las estrategias de manejo forestal sostenible. Con el manejo adecuado, se puede preservar y potenciar la capacidad del suelo para almacenar carbono, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático y contribuyendo a los objetivos globales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

### **Implicaciones para el Manejo Forestal y la Conservación**

Los resultados del análisis del carbono en el suelo del bosque de Vásquez Pampa

tienen importantes implicaciones para las estrategias de manejo forestal y conservación. En primer lugar, subrayan la necesidad de proteger no solo la biomasa aérea del bosque, sino también su suelo, ya que ambos componentes son críticos para la función del bosque como sumidero de carbono. La protección del suelo implica evitar prácticas que puedan degradar su estructura o reducir su contenido de carbono, como la tala rasante, el pastoreo intensivo o el uso excesivo de maquinaria pesada que pueda compactar el suelo y reducir su capacidad para almacenar carbono.

Además, los resultados sugieren que las estrategias de reforestación y restauración forestal deben considerar la mejora de las condiciones del suelo para maximizar su capacidad de captura y almacenamiento de carbono. Esto puede incluir prácticas como la adición de enmiendas orgánicas, la reducción del uso de productos químicos que puedan afectar negativamente la microbiota del suelo, y la promoción de una mayor diversidad de especies que pueda mejorar la estructura del suelo y aumentar su contenido de carbono a lo largo del tiempo.

Finalmente, la alta capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo del bosque de Vásquez Pampa destaca la importancia de incluir el suelo en los modelos de contabilidad de carbono y en las políticas de mitigación del cambio climático. Los esfuerzos de conservación que se centran únicamente en la biomasa aérea podrían subestimar significativamente el potencial total de almacenamiento de carbono de un bosque. Por lo tanto, es fundamental que las estrategias de manejo forestal sostenible adopten un enfoque holístico que incluya tanto la biomasa aérea como el suelo para maximizar los beneficios climáticos del bosque.

El análisis del carbono en el suelo del bosque de Vásquez Pampa revela que este ecosistema posee una capacidad notable para almacenar carbono, no solo en su biomasa

aérea, sino también en su suelo. Los resultados obtenidos indican que el suelo del bosque es un reservorio crucial de carbono orgánico, especialmente en las capas superficiales, donde la acumulación de materia orgánica es más pronunciada. Este almacenamiento en el suelo complementa la captura de carbono en la biomasa aérea, haciendo del bosque de Vásquez Pampa un sumidero de carbono eficaz y un aliado importante en la lucha contra el cambio climático.

La metodología empleada en este estudio, que incluyó la extracción de muestras de suelo a diferentes profundidades, el secado y tamizado de las muestras, y el uso del método de combustión seca para calcular el contenido de carbono orgánico, permitió obtener una evaluación precisa y detallada del carbono en el suelo del bosque de Vásquez Pampa. Estos hallazgos refuerzan la importancia de proteger y manejar sosteniblemente este valioso ecosistema para asegurar su capacidad continua de captura y almacenamiento de carbono en el futuro. Además, destacan la necesidad de incluir el suelo en los esfuerzos de conservación y políticas climáticas, dado su papel fundamental en la regulación del ciclo global del carbono y la mitigación del cambio climático.

# CAPÍTULO VI

## REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE CAPTURA DE CARBONO

La captura de carbono en ecosistemas forestales es un componente esencial en los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático. Los bosques no solo actúan como sumideros naturales de carbono al absorber dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera, sino que también almacenan este carbono en su biomasa y suelos, contribuyendo significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero. En este capítulo, se presenta una revisión detallada de la literatura científica reciente sobre la captura de carbono, con un enfoque en estudios comparativos entre bosques de pino y bosques tropicales, así como los modelos y factores de conversión utilizados para estimar el contenido de carbono en estos ecosistemas. Esta revisión proporciona una comprensión profunda de las diferencias en la capacidad de almacenamiento de carbono de diferentes tipos de bosques y las metodologías más efectivas para medir y monitorear este proceso.

### **Estudios Comparativos en Bosques de Pino y Tropicales**

La capacidad de los bosques para capturar y almacenar carbono depende de múltiples factores, incluidos el tipo de bosque, las especies arbóreas presentes, la edad del bosque y las condiciones ambientales locales. A continuación, se analizan estudios recientes que comparan la captura de carbono en bosques de pino y tropicales, destacando sus diferencias y similitudes.

#### **Bosques de Pino**

Los bosques de pino, que se encuentran principalmente en regiones templadas y

subtropicales, son conocidos por su capacidad de capturar grandes cantidades de carbono en la biomasa aérea debido a su alta densidad de árboles y rápido crecimiento. Según Zhang et al. (2020), los bosques de pino pueden almacenar entre 50 y 200 toneladas de carbono por hectárea (t C/ha) en la biomasa aérea, dependiendo de factores como la especie de pino, la edad del bosque, la densidad de los árboles y las condiciones del suelo. Este rango de almacenamiento de carbono se debe a las características intrínsecas de los pinos, que incluyen una alta tasa de fotosíntesis y una mayor eficiencia en la utilización del agua, lo cual es especialmente beneficioso en regiones con estrés hídrico moderado.

Un estudio reciente de Li et al. (2021) mostró que los bosques de pino en climas fríos y templados tienen una capacidad de almacenamiento de carbono que varía significativamente en función de la edad del bosque. Los bosques jóvenes de pino, con menos de 20 años, capturan carbono a un ritmo más rápido debido a su crecimiento acelerado y a su mayor productividad neta primaria. A medida que los bosques maduran, la tasa de captura de carbono disminuye; sin embargo, los bosques más viejos siguen almacenando grandes cantidades de carbono tanto en la biomasa aérea como en el suelo. Este estudio también destacó que los bosques de pino más antiguos, de más de 100 años, almacenan una mayor proporción de carbono en el suelo, subrayando la importancia del manejo forestal sostenible para mantener la capacidad de secuestro de carbono a largo plazo.

Además, los bosques de pino presentan una ventaja particular en la captura de carbono en regiones afectadas por incendios forestales. Fernández et al. (2022) demostraron que los pinos, debido a sus adaptaciones evolutivas, como la corteza gruesa y la capacidad de regeneración, pueden recuperarse rápidamente de los incendios y continuar capturando carbono de manera efectiva. Este estudio comparó bosques de pino y otros tipos de bosques en regiones propensas a incendios y encontró que los pinos no solo se recuperan más

rápidamente sino que también restauran su capacidad de captura de carbono a niveles cercanos a los previos al incendio en un período relativamente corto.

### **Bosques Tropicales**

Los bosques tropicales, como los de la región amazónica, son algunos de los ecosistemas más eficientes en la captura de carbono debido a su alta densidad de biomasa y gran diversidad de especies. Estudios recientes han demostrado que estos bosques pueden almacenar entre 150 y 300 t C/ha en la biomasa aérea, dependiendo de la estructura del bosque, la diversidad de especies y las condiciones ambientales locales (Quesada et al., 2019). Este rango es considerablemente más alto que el de los bosques de pino, lo que subraya la importancia de los bosques tropicales en la mitigación del cambio climático global.

Brienen et al. (2020) llevaron a cabo un estudio exhaustivo sobre la capacidad de captura de carbono en diferentes bosques tropicales de América del Sur. Este estudio encontró que, a pesar de las variaciones locales en la estructura del bosque y la composición de especies, la mayoría de los bosques tropicales tienen una alta capacidad de secuestro de carbono debido a su elevada biomasa y a la rápida tasa de crecimiento de muchas especies arbóreas. La alta productividad primaria neta de los bosques tropicales, junto con un ciclo de nutrientes eficiente, permite que estos ecosistemas capturen y almacenen carbono de manera más efectiva que muchos otros tipos de bosques.

Malhi et al. (2021) también proporcionaron evidencia de que los bosques tropicales son cruciales para la regulación del clima global debido a su capacidad para almacenar grandes cantidades de carbono en la biomasa y el suelo. Este estudio destacó que la Amazonía, como el mayor bosque tropical del mundo, juega un papel fundamental en la captura de carbono, con estimaciones de almacenamiento de carbono que varían de 200 a 250 t C/ha en algunas regiones. Sin embargo, el estudio advirtió que la deforestación y la degradación del bosque

pueden reducir significativamente esta capacidad, lo que enfatiza la necesidad de estrategias de conservación y manejo sostenible.

Comparativamente, los bosques tropicales tienen una mayor capacidad de captura de carbono que los bosques de pino debido a su alta densidad de árboles y la diversidad estructural de la vegetación. No obstante, los bosques de pino también son importantes en la captura de carbono, especialmente en regiones donde los bosques tropicales no son predominantes. Los estudios recientes sugieren que una combinación de estrategias de manejo forestal que incluya tanto la conservación de bosques tropicales como el manejo sostenible de bosques de pino es esencial para maximizar la captura de carbono a nivel global (Silva et al., 2022).

### **Modelos y Factores de Conversión Utilizados**

La estimación precisa del contenido de carbono en los ecosistemas forestales requiere el uso de modelos matemáticos robustos y factores de conversión específicos. Los avances recientes en la modelización y la mejora en los métodos de medición han permitido una mayor precisión en la estimación del contenido de carbono, lo cual es fundamental para el desarrollo de estrategias efectivas de mitigación del cambio climático. A continuación, se discuten los modelos y factores de conversión más utilizados en la investigación sobre captura de carbono en bosques de pino y tropicales.

### **Modelos de Estimación de Biomasa**

Los modelos de estimación de biomasa son herramientas fundamentales en la investigación sobre captura de carbono, ya que permiten estimar la biomasa aérea a partir de mediciones de campo. Las ecuaciones alométricas son uno de los modelos más utilizados para este propósito. Estas ecuaciones establecen relaciones matemáticas entre variables

fácilmente medibles, como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de los árboles, y la biomasa aérea. Chave et al. (2019) revisaron y actualizaron recientemente las ecuaciones alométricas para diferentes tipos de bosques, incluyendo bosques de pino y tropicales, proporcionando un conjunto más robusto y preciso de ecuaciones para la estimación de biomasa.

Para los bosques de pino, las ecuaciones alométricas se han desarrollado específicamente para tener en cuenta la variabilidad en la densidad de la madera, las especies de pino y las condiciones climáticas locales. Pretzsch et al. (2020) destacaron la importancia de ajustar las ecuaciones alométricas a las condiciones específicas de cada bosque de pino, ya que factores como la edad del bosque, la densidad de plantación y las prácticas de manejo forestal pueden influir significativamente en la precisión de las estimaciones de biomasa. Este enfoque permite una estimación más precisa de la biomasa aérea y, por ende, del contenido de carbono en los bosques de pino.

En los bosques tropicales, la alta diversidad de especies y la complejidad estructural de los árboles requieren ecuaciones alométricas más detalladas. Basuki et al. (2021) desarrollaron nuevas ecuaciones alométricas para bosques tropicales en Asia y América del Sur que incluyen variables adicionales como la densidad de la madera, el área basal y la altura del árbol. Estas ecuaciones han demostrado ser más precisas que las ecuaciones alométricas tradicionales, especialmente en bosques con alta variabilidad en la estructura y composición de especies.

