

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**“DETERMINACIÓN DEL CARBONO TOTAL
ALMACENADO EN EL BOSQUE BASIMONTANO DE
YUNGA DE LA RESERVA COMUNAL TUNTANAIN -
AMAZONAS”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

NALDO AUBER PEÑA MANOSALVA

ASESOR

Ing. M. Sc. VITOLY BECERRA MONTALVO

Ing. M. Cs. JORGE ANTONIO DELGADO SOTO

JAÉN – PERÚ

2024



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Naldo Auber Peña Manosalva
DNI: 75126055
Escuela Profesional/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
2. Asesor:
Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
Dr. Jorge Antonio Delgado Soto
Facultad/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"DETERMINACIÓN DEL CARBONO TOTAL ALMACENADO EN EL BOSQUE BASIMONTANO DE YUNGA DE LA RESERVA COMUNAL TUNTANAIN – AMAZONAS"
6. Fecha de evaluación: 03/06/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 10 %
9. Código Documento: oid: 3117:464436085
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/06/2025

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>	
	
Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo DNI: 27727452	Dr. Jorge Antonio Delgado Soto DNI: 09151563



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **doce** días del mes de **diciembre** del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N N° 525-2024-FCA-UNC, de fecha 16 de octubre 2024, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**DETERMINACIÓN DEL CARBONO TOTAL ALMACENADO EN EL BOSQUE BASIMONTANO DE YUNGA DE LA RESERVA COMUNAL TUNTANAIN - AMAZONAS**", ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don NALDO AUBER PEÑA MANOSALVA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **diecisiete** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo **quince (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **diecisiete** horas y **cincuenta y cinco** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 12 de diciembre de 2024.

Dr. Segundo Primitivo Vaca Marquina
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Leiwer Flores Flores
VOCAL

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
ASESOR

Ing. M. Cs. Jorge Antonio Delgado Soto
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi padre, cuyo amor y sabiduría me han acompañado incluso en su ausencia.

Agradezco profundamente a mi madre y a mis hermanas, quienes han sido un pilar constante de apoyo y aliento a lo largo de mi carrera.

Mi gratitud se extiende a mis amigos, docentes y compañeros de trabajo, cuya presencia y apoyo han sido fundamentales en el desarrollo de esta tesis. Sin cada uno de ustedes, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Dar gracias a Dios desde el fondo de mi corazón, por estar conmigo en todo este camino, por nunca dejarme, por amarme tanto, por protegerme.

A mi familia por su apoyo incondicional para seguir desarrollándome en mi camino como futuro profesional.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a la Jefatura de la Reserva Comunal Tuntanain y a la junta directiva del ECA Tuntanain por las facilidades y apoyo brindado durante la realización de mi proyecto de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN	133
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Antecedentes de la investigación	15
2.2. Bases teóricas	118
2.2.1. Ciclo global del carbono	118
2.2.2. Emisiones antropogénicas de dióxido de carbono	221
2.2.3. Cambio climático	24
2.2.4. Dinámica del carbono en los bosques tropicales	27
2.2.5. Bosque basimontano de yunga	30
2.2.6. Reserva comunal Tuntanain	30
2.3. Definición de términos básicos	31
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	34
3.1. Localización de la investigación	34
3.2. Tipo y diseño de la investigación	36
3.2.1. Matriz de operacionalización de variables	36
3.2.2. Unidad de análisis	38
3.2.3. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección datos	39
3.2.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	44
3.2.5. Aspectos éticos a considerar.	44
3.2.6. Presentación de la información.	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. Resultados	47
4.1.1. Reserva de carbono orgánico en el suelo	47
4.1.2. Reserva de carbono en hojarasca	51
4.1.3. Reserva de carbono en la biomasa de arbustos y herbáceas	54
4.1.4. Reserva de carbono en la biomasa arbórea	55
	vi