### **Factores de Conversión de Biomasa a Carbono**

La conversión de biomasa aérea estimada en contenido de carbono se realiza mediante factores de conversión. El factor de conversión más comúnmente utilizado es 0.5, lo que implica que aproximadamente el 50% de la biomasa seca de un árbol está compuesta

por carbono (Thomas & Martin, 2022). Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que este factor de conversión puede variar según la especie de árbol, la densidad de la madera y las condiciones ambientales locales.

Martin et al. (2021) indicaron que en los bosques tropicales, donde la densidad de madera es generalmente mayor que en los bosques templados, el factor de conversión puede ser ligeramente superior a 0.5. Esto se debe a que la alta densidad de madera en los árboles tropicales contribuye a un mayor contenido de carbono por unidad de biomasa. Por otro lado, en los bosques de pino, especialmente en regiones templadas y frías, el factor de conversión puede ser ligeramente menor debido a la menor densidad de la madera y al mayor contenido de agua en los tejidos de los árboles jóvenes.

La variabilidad en los factores de conversión también se refleja en estudios de modelización que consideran diferentes escenarios climáticos y prácticas de manejo forestal. Meyer et al. (2022) utilizaron modelos de simulación para analizar cómo diferentes prácticas de manejo, como la tala selectiva y la reforestación, afectan el contenido de carbono en los bosques de pino y tropicales. Los resultados mostraron que el uso de factores de conversión específicos para cada escenario y tipo de bosque mejora significativamente la precisión de las estimaciones de contenido de carbono.

### **Modelos de Estimación de Carbono en el Suelo**

Además de la biomasa aérea, el carbono almacenado en el suelo representa una fracción significativa del contenido total de carbono en los bosques. Los modelos de estimación de carbono en el suelo suelen basarse en mediciones directas de muestras de suelo y utilizan datos como la densidad aparente del suelo, la concentración de carbono orgánico y la profundidad de las muestras para calcular el contenido de carbono por unidad de área (t C/ha). Lal et al. (2020) destacaron que los modelos más recientes han incorporado el uso de

sensores de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para mejorar la precisión de las estimaciones de carbono en el suelo.

Smith et al. (2023) utilizaron modelos integrados que combinan datos de biomasa aérea y carbono en el suelo para proporcionar una estimación más completa del contenido de carbono en bosques tropicales y de pino. Estos modelos integrados permiten evaluar cómo las interacciones entre la biomasa aérea y el suelo influyen en la capacidad total de almacenamiento de carbono de un ecosistema forestal. Los resultados del estudio sugieren que las prácticas de manejo que promueven la retención de materia orgánica en el suelo, como la reducción de la tala y la reforestación con especies nativas, pueden aumentar significativamente la capacidad de captura de carbono de los bosques.

La revisión de la literatura científica sobre la captura de carbono en bosques de pino y tropicales destaca la importancia de estos ecosistemas en la mitigación del cambio climático. Los estudios comparativos muestran que, aunque los bosques tropicales tienden a tener una mayor capacidad de captura de carbono debido a su alta densidad de biomasa y diversidad de especies, los bosques de pino también juegan un papel crucial, especialmente en regiones templadas y subtropicales. La conservación y el manejo sostenible de ambos tipos de bosques son esenciales para maximizar su capacidad como sumideros de carbono a largo plazo.

Los modelos de estimación de biomasa y carbono en el suelo, junto con los factores de conversión específicos, son herramientas fundamentales para la cuantificación precisa del contenido de carbono en los ecosistemas forestales. Las investigaciones recientes han mejorado significativamente la precisión de estas estimaciones, lo que permite un mejor desarrollo de estrategias de manejo forestal adaptativas que puedan optimizar la captura de carbono y contribuir de manera efectiva a la mitigación del cambio climático global. Es esencial continuar desarrollando y aplicando estos modelos en diferentes tipos de bosques

para mejorar nuestra comprensión de los procesos de captura de carbono y asegurar la protección de estos importantes ecosistemas.

# CAPÍTULO V

## RESULTADOS DEL ESTUDIO Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se presentan los hallazgos principales sobre la capacidad del bosque de Vásquez Pampa para capturar y almacenar carbono, resaltando su importancia en el contexto global de mitigación del cambio climático. Este análisis está dividido en tres subcapítulos: la captura de carbono en la biomasa aérea, el almacenamiento de carbono en el suelo, y una comparación con otros bosques de la región. Cada sección explora en detalle los resultados obtenidos y su relevancia ecológica y climática.

### **Captura de Carbono en la Biomasa Aérea del Bosque**

El bosque de Vásquez Pampa ha demostrado ser un valioso sumidero de carbono gracias a su alta capacidad de captura en la biomasa aérea. A través de las mediciones realizadas en las parcelas permanentes establecidas dentro del bosque, se ha determinado que la biomasa total de los árboles asciende aproximadamente a 180 toneladas de materia seca por hectárea (t/ha). Esta cantidad se traduce en aproximadamente 90 toneladas de carbono por hectárea (t C/ha), utilizando factores de conversión estándar ampliamente reconocidos (Gibbs et al., 2007).

El valor obtenido para el bosque de Vásquez Pampa es significativo, ya que se encuentra en el rango superior de lo reportado para bosques de pinos en climas templados, que típicamente presentan capacidades de captura de carbono en la biomasa aérea que varían entre 50 y 150 t C/ha (Chapin et al., 2012). Este nivel superior de captura se puede atribuir a varios factores interrelacionados. En primer lugar, la composición de especies del bosque, dominada por pinos de crecimiento rápido, favorece la acumulación de biomasa en un

periodo relativamente corto. En segundo lugar, la estructura del bosque, que incluye una combinación de árboles jóvenes y maduros, maximiza la capacidad de almacenamiento de carbono, ya que los árboles jóvenes capturan carbono rápidamente a medida que crecen, mientras que los árboles más viejos almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa madura (Pan et al., 2011).

Además, la edad del bosque es un factor crítico en su capacidad de captura de carbono. Bosques más maduros tienden a tener una mayor acumulación de carbono debido a su estructura más estable y a la presencia de árboles grandes y bien establecidos que actúan como depósitos de carbono a largo plazo. Este patrón ha sido confirmado por estudios en otros ecosistemas forestales, que han encontrado una correlación positiva entre la edad del bosque y la acumulación de carbono en la biomasa aérea (Wang et al., 2018). En el caso del bosque de Vásquez Pampa, su estructura madura y densidad de cobertura arbórea sugieren que este ecosistema ha alcanzado un estado de madurez que lo posiciona como un sumidero de carbono excepcional.

Las condiciones ambientales locales también juegan un papel esencial en la capacidad del bosque para capturar carbono. La altitud, el tipo de suelo y las condiciones climáticas específicas de la región de Vásquez Pampa contribuyen a crear un ambiente óptimo para la acumulación de biomasa. Por ejemplo, la precipitación adecuada y el clima templado proporcionan condiciones favorables para el crecimiento sostenido de los árboles, lo cual es fundamental para la captura de carbono (Li et al., 2019).

Comparando estos resultados con estudios realizados en otras áreas de la Amazonía peruana, se observa que el bosque de Vásquez Pampa tiene una capacidad de captura de carbono que se equipara a la de algunos bosques tropicales. Investigaciones previas en la región han mostrado que los bosques primarios pueden almacenar entre 80 y 120 t C/ha en

su biomasa aérea (Asner et al., 2010). Este hallazgo subraya la importancia del bosque de Vásquez Pampa no solo como un sumidero de carbono significativo a nivel local, sino también en el contexto regional y global de la mitigación del cambio climático.

### **Almacenamiento de Carbono en el Suelo del Bosque**

Además de la biomasa aérea, el suelo del bosque de Vásquez Pampa representa un componente crucial en el almacenamiento de carbono. Los análisis realizados en las muestras de suelo recogidas en diferentes parcelas dentro del bosque indicaron que los horizontes superficiales (0-30 cm) contienen alrededor de 80 toneladas de carbono orgánico por hectárea (t C/ha). Este valor está en el rango superior reportado para bosques de pinos en climas templados, que generalmente oscilan entre 40 y 80 t C/ha en los primeros 30 cm de suelo (Batjes, 1996; Lal, 2004).

La alta capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo se atribuye en gran parte a la acumulación de materia orgánica. Este proceso es fundamental en los ecosistemas forestales, especialmente en aquellos que han alcanzado un grado de madurez, como es el caso del bosque de Vásquez Pampa. La materia orgánica proviene principalmente de la descomposición de hojarasca, raíces y otros restos vegetales que se acumulan en la superficie del suelo. A medida que estos materiales se descomponen, el carbono es retenido en el suelo en forma de compuestos orgánicos estables (Lal, 2005).

La preservación del carbono orgánico en el suelo del bosque de Vásquez Pampa también se ve favorecida por las características químicas del suelo, particularmente su pH ligeramente ácido, que varía entre 5.5 y 6.0. En estos suelos, la descomposición de la materia orgánica tiende a ser más lenta, lo que permite una mayor acumulación de carbono orgánico (Batjes y Sombroek, 1997). Esta ralentización de la descomposición es beneficiosa para la retención de carbono, ya que reduce la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Aunque los estudios en el bosque de Vásquez Pampa se centraron en los horizontes superficiales del suelo, investigaciones recientes en otros bosques han mostrado que una cantidad significativa de carbono puede almacenarse en capas más profundas del suelo (Rumpel y Kögel-Knabner, 2011). Esto sugiere que la capacidad de almacenamiento de carbono del suelo podría ser aún mayor de lo que se ha estimado inicialmente. Futuros estudios podrían beneficiarse de una exploración más profunda del perfil del suelo para comprender completamente el potencial de almacenamiento de carbono de este bosque.

### **Comparación con Otros Bosques de la Región**

La comparación de los resultados del bosque de Vásquez Pampa con otros bosques de la región revela hallazgos interesantes y destaca su importancia como sumidero de carbono. A nivel regional, los bosques de la Amazonía peruana, que incluyen tanto bosques de pinos como bosques tropicales húmedos, se consideran entre los ecosistemas más eficientes para la captura de carbono debido a su alta densidad de biomasa y su capacidad para almacenar grandes cantidades de carbono en el suelo (Baccini et al., 2012).

Estudios recientes han encontrado que los bosques tropicales, como los de la Amazonía, pueden almacenar entre 80 y 120 t C/ha en su biomasa aérea, y estos valores son comparables a los observados en el bosque de Vásquez Pampa (Asner et al., 2010). Esto es notable, considerando que el bosque de Vásquez Pampa se encuentra en un clima templado, lo que sugiere que ciertos bosques templados pueden tener un potencial de captura de carbono tan alto como algunos bosques tropicales, desafiando la percepción común de que los bosques tropicales son los únicos sumideros de carbono efectivos.

Una comparación adicional con otros bosques de pinos en climas templados revela que el bosque de Vásquez Pampa se destaca por su capacidad superior de captura y almacenamiento de carbono. En promedio, otros bosques de pinos en climas similares

muestran capacidades de captura de carbono que varían entre 50 y 150 t C/ha en la biomasa aérea y entre 40 y 80 t C/ha en el suelo (Chapin et al., 2012; Lal, 2004). Esto indica que el bosque de Vásquez Pampa no solo está al nivel de los mejores bosques de pinos en términos de captura de carbono, sino que también supera a muchos de ellos, lo cual puede ser atribuido a factores específicos del sitio como la gestión forestal, las prácticas de conservación, y las características locales del suelo y clima.

En un estudio comparativo realizado en bosques de la región andina, se encontró que los bosques que han sido manejados sosteniblemente tienen una capacidad de captura de carbono significativamente mayor que aquellos que han sufrido explotación forestal intensiva o deforestación (Pérez-Quezada et al., 2019). Este resultado sugiere que la implementación de prácticas de manejo sostenible puede mejorar significativamente la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono. El bosque de Vásquez Pampa, que se ha beneficiado de tales prácticas de conservación, ofrece un modelo de cómo los bosques pueden contribuir a la mitigación del cambio climático cuando se manejan adecuadamente.

Asimismo, al comparar con bosques en otros continentes, como los bosques boreales de Canadá y Rusia, que también son conocidos por su capacidad de captura de carbono, se observa que estos ecosistemas, aunque extensos, tienen una tasa de captura de carbono más baja debido a las condiciones climáticas frías y la menor densidad de biomasa (Dixon et al., 2020). En contraste, el bosque de Vásquez Pampa, con su clima templado y composición de especies de rápido crecimiento, presenta una capacidad de captura de carbono más alta por hectárea, lo que lo convierte en un sumidero de carbono particularmente efectivo.

Este análisis comparativo destaca la importancia de considerar la variabilidad regional y local al evaluar el papel de los bosques en la mitigación del cambio climático. Si bien los

bosques tropicales han recibido una considerable atención como sumideros de carbono, este estudio subraya que otros tipos de bosques, incluidos los de pinos en climas templados como el de Vásquez Pampa, también desempeñan un papel crucial en la captura y almacenamiento de carbono. La identificación y conservación de estos ecosistemas es vital para maximizar su contribución a la mitigación del cambio climático global.

# CAPÍTULO VI

## AMENAZAS AL BOSQUE DE VÁSQUEZ PAMPA

El bosque de Vásquez Pampa, ubicado en Luya Viejo, Luya, Amazonas, es un ecosistema vital que desempeña un papel fundamental en la mitigación del cambio climático mediante la captura y almacenamiento de carbono. Sin embargo, este bosque enfrenta diversas amenazas que comprometen su capacidad de funcionar como un sumidero de carbono y de proporcionar otros servicios ecosistémicos esenciales. A través de un enfoque de investigación multidisciplinario que incluyó recorridos de campo y entrevistas con los comuneros locales, así como la revisión de políticas forestales y estudios de caso, se han identificado dos amenazas principales que afectan al bosque de Vásquez Pampa: la deforestación y la degradación del bosque. Este capítulo explora estas amenazas en detalle, analizando sus impactos, causas y las estrategias necesarias para mitigarlas.

### **Deforestación y sus Impactos**

La deforestación es la eliminación o reducción significativa de la cobertura forestal, y representa una de las mayores amenazas para el bosque de Vásquez Pampa. En esta región, la deforestación se produce principalmente debido a la conversión de tierras forestales a usos no forestales, como la agricultura, la ganadería, y el desarrollo urbano e infraestructural. La deforestación puede ser impulsada tanto por actividades legales, como proyectos de desarrollo económico, como por actividades ilegales, tales como la tala ilegal y la ocupación no autorizada de tierras.

### **Impactos de la Deforestación:**

La deforestación tiene múltiples consecuencias negativas para el medio ambiente y la sociedad. A nivel local, la pérdida de cobertura forestal en el bosque de Vásquez Pampa resulta en la disminución de la biodiversidad, ya que la tala de árboles y la conversión de tierras alteran los hábitats naturales de numerosas especies. Según un estudio reciente de Lovejoy y Nobre (2019), la deforestación en la Amazonía puede llevar a la pérdida de especies endémicas que dependen de hábitats forestales específicos, afectando la integridad ecológica de estos ecosistemas.

Además, la deforestación contribuye significativamente al cambio climático global. Cuando se talan los árboles, el carbono almacenado en la biomasa forestal se libera a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), uno de los principales gases de efecto invernadero. Según un informe del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021), la deforestación y la degradación forestal son responsables de aproximadamente el 10% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, exacerbando el cambio climático y sus impactos asociados, como el aumento de la temperatura global y la alteración de los patrones climáticos.

En el contexto del bosque de Vásquez Pampa, la deforestación también tiene impactos sociales y económicos. La pérdida de cobertura forestal puede afectar los medios de vida de las comunidades locales que dependen de los recursos forestales para su subsistencia, incluyendo la recolección de madera, frutos, plantas medicinales y otros productos no maderables. Además, la deforestación puede reducir la disponibilidad de servicios ecosistémicos críticos, como la regulación del agua, la protección contra inundaciones y la estabilización del suelo, lo que aumenta la vulnerabilidad de las comunidades locales a desastres naturales.

### Causas de la Deforestación:

Las causas de la deforestación en el bosque de Vásquez Pampa son diversas y están interrelacionadas, incluyendo tanto factores directos como indirectos:

- **Expansión agrícola y ganadera:** Una de las principales causas directas de la deforestación es la expansión de la frontera agrícola y ganadera. La conversión de bosques a tierras de cultivo o pastizales es una práctica común en la región, impulsada por la demanda de productos agrícolas y pecuarios en los mercados locales y nacionales. La agricultura de tala y quema, en particular, es una técnica utilizada por las comunidades locales para despejar tierras, lo que resulta en la pérdida de grandes extensiones de bosques.
- **Desarrollo de infraestructura:** La construcción de carreteras, puentes, y otras infraestructuras también contribuye a la deforestación. Según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2020), el desarrollo de infraestructura en la región amazónica ha facilitado el acceso a áreas previamente remotas, fomentando la conversión de tierras forestales a otros usos y aumentando la presión sobre los bosques existentes.
- **Extracción ilegal de madera:** La tala ilegal es otra causa significativa de deforestación en el bosque de Vásquez Pampa. Esta práctica implica la extracción no autorizada de madera, a menudo de especies de alto valor comercial. La tala ilegal no solo reduce la cobertura forestal, sino que también degrada la estructura del bosque y afecta la regeneración natural. Un estudio realizado por la FAO y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2020) estima que la tala ilegal representa hasta el 70% de la producción maderera en algunas partes de la Amazonía

peruana.

- **Factores socioeconómicos y políticos:** Además de las causas directas, hay una serie de factores socioeconómicos y políticos que contribuyen indirectamente a la deforestación. Estos incluyen la pobreza, la falta de acceso a alternativas económicas sostenibles, y la débil gobernanza forestal, que a menudo resulta en una falta de aplicación efectiva de las leyes y regulaciones ambientales.

### **Medidas para Combatir la Deforestación:**

Para mitigar los impactos de la deforestación en el bosque de Vásquez Pampa, es crucial implementar una serie de estrategias y políticas efectivas, tales como:

- **Fortalecimiento de la gobernanza forestal:** Mejorar la aplicación de las leyes forestales y ambientales existentes, y desarrollar nuevas políticas que promuevan la conservación forestal y el uso sostenible de los recursos naturales.
- **Fomento de alternativas económicas sostenibles:** Desarrollar programas que promuevan actividades económicas sostenibles, como el ecoturismo, la agroforestería, y el manejo sostenible de productos forestales no maderables, que puedan proporcionar ingresos a las comunidades locales sin necesidad de deforestar.
- **Incentivos financieros para la conservación:** Establecer mecanismos de pago por servicios ambientales (PSA) y otros incentivos financieros que recompensen a las comunidades locales y a los propietarios de tierras por conservar los bosques.
- **Educación y concienciación:** Implementar programas de educación ambiental que sensibilicen a las comunidades locales sobre la importancia de los bosques y los beneficios de la conservación.

### **Degradación del Bosque y Factores Contribuyentes**

La degradación del bosque es otra amenaza significativa que enfrenta el bosque de Vásquez Pampa. A diferencia de la deforestación, que implica la pérdida total de la cubierta forestal, la degradación del bosque se refiere al deterioro gradual de la calidad del bosque, afectando su estructura, composición y función ecológica. La degradación puede ser el resultado de varias actividades humanas, como la tala selectiva, el pastoreo excesivo, y los incendios forestales.

#### **Impactos de la Degradación del Bosque:**

La degradación del bosque tiene múltiples efectos adversos en los ecosistemas forestales y los servicios que proporcionan. Uno de los principales impactos es la reducción de la biodiversidad. La tala selectiva, por ejemplo, puede llevar a la eliminación de especies de árboles valiosas y a la alteración de la estructura del dosel del bosque, lo que afecta a la fauna que depende de estos árboles para su hábitat y alimentación. Estudios recientes han demostrado que los bosques degradados tienden a tener una menor diversidad de especies y una mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades (Powers et al., 2018).

Otro impacto significativo de la degradación del bosque es la disminución de su capacidad para capturar y almacenar carbono. La degradación, a menudo, implica la pérdida parcial de la biomasa forestal y la alteración de la dinámica del suelo, lo que reduce la capacidad del bosque para secuestrar carbono de manera efectiva. Según un estudio de Baccini et al. (2017), la degradación de los bosques tropicales podría estar contribuyendo con más emisiones de carbono de lo que se había estimado anteriormente, lo que subraya la importancia de abordar esta amenaza de manera efectiva.

La degradación también afecta la estructura del suelo y su capacidad para almacenar

carbono. El pastoreo excesivo, por ejemplo, puede llevar a la compactación del suelo, reduciendo su porosidad y capacidad de retención de agua, lo que afecta negativamente a la regeneración del bosque y la productividad del suelo (Van der Esch et al., 2018). Además, los incendios forestales, que son comunes en áreas degradadas, pueden destruir la capa superior del suelo y liberar grandes cantidades de carbono almacenado en la materia orgánica del suelo.

### **Causas de la Degradación del Bosque:**

Las causas de la degradación del bosque de Vásquez Pampa son variadas y pueden incluir tanto actividades humanas como factores naturales:

- **Tala selectiva y extracción de productos forestales:** La extracción selectiva de madera de especies de alto valor, como el cedro y la caoba, es una práctica común que degrada la calidad del bosque al alterar su estructura y composición. Además, la extracción de productos forestales no maderables, como resinas, frutos y plantas medicinales, puede tener efectos negativos si no se maneja de manera sostenible.
- **Pastoreo y sobrepastoreo:** La introducción de ganado en áreas forestales para el pastoreo es una causa significativa de degradación del bosque. El sobrepastoreo puede llevar a la compactación del suelo, la reducción de la regeneración de plántulas, y la pérdida de vegetación subarbórea, lo que afecta negativamente la estructura y función del bosque (Laurance et al., 2018).
- **Incendios forestales:** Aunque los incendios pueden ser eventos naturales, en muchas regiones de la Amazonía peruana, los incendios forestales son provocados por actividades humanas, como la quema de tierras para la agricultura o el despeje de áreas para el pastoreo. Los incendios recurrentes pueden degradar significativamente

el bosque, reduciendo la biomasa aérea y alterando la estructura del suelo (Armenteras et al., 2020).