4.1.5. Reserva total de carbono en el bosque basimontano de yunga	59
4.2. Discusiones	63
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. Conclusiones	67
5.2. Recomendaciones	67
CAPÍTULO VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	69
CAPÍTULO VII. ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reservas de carbono mundial por componente, según varios autores	20
Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables	37
Tabla 3. Matriz de consistencia	46
Tabla 4. Resultados para densidad aparente, materia orgánica y carbono orgánico del suelo	47
Tabla 5. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el carbono orgánico del suelo	48
Tabla 6. Correlación de Pearson del carbono orgánico del suelo, la densidad aparente y la materia orgánica	49
Tabla 7. Resultados de carbono en hojarasca	52
Tabla 8. Análisis de varianza para el contenido de carbono en hojarasca	52
Tabla 9. Resultados de carbono en biomasa arbustiva y herbácea	54
Tabla 10. Carbono almacenado en biomasa maderable de latizales bajos ($> 1\text{ cm}$ y $< 5\text{ cm}$ de DAP)	56
Tabla 11. Carbono almacenado en biomasa maderable de latizales altos ($> 5\text{ cm}$ y $< 10\text{ cm}$ de DAP)	57
Tabla 12. Carbono almacenado en biomasa maderable de fustales ($\geq 10\text{ cm}$ de DAP)	58
Tabla 13. Carbono almacenado en biomasa maderable de árboles maduros ($\geq 30\text{ cm}$ de DAP)	59
Tabla 14. Reservas totales de carbono por componente y sitio estudiado	60
Tabla 15. Reserva total de carbono en el bosque basimontano de yunga	61
Tabla 16. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para el carbono almacenado en la biomasa de árboles maduros	62
Tabla 17. Correlación de Spearman entre el carbono arbóreo, el DAP y la altura comercial en árboles maduros	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática del ciclo global del carbono antropogénico, periodo 2012-2021	119
Figura 2. Concentraciones, tasas de crecimiento y proyecciones de dióxido de carbono atmosférico	23
Figura 3. Emisiones netas mundiales de gases de efecto invernadero durante 1990-2021	25
Figura 4. Flujos netos de carbono en bosques tropicales estimados por múltiples métodos	29
Figura 5. Localización del estudio y ubicación de las parcelas de investigación	35
Figura 6. Representación esquemática de la parcela de muestreo	41
Figura 7. Reservas de carbono orgánico del suelo por sitio estudiado	48
Figura 8. Dispersión entre el carbono orgánico del suelo y la densidad aparente	49
Figura 9. Dispersión entre el carbono orgánico del suelo y la materia orgánica	50
Figura 10. Reservas de carbono en hojarasca por sitio estudiado	53
Figura 11. Reservas de carbono en biomasa arbustiva y herbácea por sitio estudiado	55
Figura 12. Reservas totales de carbono por sitio estudiado	60
Figura 13. Reserva de carbono por sumidero en el bosque basimontano de yunga	61
Figura 14. Dispersión entre el carbono de la biomasa de árboles maduros y el DAP	63

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ANP	: Áreas Naturales Protegidas
C	: carbono
CO ₂	: dióxido de carbono
COS	: carbono orgánico del suelo
DA	: densidad aparente
DAP	: diámetro a la altura del pecho (medido a 1.3 m del suelo)
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEI	: gases de efecto invernadero
Gt	: Gigatonelada (1 Gt = 10 ⁹ g)
IPCC	: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MO	: materia orgánica
Mt	: Megatonelada (1 Mt = 10 ⁶ g)
Pg	: Petagramo (1 Pg = 10 ¹⁵ g)
ppm	: partes por millón
RCTUN	: Reserva Comunal Tuntanain
t ha ⁻¹	: tonelada por hectárea

RESUMEN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) contribuyen en gran escala al sumidero neto mundial de GEI (gases de efecto invernadero); por lo tanto, su conservación representa una solución climática natural esencial y su eficacia es fundamental para conseguir los objetivos de desarrollo sostenible. El objetivo general de este estudio fue determinar el carbono (C) total almacenado en el bosque basimontano de Yunga de la Reserva Comunal Tuntanain (RCTUN)– Amazonas. La investigación se desarrolló en 10 parcelas de investigación de 20 m x 100 m y se cuantificó el almacenamiento de C en suelo, hojarasca, biomasa arbustiva y herbácea (sotobosque), y la biomasa arbórea. La reserva total de C fue cuantificada en 1 405.55 t ha⁻¹, repartidos en los siguientes reservorios: 6,85 % (96,30 t ha⁻¹) en el suelo, 0,36 % (5,04 t ha⁻¹) en hojarasca, 0,08 % (1,12 t ha⁻¹) en la biomasa de sotobosque y 92,71 % (1 303,09 t ha⁻¹) en la biomasa arbórea. Los resultados indican que el bosque Basimontano de Yunga de la RCTUN desempeña un rol importante en la captura y almacenamiento de C atmosférico, contribuyendo a la mitigación de los efectos del cambio climático, al mismo tiempo, garantiza la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano.

Palabras clave: área natural protegida, biomasa arbórea, reserva de carbono, cambio climático.