- **Factores climáticos extremos:** El cambio climático ha aumentado la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos, como sequías e inundaciones, que pueden contribuir a la degradación del bosque. Las sequías prolongadas, en particular, pueden aumentar la vulnerabilidad del bosque a incendios y a la muerte de árboles, exacerbando la degradación (Marengo et al., 2018).

#### **Medidas para Combatir la Degradación del Bosque:**

Para mitigar los efectos de la degradación del bosque y restaurar la salud del ecosistema, es fundamental adoptar un enfoque de manejo adaptativo e integrador, que incluya:

- **Manejo sostenible de la tala y extracción de recursos:** Desarrollar y aplicar prácticas de manejo forestal que limiten la extracción de madera y otros recursos a niveles sostenibles, promoviendo la regeneración natural del bosque y la conservación de la biodiversidad.
- **Control de prácticas de pastoreo:** Implementar regulaciones y prácticas de manejo del pastoreo que limiten la cantidad de ganado en áreas forestales y promuevan el uso de técnicas de pastoreo rotativo para minimizar el impacto en el suelo y la vegetación.
- **Prevención y manejo de incendios forestales:** Desarrollar e implementar planes de manejo de incendios que incluyan la capacitación de las comunidades locales en prácticas de manejo del fuego, la creación de cortafuegos, y el monitoreo de las condiciones climáticas para prevenir incendios descontrolados.

- **Reforestación y restauración ecológica:** Promover programas de reforestación y restauración en áreas degradadas, utilizando especies nativas y técnicas de rehabilitación del suelo para recuperar la estructura y función del bosque. Según Chazdon (2017), la restauración ecológica es clave para recuperar la funcionalidad de los ecosistemas forestales y aumentar su resiliencia frente a perturbaciones futuras.
- **Monitoreo y evaluación continua:** Establecer sistemas de monitoreo y evaluación para rastrear el estado de salud del bosque y la efectividad de las intervenciones de manejo, ajustando las estrategias según sea necesario para mejorar los resultados de conservación.
- **Fortalecimiento de la cooperación y las políticas ambientales:** Fomentar la cooperación entre las autoridades locales, regionales y nacionales, así como con organizaciones no gubernamentales e internacionales, para desarrollar y aplicar políticas y programas que apoyen la conservación y manejo sostenible del bosque de Vásquez Pampa.

# CAPÍTULO VII

## ESTRATEGIAS DE MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE

El manejo forestal sostenible se ha convertido en una prioridad global en la lucha contra el cambio climático. Este enfoque no solo busca conservar los ecosistemas forestales, como el bosque de Vásquez Pampa, sino también maximizar su capacidad para capturar y almacenar carbono. A través de diversas estrategias, el manejo sostenible del bosque puede abordar amenazas como la deforestación y la degradación, promoviendo al mismo tiempo prácticas que fortalezcan la resiliencia del ecosistema. Este capítulo explora cinco estrategias clave para el manejo forestal sostenible del bosque de Vásquez Pampa: prevención de la deforestación, control de la degradación forestal, restauración y reforestación, diversificación de especies y manejo adaptativo del bosque.

### **Prevención de la Deforestación**

La deforestación es una de las mayores amenazas para los bosques en todo el mundo y una preocupación importante para el bosque de Vásquez Pampa. Este proceso implica la conversión de áreas forestales a otros usos del suelo, como la agricultura, el desarrollo urbano o la minería, lo que resulta en la pérdida de cobertura forestal y la liberación de carbono almacenado en la biomasa y el suelo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), la deforestación contribuye aproximadamente al 11% de las emisiones globales de dióxido de carbono, lo que subraya la necesidad urgente de implementar estrategias efectivas para prevenirla.

Una estrategia fundamental para la prevención de la deforestación en el bosque de Vásquez Pampa es la integración en iniciativas de pago por servicios ambientales (PSA),

como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal). REDD+ es un mecanismo internacional que incentiva a los países en desarrollo a reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y la degradación forestal, promoviendo a su vez la conservación, el manejo sostenible de los bosques y el aumento de las reservas de carbono forestal (Angelsen et al., 2018). Integrar el bosque de Vásquez Pampa en tales iniciativas puede proporcionar recursos financieros esenciales para su protección y manejo sostenible, así como fortalecer las políticas de conservación locales y nacionales.

Además, es crucial fortalecer la aplicación de leyes y políticas que prohíban la deforestación ilegal y regulen el uso de la tierra. La implementación de tecnologías de monitoreo, como imágenes satelitales y drones, puede mejorar la vigilancia y el control de actividades ilegales en el bosque. Por ejemplo, un estudio realizado en Brasil demostró que el monitoreo satelital efectivo puede reducir las tasas de deforestación en un 65% (Souza et al., 2021). Adicionalmente, promover prácticas agrícolas sostenibles y diversificadas en áreas cercanas puede reducir la presión sobre los recursos forestales, brindando alternativas económicas a las comunidades locales que dependen de la tierra para su subsistencia.

Otro componente clave es la participación comunitaria. La educación y sensibilización de las comunidades locales sobre la importancia del bosque de Vásquez Pampa para la mitigación del cambio climático y la provisión de servicios ecosistémicos puede fomentar una mayor participación en la conservación del bosque. La gestión comunitaria de los recursos forestales ha demostrado ser eficaz para reducir la deforestación y mejorar la conservación. Un estudio reciente encontró que la deforestación disminuyó en un 37% en áreas donde las comunidades locales estaban directamente involucradas en la gestión forestal (Garnett et al., 2018).

### **Control de la Degradación Forestal**

La degradación forestal se refiere a la disminución de la capacidad de un bosque para proporcionar servicios ecosistémicos, incluyendo la captura y almacenamiento de carbono. A diferencia de la deforestación, que implica la eliminación completa del bosque, la degradación forestal puede ocurrir a través de actividades que alteran la estructura y función del ecosistema, como la tala selectiva, el pastoreo excesivo, los incendios forestales y las plagas (Thompson et al., 2020).

Para controlar la degradación forestal en el bosque de Vásquez Pampa, es esencial implementar prácticas de manejo que reduzcan los impactos negativos de estas actividades. Una estrategia efectiva es la adopción de técnicas de tala de impacto reducido (RIL), que minimizan el daño al bosque durante las operaciones de tala al limitar la cantidad de árboles cortados y evitar el daño al suelo y a los árboles circundantes (Putz et al., 2019). La aplicación de RIL no solo puede reducir la pérdida de biomasa y carbono, sino también promover la regeneración natural del bosque, contribuyendo a la sostenibilidad a largo plazo.

La gestión de incendios forestales es otro aspecto crítico del control de la degradación. Los incendios no controlados pueden devastar grandes áreas forestales, liberando grandes cantidades de carbono almacenado a la atmósfera y alterando profundamente la estructura del ecosistema. La creación de cortafuegos, la implementación de prácticas de quema controlada y la capacitación de las comunidades locales en la prevención y manejo de incendios son estrategias que pueden reducir significativamente la incidencia y severidad de los incendios forestales (Silva et al., 2021).

El manejo de plagas y enfermedades también es esencial para evitar la degradación del bosque. Esto puede incluir la aplicación de métodos biológicos de control de plagas y la promoción de la diversidad de especies para reducir la susceptibilidad a brotes de plagas y enfermedades (Bonanomi et al., 2018). Estudios recientes sugieren que los bosques con una

mayor diversidad de especies tienden a ser más resistentes a las plagas y enfermedades, lo que refuerza la importancia de la diversidad en la estrategia general de manejo forestal (Jactel et al., 2017).

### **Restauración y Reforestación**

La restauración y reforestación son estrategias críticas para revertir la degradación del bosque y aumentar su capacidad de captura de carbono. La restauración implica el proceso de recuperar las funciones y la biodiversidad de los ecosistemas degradados, mientras que la reforestación se refiere a la replantación de árboles en áreas donde el bosque ha sido completamente eliminado (Chazdon et al., 2020).

En el contexto del bosque de Vásquez Pampa, la restauración puede involucrar la rehabilitación de áreas degradadas mediante la plantación de especies nativas y la implementación de técnicas de restauración ecológica, como la mejora del suelo y la gestión del agua. Estas acciones no solo ayudan a restaurar la capacidad de secuestro de carbono del bosque, sino que también mejoran la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema frente a futuros disturbios (Holl & Aide, 2020).

La reforestación con especies de árboles nativos y adaptados al entorno local es fundamental para garantizar que los nuevos bosques no solo capturen carbono, sino que también proporcionen hábitats adecuados para la fauna local y contribuyan a la estabilidad ecológica del área. Un estudio realizado por Bastin et al. (2019) destaca que la reforestación global tiene el potencial de capturar dos tercios del carbono emitido por las actividades humanas, subrayando la importancia de esta estrategia en la lucha contra el cambio climático.

Además, la reforestación puede ser apoyada por políticas nacionales e internacionales que fomenten la inversión en programas de restauración forestal. La Iniciativa 20x20 en

América Latina, por ejemplo, tiene como objetivo restaurar 20 millones de hectáreas de tierras degradadas para 2020, un esfuerzo que podría inspirar acciones similares en otras regiones (IUCN, 2021). Estas iniciativas no solo ayudan a aumentar la cobertura forestal, sino que también generan empleo y fortalecen las economías locales.

### **Diversificación de Especies**

La diversificación de especies es una estrategia clave para mejorar la resiliencia del bosque de Vásquez Pampa ante perturbaciones y maximizar su capacidad de captura de carbono. Un bosque con una mayor diversidad de especies tiende a ser más estable y resistente a los cambios ambientales, las plagas y las enfermedades (Cardinale et al., 2018).

La introducción de una variedad de especies arbóreas, particularmente aquellas nativas de la región y adaptadas a las condiciones locales, puede aumentar la complejidad del ecosistema y su capacidad para adaptarse a eventos extremos, como sequías prolongadas o inundaciones (Bruelheide et al., 2020). Además, la diversificación puede mejorar la eficiencia en el uso de recursos, como el agua y los nutrientes del suelo, lo que puede resultar en una mayor productividad y captura de carbono.

Un estudio realizado por Liang et al. (2016) encontró que los bosques con una alta diversidad de especies almacenan más carbono que los bosques menos diversos. Esto sugiere que la diversificación de especies no solo es beneficiosa para la biodiversidad del ecosistema, sino que también puede ser una herramienta eficaz para mejorar la mitigación del cambio climático. Además, un ecosistema diverso puede proporcionar una gama más amplia de servicios ecosistémicos, como la regulación del agua, la conservación del suelo y la polinización, que son fundamentales para el bienestar humano y la sostenibilidad del paisaje en general (Isbell et al., 2017).

### Manejo Adaptativo del Bosque

El manejo adaptativo es un enfoque dinámico y flexible que permite ajustar las estrategias de manejo en función de los resultados obtenidos y las condiciones cambiantes del entorno. Este enfoque es particularmente relevante para el bosque de Vásquez Pampa, donde las condiciones ambientales y las amenazas pueden cambiar rápidamente debido a factores como el cambio climático y la intervención humana (Walters, 1986).

El manejo adaptativo implica un ciclo continuo de monitoreo, evaluación y ajuste de las prácticas de manejo forestal para maximizar los beneficios ecológicos y socioeconómicos. Por ejemplo, el monitoreo regular del contenido de carbono en la biomasa aérea y el suelo puede proporcionar información crucial sobre la eficacia de las estrategias de conservación y manejo implementadas (Allen et al., 2011). Si los datos de monitoreo indican una disminución en la capacidad de captura de carbono del bosque, se pueden ajustar las prácticas de manejo para abordar las causas subyacentes, como la tala excesiva o la degradación del suelo.

Además, el manejo adaptativo facilita la integración de conocimientos científicos y tradicionales en la gestión del bosque. La colaboración entre científicos, comunidades locales y gestores de recursos naturales es fundamental para desarrollar estrategias de manejo que sean culturalmente apropiadas y ecológicamente efectivas (Armitage et al., 2015). En el caso del bosque de Vásquez Pampa, involucrar a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones puede mejorar la aceptación de las prácticas de manejo y aumentar la sostenibilidad a largo plazo de los esfuerzos de conservación.

Un ejemplo exitoso de manejo adaptativo es el enfoque utilizado en la Reserva de la Biosfera Maya en Guatemala, donde la combinación de monitoreo científico, participación comunitaria y ajustes de manejo basados en los resultados ha llevado a una mejora

significativa en la conservación del bosque y la captura de carbono (Schmink et al., 2014). Este modelo podría adaptarse y aplicarse en el bosque de Vásquez Pampa para mejorar la eficacia de las estrategias de manejo forestal.

Las estrategias de manejo forestal sostenible, como la prevención de la deforestación, el control de la degradación forestal, la restauración y reforestación, la diversificación de especies, y el manejo adaptativo, son fundamentales para proteger el bosque de Vásquez Pampa y maximizar su capacidad para capturar y almacenar carbono. Estas estrategias no solo contribuyen a la mitigación del cambio climático a nivel global, sino que también promueven la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible a nivel local. La implementación efectiva de estas estrategias requiere un enfoque colaborativo y adaptable que integre tanto los conocimientos científicos como las prácticas locales, garantizando así la preservación a largo plazo de este valioso ecosistema forestal.

# CAPÍTULO VIII

## IMPLICACIONES A NIVEL LOCAL Y GLOBAL

### **Beneficios Locales del Manejo Sostenible del Bosque**

El manejo sostenible del bosque de Vásquez Pampa tiene implicaciones significativas a nivel local, especialmente para las comunidades que viven en las cercanías de este importante ecosistema forestal. A través de prácticas de conservación y manejo responsable, es posible no solo preservar el bosque, sino también maximizar los beneficios sociales, económicos y ambientales que este proporciona a las comunidades locales.

### **Provisión de Servicios Ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos que ofrece el bosque de Vásquez Pampa son fundamentales para las comunidades locales. Entre los más destacados se encuentran la regulación del ciclo hidrológico, la provisión de recursos forestales como madera y productos no maderables, y la conservación de la biodiversidad. La regulación del ciclo hidrológico es crucial en regiones como Luya, donde las fuentes de agua pueden ser limitadas. El bosque actúa como una esponja natural que captura, almacena y libera agua de manera gradual, asegurando así un suministro constante y limpio a lo largo del año. Además, ayuda a prevenir la erosión del suelo y la sedimentación de los ríos, lo cual es vital para mantener la calidad del agua (Gutiérrez & Herrera, 2023). Las comunidades locales dependen de esta regulación para sus actividades agrícolas y de subsistencia, destacando así la importancia de mantener intacta esta función del bosque.

Adicionalmente, los recursos forestales que el bosque de Vásquez Pampa proporciona son vitales para la economía local. La madera y otros productos no maderables

como frutos, plantas medicinales y resinas, son fuentes importantes de ingreso para las familias que habitan en los alrededores del bosque (Vargas & López, 2021). En muchos casos, estos productos no maderables constituyen una parte significativa de la dieta local y sirven como materias primas para la elaboración de productos artesanales, que también representan una fuente de ingresos para las comunidades.

Un estudio reciente destaca que los bosques manejados de manera sostenible son más eficientes en la provisión de servicios ecosistémicos, lo que contribuye directamente a la calidad de vida de las poblaciones locales (Fernández et al., 2022). Este manejo sostenible asegura que el bosque pueda seguir proporcionando estos recursos a largo plazo, incluso ante desafíos como el cambio climático y la presión humana.

### **Sostenibilidad Económica y Oportunidades de Desarrollo**

La gestión sostenible del bosque de Vásquez Pampa no solo protege el medio ambiente, sino que también puede generar oportunidades económicas para las comunidades locales. Iniciativas como el ecoturismo, el aprovechamiento forestal responsable y los pagos por servicios ambientales representan fuentes de ingresos importantes que pueden mejorar la economía local (Ramírez et al., 2021). Estas actividades permiten que las comunidades desarrollen sus economías sin comprometer la salud del ecosistema, creando un modelo de desarrollo que es tanto sostenible como beneficioso.

Por ejemplo, el ecoturismo basado en la observación de la biodiversidad y la experiencia de estar en un bosque bien conservado puede atraer visitantes nacionales e internacionales. Esta actividad no solo genera ingresos directos para los guías turísticos y las empresas locales, sino que también puede fomentar una mayor conciencia y aprecio por la conservación de los bosques (Mejía & Velázquez, 2020). Además, la creación de puestos de trabajo en actividades relacionadas con el turismo puede reducir la presión sobre los recursos

forestales, al ofrecer a las comunidades alternativas económicas más sostenibles.

Otra fuente potencial de ingresos es el pago por servicios ambientales, donde las comunidades locales son compensadas por conservar el bosque y los servicios que éste proporciona, como la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad. Estas compensaciones pueden provenir de fondos internacionales, como aquellos promovidos por las Naciones Unidas en el marco de programas como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal) (González et al., 2021).

Además, la implementación de prácticas de manejo forestal sostenible, como la reforestación y la tala controlada, puede permitir un uso más eficiente y prolongado de los recursos forestales. Esto asegura que el bosque siga siendo una fuente de productos forestales, como madera y resina, que son cruciales para la economía local (Zambrano & Pérez, 2019). La reforestación con especies nativas no solo garantiza un retorno económico a largo plazo, sino que también contribuye a la recuperación de la biodiversidad y al mejoramiento del suelo, lo cual es vital para la sostenibilidad del bosque.

### **Conservación de la Biodiversidad y Protección de los Medios de Vida**

El bosque de Vásquez Pampa alberga una rica biodiversidad, incluyendo especies endémicas de flora y fauna que son vitales para el equilibrio ecológico de la región. La conservación de esta biodiversidad no solo es crucial para mantener la salud del ecosistema, sino que también representa un recurso invaluable para las comunidades locales. Los estudios recientes destacan que los bosques con una alta diversidad de especies son más resilientes al cambio climático y otros desafíos ambientales, lo que beneficia directamente a las comunidades que dependen de estos ecosistemas para su sustento (Martínez et al., 2022).

La biodiversidad también proporciona múltiples beneficios directos e indirectos a las

comunidades locales. La recolección de productos no maderables, como frutos, plantas medicinales y hongos, es una práctica común en la región que proporciona ingresos adicionales y seguridad alimentaria (Vargas & López, 2021). Además, los recursos genéticos de las plantas y los animales del bosque son valiosos para la investigación científica y el desarrollo de nuevos medicamentos y productos agrícolas, lo que puede ofrecer beneficios económicos adicionales (López & Molina, 2023).

La pérdida de biodiversidad debido a prácticas de manejo no sostenibles o a la deforestación puede tener consecuencias devastadoras para estas comunidades, destacando la necesidad urgente de implementar estrategias de conservación efectivas. La conservación de la biodiversidad en el bosque de Vásquez Pampa es, por lo tanto, no solo una cuestión de preservar la naturaleza, sino también de asegurar los medios de vida de las comunidades locales y de fortalecer la resiliencia de la región ante los impactos del cambio climático.

### **Importancia Global en la Mitigación del Cambio Climático**

A nivel global, el bosque de Vásquez Pampa juega un papel esencial en la mitigación del cambio climático, al actuar como un sumidero de carbono significativo. Este ecosistema forestal es capaz de capturar y almacenar grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera, contribuyendo así a la reducción de los gases de efecto invernadero y, por ende, al enfriamiento del planeta.

### **Captura y Almacenamiento de Carbono**

Los bosques son los sumideros de carbono más importantes del planeta, y el bosque de Vásquez Pampa no es una excepción. La capacidad del bosque para capturar y almacenar carbono en su biomasa aérea y en el suelo es comparable a la de algunos de los bosques tropicales más grandes del mundo, como los de la Amazonía. Según estudios recientes, los

bosques bien gestionados pueden secuestrar hasta 150 toneladas de carbono por hectárea, lo que los convierte en herramientas poderosas contra el cambio climático (Sánchez et al., 2021).

El proceso de captura de carbono se lleva a cabo a través de la fotosíntesis, donde los árboles absorben CO<sub>2</sub> y lo convierten en materia orgánica. Este carbono se almacena en la biomasa de los árboles (troncos, ramas, hojas) y en el suelo, donde puede permanecer durante décadas o incluso siglos (Gómez & Ortega, 2020). La capacidad del bosque de Vásquez Pampa para capturar carbono no solo ayuda a reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, sino que también proporciona un colchón contra las fluctuaciones climáticas, estabilizando el clima local y global.

Además, los suelos del bosque de Vásquez Pampa tienen una alta capacidad de almacenamiento de carbono. Los estudios han demostrado que los suelos forestales pueden contener entre el 30% y el 50% del carbono total almacenado en los ecosistemas forestales (Ramos et al., 2023). Esta capacidad de almacenamiento es crucial porque el carbono almacenado en el suelo puede ser más estable y menos susceptible a la liberación rápida que el carbono almacenado en la biomasa aérea.

### **Comparación con Otros Ecosistemas Globales**

Comparado con otros ecosistemas forestales del mundo, el bosque de Vásquez Pampa tiene una capacidad notable para la captura de carbono. Estudios realizados en la Amazonía y otras regiones tropicales muestran que los bosques primarios pueden almacenar entre 80 y 120 toneladas de carbono por hectárea en la biomasa aérea (Torres et al., 2022). En este contexto, el bosque de Vásquez Pampa, con su capacidad de almacenamiento de carbono comparable, se destaca como un sumidero de carbono clave en la región.

Además, la capacidad del bosque de Vásquez Pampa para capturar carbono se complementa con su alta capacidad de almacenamiento en el suelo. Esto subraya la importancia de la conservación de este bosque no solo para la captura de carbono en la biomasa aérea, sino también para la preservación del carbono almacenado en el suelo, que es vital para el equilibrio climático global. La combinación de captura de carbono en la biomasa y almacenamiento en el suelo convierte al bosque de Vásquez Pampa en un componente integral en los esfuerzos globales por mitigar el cambio climático (Ramos et al., 2023).

### **Contribución a los Objetivos Climáticos Internacionales**

La conservación y manejo sostenible del bosque de Vásquez Pampa no solo benefician a las comunidades locales y al medio ambiente global, sino que también contribuyen a los objetivos climáticos internacionales. Iniciativas como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU subrayan la importancia de conservar y restaurar los ecosistemas forestales como una estrategia clave para mitigar el cambio climático (ONU, 2023).

El bosque de Vásquez Pampa puede desempeñar un papel importante en el marco de iniciativas internacionales de mitigación del cambio climático, como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal), que buscan incentivar a los países a proteger sus bosques mediante compensaciones económicas. La inclusión de este bosque en tales programas podría generar fondos adicionales para su conservación y manejo sostenible, beneficiando tanto a las comunidades locales como a los esfuerzos globales por reducir las emisiones de carbono (González et al., 2021).

Además, la participación en estos programas puede ayudar a las comunidades locales a acceder a nuevas oportunidades de financiamiento y asistencia técnica, lo que facilita la implementación de prácticas de manejo forestal más sostenibles y efectivas. Esta

colaboración global es esencial para enfrentar el cambio climático de manera efectiva, asegurando que los bosques como el de Vásquez Pampa puedan continuar desempeñando su papel vital como sumideros de carbono (López & Molina, 2023).

### **Estrategias Globales para la Conservación del Bosque de Vásquez Pampa**

Para maximizar la contribución del bosque de Vásquez Pampa a la mitigación del cambio climático, es esencial adoptar estrategias de conservación a nivel global. Estas pueden incluir mecanismos de financiamiento internacional, cooperación científica y técnica, y programas de sensibilización y educación ambiental (López & Molina, 2023). La implementación de estas estrategias no solo fortalecerá la conservación del bosque, sino que también promoverá una mayor colaboración internacional para enfrentar el desafío global del cambio climático.

La cooperación científica y técnica es fundamental para desarrollar estrategias de manejo forestal que sean efectivas y adaptadas a las condiciones locales. Esto incluye la investigación en técnicas de reforestación, la selección de especies adecuadas para la restauración de áreas degradadas, y el monitoreo de la salud del bosque y su capacidad de captura de carbono (Torres et al., 2022). Asimismo, programas de educación y concientización pueden desempeñar un papel crucial en la sensibilización de las comunidades locales e internacionales sobre la importancia de conservar los bosques y los beneficios que estos proporcionan.

Además, la integración de la conservación del bosque de Vásquez Pampa en políticas y estrategias nacionales e internacionales relacionadas con el cambio climático y la preservación de la biodiversidad es fundamental para asegurar su protección a largo plazo. Esto requiere una colaboración estrecha entre gobiernos, organizaciones no gubernamentales y la comunidad científica, así como la participación activa de las

comunidades locales en la toma de decisiones (ONU, 2023).

# CAPÍTULO IX

## ESTRATEGIAS GLOBALES PARA LA CONSERVACIÓN DEL BOSQUE DE VÁSQUEZ PAMPA

La conservación del Bosque de Vásquez Pampa es esencial para la mitigación del cambio climático y la preservación de la biodiversidad. Este ecosistema, situado en la región amazónica de Perú, no solo actúa como un sumidero de carbono significativo, sino que también proporciona múltiples servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades locales y la salud ambiental global. En este contexto, la adopción de estrategias globales efectivas para su conservación es imperativa. Este capítulo examina cuatro estrategias clave para la conservación del Bosque de Vásquez Pampa: mecanismos de financiamiento internacional, cooperación científica y técnica, sensibilización y educación ambiental, e integración en políticas climáticas y de biodiversidad.

### **Mecanismos de Financiamiento Internacional**

Los mecanismos de financiamiento internacional son fundamentales para la conservación del Bosque de Vásquez Pampa. Uno de los mecanismos más prominentes es el programa REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal), que ha demostrado ser una herramienta poderosa para mitigar el cambio climático mediante la provisión de incentivos financieros a los países en desarrollo para reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal (Angelsen et al., 2018; Seymour & Busch, 2021). REDD+ no solo ofrece una compensación financiera por la conservación de los bosques, sino que también promueve el desarrollo sostenible al proporcionar beneficios adicionales, como el fortalecimiento de los medios de vida locales y la protección de la biodiversidad.

La implementación efectiva de REDD+ en el Bosque de Vásquez Pampa requeriría la colaboración entre gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales y comunidades indígenas para garantizar una gestión sostenible del bosque. Es fundamental que los acuerdos de financiamiento sean transparentes y equitativos, asegurando que los beneficios lleguen a las comunidades locales que son las verdaderas guardianas del bosque. La creación de mecanismos claros de distribución de beneficios y la participación activa de las comunidades locales en la toma de decisiones pueden aumentar la efectividad de estos programas y garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Busch & Ferretti-Gallon, 2017; Griscom et al., 2020).

Además, existen otras fuentes de financiamiento internacional que pueden complementar los esfuerzos de REDD+. El Fondo Verde para el Clima (GCF) y el Banco Mundial han establecido iniciativas específicas para apoyar la conservación de los bosques y la mitigación del cambio climático. Por ejemplo, el GCF ha financiado proyectos en todo el mundo que promueven la conservación forestal y el desarrollo sostenible, proporcionando una fuente adicional de financiamiento para la conservación del Bosque de Vásquez Pampa (Köhl et al., 2020). También es posible explorar oportunidades de financiamiento mediante bonos verdes, que permiten a los inversores apoyar proyectos ecológicos, incluidos aquellos que buscan conservar y restaurar los bosques (Chadwick et al., 2021).

El uso de mecanismos de financiamiento internacional no solo se limita a la provisión de recursos económicos. También es fundamental implementar sistemas robustos de monitoreo, reporte y verificación (MRV) que permitan evaluar el impacto de las actividades de conservación y asegurar la transparencia en el uso de los fondos (Gardner et al., 2019). Estas herramientas son cruciales para construir confianza entre los donantes internacionales y las comunidades locales, asegurando que los recursos se utilicen de manera eficiente y

efectiva para preservar el Bosque de Vásquez Pampa.

### **Cooperación Científica y Técnica**

La cooperación científica y técnica es vital para la conservación del Bosque de Vásquez Pampa, ya que facilita el intercambio de conocimientos y el desarrollo de capacidades locales para la gestión sostenible del bosque. Esta cooperación puede tomar diversas formas, desde asociaciones entre instituciones académicas y de investigación hasta colaboraciones con organizaciones no gubernamentales y agencias internacionales.

Las nuevas tecnologías, como la teledetección, los sistemas de información geográfica (SIG) y el uso de drones, ofrecen oportunidades innovadoras para el monitoreo y la gestión del bosque. Estas herramientas permiten la recopilación de datos precisos y a gran escala sobre la cobertura forestal, la biodiversidad y las emisiones de carbono, proporcionando información crítica para la toma de decisiones informadas (Asner et al., 2018). Por ejemplo, el uso de drones para monitorear la salud del bosque y detectar actividades ilegales, como la tala o la caza furtiva, puede mejorar significativamente la capacidad de respuesta de los gestores del bosque y reducir la deforestación y la degradación forestal (Díaz et al., 2021).

La cooperación técnica también incluye el fortalecimiento de las capacidades locales a través de la formación y la transferencia de conocimientos. Las comunidades locales, incluyendo las comunidades indígenas, poseen un conocimiento invaluable sobre la gestión y la conservación de los bosques que debe ser integrado en los programas de conservación (Chazdon et al., 2020). El fortalecimiento de estas capacidades locales puede lograrse mediante talleres de capacitación, programas educativos y proyectos de investigación participativa que involucren a las comunidades locales en todas las etapas del proceso de conservación (Arroyo-Rodríguez et al., 2019).

Además, es importante fomentar la colaboración interdisciplinaria que involucre a científicos sociales, ecologistas, economistas y expertos en política ambiental. La combinación de estos diferentes campos de conocimiento puede proporcionar una comprensión más integral de los desafíos y oportunidades de conservación del Bosque de Vásquez Pampa (Chazdon et al., 2020). Esta colaboración interdisciplinaria es esencial para desarrollar estrategias de conservación que no solo aborden los aspectos ecológicos del bosque, sino también sus dimensiones sociales, económicas y culturales.

### **Sensibilización y Educación Ambiental**

La sensibilización y la educación ambiental son componentes críticos para la conservación del Bosque de Vásquez Pampa. La educación ambiental tiene como objetivo aumentar la conciencia pública sobre la importancia de los ecosistemas forestales y fomentar un cambio en los comportamientos y actitudes hacia la conservación del medio ambiente (Ardoin et al., 2020). La creación de programas educativos que involucren a las comunidades locales, especialmente a los jóvenes, en actividades de conservación y restauración del bosque es fundamental para garantizar un compromiso a largo plazo con la protección del bosque.

Estos programas deben ser inclusivos y culturalmente relevantes, utilizando enfoques participativos que involucren a las comunidades locales en el proceso de aprendizaje. Actividades como talleres, capacitaciones, campañas de sensibilización y proyectos de reforestación comunitaria pueden ser herramientas efectivas para educar y movilizar a las comunidades en la conservación del bosque (Ballard et al., 2018). Además, es esencial que estos programas no solo se centren en los beneficios ambientales del bosque, sino también en los beneficios socioeconómicos que la conservación puede traer a las comunidades locales, como el ecoturismo, la recolección sostenible de productos forestales no maderables y el pago por servicios ambientales (Mongabay Latam, 2021).

A nivel global, las campañas de sensibilización que destaquen la importancia del Bosque de Vásquez Pampa para la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad pueden ayudar a generar apoyo internacional y movilizar recursos para su protección (Fearnside, 2019). Las plataformas digitales y las redes sociales pueden ser herramientas efectivas para difundir información sobre el bosque y aumentar la conciencia global sobre su importancia y las amenazas que enfrenta (Dinerstein et al., 2020). Además, las alianzas con organizaciones internacionales de conservación, medios de comunicación y líderes de opinión pueden ayudar a amplificar el mensaje y atraer una mayor atención a la necesidad de proteger el Bosque de Vásquez Pampa.

### **Integración en Políticas Climáticas y de Biodiversidad**

La integración del Bosque de Vásquez Pampa en políticas climáticas y de biodiversidad a nivel nacional e internacional es una estrategia clave para su conservación. A nivel nacional, es fundamental que el gobierno peruano incorpore la protección del Bosque de Vásquez Pampa en sus políticas y estrategias de cambio climático y biodiversidad, como parte de sus compromisos bajo el Acuerdo de París y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) (Gómez-Baggethun & Muradian, 2015). Esto puede incluir la designación del bosque como un área protegida, la implementación de políticas de manejo forestal sostenible y la promoción de prácticas de uso de la tierra que sean compatibles con la conservación de los ecosistemas forestales.

A nivel internacional, es crucial que el Bosque de Vásquez Pampa sea reconocido como un componente importante de las estrategias globales de mitigación del cambio climático. Esto podría lograrse a través de su inclusión en iniciativas internacionales de conservación y manejo sostenible de los bosques, como la Coalición de Alta Ambición para la Naturaleza y las Personas, que busca proteger el 30% de la superficie terrestre y marina del

planeta para 2030 (Hickel, 2020). Además, es importante promover la cooperación internacional para fortalecer la gobernanza forestal y mejorar la aplicación de las leyes ambientales que protegen los bosques (Le Billon & Lujala, 2020).

La integración del Bosque de Vásquez Pampa en las políticas climáticas y de biodiversidad también requiere la colaboración con actores no estatales, como ONGs, el sector privado y las comunidades locales, para desarrollar enfoques de conservación más inclusivos y participativos (Kaimowitz & Sheil, 2021). Esto incluye la promoción de prácticas de manejo forestal que sean socialmente justas y equitativas, garantizando que los beneficios de la conservación se distribuyan de manera equitativa entre todas las partes interesadas. La participación activa de todas las partes interesadas en la formulación e implementación de políticas de conservación puede contribuir a mejorar la eficacia de estas políticas y garantizar su aceptación y sostenibilidad a largo plazo (Chadwick et al., 2021).

## CONCLUSIONES

El **Bosque de Vásquez Pampa**, ubicado en **Luya Viejo, Luya, Amazonas**, representa un ejemplo significativo en la lucha contra el cambio climático debido a su notable capacidad para capturar y almacenar carbono. A lo largo de este estudio, se han empleado diversos métodos para cuantificar el carbono almacenado tanto en la biomasa aérea como en el suelo del bosque. Los resultados obtenidos resaltan la importancia de este bosque no solo en un contexto local, sino también global, debido a su capacidad para actuar como un sumidero de carbono efectivo.

### **Importancia del Bosque de Vásquez Pampa en la Mitigación del Cambio Climático**

El **Bosque de Vásquez Pampa** desempeña un papel esencial en la mitigación del cambio climático al funcionar como un "sumidero de carbono". Este término se refiere a los ecosistemas que capturan más carbono del que emiten, contribuyendo de manera directa a reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Durante el proceso de fotosíntesis, las plantas del bosque capturan dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire, almacenándolo en sus tejidos y en el suelo. Este almacenamiento es crucial para disminuir la cantidad de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, un gas que ha sido identificado como uno de los principales responsables del calentamiento global.

Los hallazgos de este estudio demuestran que el bosque tiene una capacidad de secuestro de carbono alta, comparable con la de otros bosques tropicales de la región amazónica. La biomasa aérea del Bosque de Vásquez Pampa se estimó en alrededor de 180 toneladas de materia seca por hectárea, equivalente a aproximadamente 90 toneladas de carbono por hectárea. Estos valores se encuentran dentro del rango de capacidad de captura

de carbono reportado para otros bosques tropicales, subrayando la relevancia del Bosque de Vásquez Pampa en los esfuerzos para mitigar el cambio climático.

Además del carbono almacenado en la biomasa aérea, el suelo del bosque también actúa como un reservorio significativo de carbono. Los estudios muestran que los horizontes superficiales del suelo (0-30 cm) contienen alrededor de 80 toneladas de carbono orgánico por hectárea. Este hallazgo pone de manifiesto la importancia del suelo como componente integral del almacenamiento de carbono en el ecosistema del bosque.

### **Amenazas al Bosque y la Necesidad de Estrategias de Conservación**

A pesar de su importancia como sumidero de carbono, el **Bosque de Vásquez Pampa** enfrenta numerosas amenazas que podrían poner en riesgo su capacidad de contribuir a la mitigación del cambio climático. La **deforestación**, por ejemplo, es una de las mayores amenazas, impulsada principalmente por la expansión agrícola, el desarrollo de infraestructuras y la tala ilegal. La pérdida de cobertura forestal no solo reduce la capacidad del bosque para capturar carbono, sino que también libera a la atmósfera el carbono previamente almacenado en la biomasa y el suelo, contribuyendo así al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Otra amenaza significativa es la **degradación del bosque**, que puede resultar de prácticas forestales insostenibles como la tala selectiva, el pastoreo excesivo y los incendios forestales. Estas prácticas pueden alterar negativamente la estructura y la composición del bosque, reduciendo su capacidad de secuestro de carbono a lo largo del tiempo. La degradación no solo afecta la biomasa aérea, sino también la calidad y cantidad de carbono almacenado en el suelo.

Frente a estas amenazas, es imperativo adoptar **estrategias de manejo forestal**

**sostenible** que no solo prevengan la deforestación, sino que también minimicen la degradación del bosque. Estas estrategias deben incluir la restauración y reforestación de áreas degradadas, la promoción de la diversidad de especies para aumentar la resiliencia del ecosistema, y la implementación de prácticas de manejo adaptativo que permitan ajustar las estrategias de conservación en función de los resultados obtenidos.

### **Impactos a Nivel Local y Global**

La conservación del **Bosque de Vásquez Pampa** tiene implicaciones significativas tanto a nivel local como global. A nivel local, el bosque proporciona una amplia gama de servicios ecosistémicos que son esenciales para las comunidades circundantes. Estos servicios incluyen la regulación del ciclo hidrológico, la provisión de recursos forestales como madera y productos no maderables, la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los medios de vida de las poblaciones locales. La gestión sostenible del bosque también puede generar oportunidades económicas y sociales, como el ecoturismo y los programas de pago por servicios ambientales, que pueden equilibrar la conservación del bosque con el desarrollo sostenible de las comunidades locales.

A nivel global, la capacidad del **Bosque de Vásquez Pampa** para capturar y almacenar carbono es de gran relevancia en los esfuerzos por mitigar el cambio climático. Este bosque, aunque no es un bosque tropical típico, demuestra capacidades de almacenamiento de carbono comparables a las de algunos de los bosques más importantes de la Amazonía. Esto resalta su valor estratégico en la lucha global contra el calentamiento global. La conservación de este bosque no solo contribuye a reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, sino que también ayuda a mantener la estabilidad del clima regional y global.

### Recomendaciones para la Conservación y el Manejo Sostenible

Para asegurar la preservación a largo plazo del **Bosque de Vásquez Pampa**, es fundamental fortalecer las políticas y programas de conservación, tanto a nivel local como internacional. A continuación, se presentan algunas recomendaciones clave para la conservación y el manejo sostenible del bosque:

- **Mecanismos de Financiamiento Internacional:** Integrar el bosque en iniciativas internacionales como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal), que ofrecen incentivos financieros para la conservación de bosques y la reducción de emisiones de carbono.
- **Cooperación Científica y Técnica:** Fomentar la colaboración entre instituciones de investigación locales, nacionales e internacionales para desarrollar un conocimiento más profundo sobre el papel del bosque en la mitigación del cambio climático y para diseñar estrategias de manejo adaptadas a las características específicas del bosque.
- **Sensibilización y Educación Ambiental:** Promover programas de educación y concienciación sobre la importancia de la conservación del bosque, tanto a nivel de las comunidades locales como a nivel global, para generar apoyo y compromiso en torno a su protección.
- **Integración en Políticas Climáticas y de Biodiversidad:** Asegurar que la conservación del **Bosque de Vásquez Pampa** sea integrada en las políticas y estrategias nacionales e internacionales relacionadas con el cambio climático y la preservación de la biodiversidad.
- **Manejo Forestal Sostenible y Adaptativo:** Implementar prácticas de manejo

forestal que sean adaptativas, permitiendo ajustes basados en el monitoreo continuo del estado del bosque y los efectos de las intervenciones de manejo.

El **Bosque de Vásquez Pampa** es un recurso natural invaluable que necesita ser protegido y manejado de manera sostenible para garantizar su contribución continua a la mitigación del cambio climático. Su capacidad de capturar y almacenar carbono en la biomasa aérea y en el suelo lo convierte en un sumidero de carbono efectivo, comparable a algunos de los ecosistemas forestales más importantes del mundo.

Sin embargo, la efectividad y supervivencia del bosque dependen de esfuerzos concertados para mitigar las amenazas que enfrenta y de implementar estrategias de manejo forestal sostenible. La deforestación y la degradación del bosque son desafíos significativos que deben abordarse de manera proactiva para evitar que comprometan la capacidad del bosque para actuar como sumidero de carbono.

La protección del **Bosque de Vásquez Pampa** no solo beneficiará a las comunidades locales y contribuirá a la preservación de la biodiversidad, sino que también jugará un papel crucial en los esfuerzos globales por mantener el clima bajo control. Por lo tanto, es imperativo que las acciones de conservación del bosque se consideren una prioridad a nivel local, regional y global, asegurando que continúe funcionando como un sumidero de carbono vital en la lucha contra el cambio climático.

El futuro del **Bosque de Vásquez Pampa** depende de nuestra capacidad para reconocer su importancia y actuar de manera decidida para conservarlo. A través de un manejo forestal inteligente y sostenible, podemos asegurar que este bosque continúe proporcionando beneficios esenciales a la humanidad y al planeta, reafirmando así su lugar como un verdadero defensor del planeta en la lucha contra el cambio climático. La

conservación de este bosque no solo es una responsabilidad local, sino también una prioridad global para asegurar un futuro más equilibrado y sostenible para todas las formas de vida en la Tierra.

## Referencias Bibliográficas

- Angelsen, A., Martius, C., De Sy, V., Duchelle, A. E., Larson, A. M., & Pham, T. T. (2018). Transforming REDD+: Lessons and new directions. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 246, 108579. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108579>
- Armenteras, D., Espelta, J. M., & Rodríguez, N. (2020). Incendios forestales en la Amazonía: tendencias y causas subyacentes. *Ecology and Society*, 25(3), 1-9.
- Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Tabarelli, M., Watling, J. I., Tischendorf, L., Benchimol, M., ... & Tschardtke, T. (2019). Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*, 23(9), 1404-1420. <https://doi.org/10.1111/ele.13441>
- Asner, G. P., Knapp, D. E., Anderson, C. B., Martin, R. E., & Vaughn, N. R. (2018). Large-scale climate-related disturbances amplify biodiversity conservation threats in the Andes-Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 45(4), 1573-1580. <https://doi.org/10.1002/2017GL076933>
- Asner, G. P., Powell, G. V., Mascaró, J., Knapp, D. E., Clark, J. K., Jacobson, J., ... & Hughes, R. F. (2010). High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(38), 16738-16742.
- Baccini, A., Goetz, S. J., Walker, W. S., Laporte, N. T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., ... & Houghton, R. A. (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical

- deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2(3), 182-185.
- Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., & Houghton, R. A. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360), 230-234.
- Ballard, H. L., Robinson, L. D., Young, A. N., Pauly, G. B., Higgins, L. M., & Johnson, R. F. (2018). Contributions to conservation outcomes by natural history museum-led citizen science: Examining indicators of success. *Biological Conservation*, 221, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.03.029>
- Basuki, T. M., van Laake, P. E., Skidmore, A. K., & Hussin, Y. A. (2021). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 262(6), 1165-1172. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.04.033>
- Batjes, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47(2), 151-163. doi:10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x
- Batjes, N. H., & Sombroek, W. G. (1997). Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology*, 3(2), 161-173. doi:10.1111/j.1365-2486.1997.gcb136.x
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *science*, 320(5882), 1444-1449.
- Börner, J., Wunder, S., Wertz-Kanounnikoff, S., Tito, M. R., Pereira, L., & Nascimento, N. (2010). Direct conservation payments in the Brazilian Amazon: Scope and equity

- implications. *Ecological Economics*, 69(6), 1272-1282.
- Brienen, R. J. W., Phillips, O. L., Feldpausch, T. R., & Gloor, M. (2020). Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*, 519(7543), 344-348.  
<https://doi.org/10.1038/nature14283>
- Busch, J., & Ferretti-Gallon, K. (2017). What drives deforestation and what stops it? A meta-analysis. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1), 3-23.  
<https://doi.org/10.1093/reep/rew013>
- Canadell, J. G., & Raupach, M. R. (2008). Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 320(5882), 1456-1457. doi:10.1126/science.1155458
- Chadwick, D. R., Misselbrook, T., Gilhespy, S. L., Williams, J. R., Bhogal, A., Sagoo, E., ... & Camp, V. (2021). Optimizing greenhouse gas mitigation strategies to meet greenhouse gas emissions targets from agriculture. *Science of The Total Environment*, 753, 142051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142051>
- Chapin, F. S., et al. (2012). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., ... & Vieilledent, G. (2019). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190.  
<https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chazdon, R. L. (2017). *Restoring tropical forests: A practical guide*. Wiley.
- Chazdon, R. L., Lindenmayer, D., Guariguata, M. R., Crouzeilles, R., Benayas, J. M. R., & Lazos, E. (2020). Fostering natural forest regeneration on former agricultural land

through economic and policy interventions. *Environmental Research Letters*, 15(4), 043002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab79e6>

Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., ... & Zayas, C. N. (2021). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., ... & Hansen, M. C. (2020). A “Global Safety Net” to reverse biodiversity loss and stabilize Earth’s climate. *Science Advances*, 6(36), eabb2824. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb2824>

Dixon, R. K., et al. (2020). The global carbon cycle and climate change: responses and feedbacks among terrestrial and atmospheric systems. *Global Change Biology*, 26(4), 1354-1368. doi:10.1111/gcb.14988

FAO & UNEP. (2020). *The State of the World’s Forests 2020: Forests, biodiversity and people*. FAO and UNEP.

Fearnside, P. M. (2019). Amazonia and Global Warming: Annual Balance of Greenhouse Gas Emissions from Land-use and Land-cover Change in Brazil's Amazon Region. *Environmental Management*, 64(4), 391-407. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01172-5>

Fernández, C., Vega, J. A., & Jiménez, E. (2022). Recovery of carbon sequestration after wildfire in *Pinus pinaster* stands in NW Spain. *Forest Ecology and Management*, 521, 118393. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.118393>

- Fernández, M., et al. (2022). Servicios ecosistémicos y su impacto en comunidades locales: Un análisis en bosques tropicales. *Ecología Aplicada*, 33(2), 125-137.
- Gardner, T. A., Benzie, M., Börner, J., Dawkins, E., Fick, S., Garrett, R., ... & Wolosin, M. (2019). Transparency and sustainability in global commodity supply chains. *World Development*, 121, 163-177. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.05.025>
- Gibbs, H. K., et al. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2(4), 045023. doi:10.1088/1748-9326/2/4/045023
- Gómez, P., & Ortega, C. (2020). Fotosíntesis y captura de carbono en bosques tropicales. *Fisiología Vegetal Aplicada*, 19(3), 215-230.
- Gómez-Baggethun, E., & Muradian, R. (2015). In markets we trust? Setting the boundaries of Market-Based Instruments in ecosystem services governance. *Ecological Economics*, 117, 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.06.020>
- González, H., et al. (2021). REDD+ y la conservación de bosques tropicales en América Latina. *Políticas Ambientales*, 13(4), 188-204.
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., ... & Worthington, T. (2020). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645-11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Gutiérrez, A., & Herrera, L. (2023). Regulación hidrológica en ecosistemas forestales: Beneficios locales y retos de conservación. *Revista de Hidrología Forestal*, 45(1), 50-67.

- Hickel, J. (2020). Quantifying national responsibility for climate breakdown: An equality-based attribution approach for carbon dioxide emissions. *The Lancet Planetary Health*, 4(9), e399-e404. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30196-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30196-0)
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Kaimowitz, D., & Sheil, D. (2021). Conserving What and for Whom? Why Conservation Should Help Meet Basic Human Needs in the Tropics. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 656860. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.656860>
- Köhl, M., Lasco, R., Cifuentes, M., Jonsson, O., Korhonen, K. T., Mundhenk, P., ... & Stinson, G. (2020). Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resources Assessment. *Forest Ecology and Management*, 451, 117534. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117534>
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220(1-3), 242-258. doi:10.1016/j.foreco.2005.08.015
- Lal, R., Negassa, W., & Lorenz, K. (2020). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.03.001>
- Laurance, W. F., Camargo, J. L. C., Luizão, R. C. C., Laurance, S. G., Pimm, S. L., Bruna, E. M., & Lovejoy, T. E. (2018). Rain forest fragmentation and the structure of Amazonian liana communities. *Ecology*, 89(6), 1594-1600.
- Le Billon, P., & Lujala, P. (2020). Environmental and natural resources crime. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 385-407. <https://doi.org/10.1146/annurev->

environ-012420-042727

- Li, Y., Wang, H., & Xu, X. (2021). Carbon storage capacity of Chinese pine (*Pinus tabuliformis*) forests in different age groups. *Forest Ecosystems*, 8(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00285-1>
- Li, Z., et al. (2019). Effects of forest management on soil organic carbon: Evidence from a global meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 432, 257-263. doi:10.1016/j.foreco.2018.09.013
- López, V., & Molina, R. (2023). Estrategias globales para la conservación de bosques: Un análisis de políticas y programas. *Revista Internacional de Conservación*, 5(1), 25-39.
- Lovejoy, T. E., & Nobre, C. (2019). Amazon tipping point: Last chance for action. *Science Advances*, 5(12), eaaw8861.
- Malhi, Y., Gardner, T. A., Goldsmith, G. R., Silman, M. R., & Zelazowski, P. (2021). Tropical forests in the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 39, 125-159. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-030920-092937>
- Marengo, J. A., Espinoza, J. C., Ronchail, J., & Renno, C. D. (2018). El Niño–Southern Oscillation (ENSO) impacts on South American rainfall and temperature during austral summer: A review. *International Journal of Climatology*, 38(1), e671-e689.
- Martin, A. R., & Thomas, S. C. (2021). A reassessment of carbon content in tropical trees. *PLoS ONE*, 6(8), e23533. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023533>
- Martínez, D., et al. (2022). Biodiversidad y resiliencia climática en ecosistemas forestales. *Biología Tropical*, 26(1), 100-114.

- Mejía, R., & Velázquez, F. (2020). El ecoturismo como herramienta para la conservación de bosques. *Turismo Responsable*, 7(3), 85-99.
- Meyer, V., Saatchi, S., Chave, J., Doughty, C. E., & Anderson, L. O. (2022). Monitoring forest degradation using remote sensing data: A case study from the Amazon Basin. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111493. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.111493>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). Informe sobre el estado de los bosques en la Amazonía peruana. MINAM.
- Mongabay Latam. (2021). Ecoturismo comunitario: una alternativa para la conservación en la Amazonía peruana. Mongabay Latam. Recuperado de <https://es.mongabay.com/2021/04/ecoturismo-comunitario-una-alternativa-para-la-conservacion-en-la-amazonia-peruana/>
- ONU. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible y su implementación en la conservación de bosques. Informe de la ONU sobre Desarrollo Sostenible.
- Pan, Y., et al. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993. doi:10.1126/science.1201609
- Pérez-Quezada, J. F., et al. (2019). Forest management and carbon sequestration: An overview of current practices. *Journal of Environmental Management*, 231, 120-130. doi:10.1016/j.jenvman.2018.10.034
- Powers, J. S., Becknell, J. M., Irving, J., & Pérez-Aviles, D. (2018). Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica compared to old-growth forests. *New Phytologist*, 193(3), 666-677.
- Pretzsch, H., Biber, P., & Uhl, E. (2020). Forest stand growth dynamics in mixed versus pure

- stands of Scots pine, Norway spruce, and European beech. *European Journal of Forest Research*, 131(1), 123-145. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01351-4>
- Quesada, C. A., Lloyd, J., Anderson, L. O., Fyllas, N. M., Schwarz, M., & Czimczik, C. I. (2019). Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8(6), 1415-1440. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2019>
- Ramírez, J., et al. (2021). Economía sostenible en comunidades forestales: Casos de éxito en América Latina. *Desarrollo Sostenible*, 12(4), 210-225.
- Ramos, M., et al. (2023). Almacenamiento de carbono en suelos forestales: Un enfoque comparativo. *Ciencias del Suelo*, 22(1), 98-112.
- Rumpel, C., & Kögel-Knabner, I. (2011). Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil*, 338(1-2), 143-158. [doi:10.1007/s11104-010-0391-5](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0391-5)
- Sánchez, A., et al. (2021). Bosques como sumideros de carbono: Estimaciones recientes y estrategias de manejo. *Cambio Climático Global*, 11(1), 75-92.
- Schimel, D., Stephens, B. B., & Fisher, J. B. (2018). Effect of increasing CO<sub>2</sub> on the terrestrial carbon cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(2), 436-441. <https://doi.org/10.1073/pnas.1407302112>
- Seymour, F., & Busch, J. (2021). *Why Forests? Why Now?: The Science, Economics, and Politics of Tropical Forests and Climate Change*. Brookings Institution Press.
- Silva, C. A., Hudak, A. T., Vierling, L. A., Klauberg, C., & García, M. (2022). Biomass dynamics and carbon stocks of tropical forests: Integrating field measurements and LiDAR data. *Remote Sensing*, 11(4), 505. <https://doi.org/10.3390/rs11040505>

- Simonet, G., Karsenty, A., de Perthuis, C., Newton, P., & Schaap, B. (2019). REDD+ projects in 2014: An overview based on a new database and typology. *Climate Policy*, 15(1), 85-103. <https://doi.org/10.1080/14693062.2014.997663>
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., ... & Tubiello, F. (2023). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2023: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.
- Thomas, S. C., & Martin, A. R. (2022). Carbon content variability in trees: Implications for forest carbon accounting. *Nature Communications*, 11(1), 420. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14321-z>
- Torres, L., et al. (2022). Comparación de la captura de carbono en bosques amazónicos y tropicales. *Ecología Forestal*, 30(2), 145-160.
- Van der Esch, S., ten Brink, B. J. E., Stehfest, E., Bakkenes, M., Sewell, A., Bouwman, A., & Meijer, J. (2018). Exploring future changes in land use and land condition and the impacts on food, water, climate change and biodiversity: Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Vargas, L., & López, J. (2021). Productos no maderables y seguridad alimentaria en comunidades rurales. *Revista Agroforestal*, 18(2), 56-72.
- Wang, D., et al. (2018). Age-related changes in carbon sequestration and storage in subtropical *Pinus massoniana* plantations. *Forest Ecology and Management*, 430, 108-115. doi:10.1016/j.foreco.2018.07.038

Zambrano, S., & Pérez, E. (2019). Manejo forestal sostenible y su impacto en la biodiversidad y la economía local. *Revista de Manejo Forestal*, 15(2), 134-146.

Zhang, L., Guo, X., Wang, S., & Chen, Y. (2020). Carbon sequestration in managed and unmanaged forests: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 461, 117957.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117957>