ABSTRACT

Protected Areas (PA) contribute on a large scale to the global net sink of GHG (greenhouse gases); therefore, their conservation represents an essential natural climate solution and their effectiveness is fundamental to achieving sustainable development goals. The overall objective of this study was to determine the total carbon (C) stored in the Basimontane Yunga forest of the Tuntanain Communal Reserve (RCTUN) - Amazon. The research was carried out in 10 research plots of 20 m x 100 m and C storage in soil, leaf litter, shrub and herbaceous biomass (understory), and tree biomass were quantified. The total C stock was quantified at 1 405,55 t ha⁻¹, distributed in the following pools: 6,85 % (96,30 t ha⁻¹) in soil, 0,36 % (5,04 t ha⁻¹) in litter, 0,08 % (1,12 t ha⁻¹) in understory biomass, and 92,71 % (1 303,09 t ha⁻¹) in tree biomass. The results indicate that the Basimontane Yunga forest of the RCTUN plays an important role in the capture and storage of atmospheric C, contributing to the mitigation of the effects of climate change, while at the same time ensuring the conservation of biodiversity and human well-being.

Keywords: protected area, tree biomass, carbon stock, climate change.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El carbono (C) es componente indispensable en el sistema terrestre y fundamental para la existencia de vida en el planeta (Bruhwiler et al, 2018; Yu et al., 2023). La atmósfera, los océanos, cuerpos de agua dulce, suelos y la biomasa terrestre almacenan cantidades significativas de C. El C atmosférico en forma de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) permiten regular el clima de la Tierra, manteniéndola en un rango habitable para los seres vivos (Bruhwiler et al., 2018). El CO₂ es insumo esencial en varios procesos para la industria química y petrolera (combustibles, producción de fertilizantes); la industria alimentaria (refrigeración, procesamiento de alimentos), la industria de pulpa y papel, los productos farmacéuticos (síntesis química) y los cultivos energéticos (Peres et al., 2022a; Zheng et al., 2017).

Sin embargo, la rápida acumulación de CO₂ en la atmósfera se ha convertido en uno de los principales problemas de atención mundial (Yoro y Daramola, 2020). Se han evidenciado aumentos significativos en la concentración de CO₂ atmosférico a un ritmo de 10 veces más rápido que en cualquier otro momento durante los últimos 800 000 años (Canadell et al., 2021). Las actividades humanas son las principales emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) (Friedlingstein et al., 2022; IPCC, 2023; Jalota et al., 2018; United Nations Environment Programme, 2022; Yoro y Daramola, 2020); siendo el CO₂, el GEI más peligroso por unidad de concentración emitido por el ser humano (Peres et al., 2022b).

Las concentraciones medias globales de CO₂ atmosférico fueron de 278 ppm en 1750 (Gulev et al., 2021), 410 ppm en 2019 (IPCC, 2023b) y 414,71 ppm en 2021 (Friedlingstein et al., 2022). La masa de C en la atmósfera aumentó un 48 %, pasando de 590 Gt en 1750 a 879 Gt en 2021 (Friedlingstein et al., 2022). Las emisiones mundiales de GEI seguirán en aumento, con contribuciones desiguales históricas, derivadas del uso insostenible de la energía (petróleo, gas natural y carbón), el uso y cambio de uso de la tierra (deforestación), los estilos de vida y los niveles de consumo y producción entre regiones, países, dentro de estos, hasta entre individuos (IPCC, 2023b).

La excesiva concentración principalmente de CO₂ y CH₄ en la atmósfera es precursora del calentamiento terrestre. Según los reportes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la temperatura media global del planeta se incrementó

aproximadamente 1,10 °C durante el periodo 2011-2020 con respecto a la época 1850-1900 (IPCC, 2023b). En la actualidad, se han observado cambios significativos en los patrones de temperatura y precipitación en muchas partes del mundo, muy por encima de las variaciones en el pasado (Hawkins et al., 2020). También, deshielo de glaciares y permafrost, impacto sobre los océanos (aumento de temperatura y nivel del mar, acidificación) y ecosistemas marinos y boscosos, productividad económica (agricultura, energía, transporte, construcción, turismo), riesgo para la seguridad alimentaria y peligro de la salud humana (Loucks, 2021).

Se estima que el cambio climático y sus impactos se intensifiquen en los próximos años (Miralles et al., 2019; Pendergrass et al., 2020). Por lo tanto, reducir los niveles de CO₂ atmosférico será imprescindible para la vida humana, la seguridad medioambiental global y el desarrollo sostenible (Peres et al., 2022a). Numerosos estudios han informado que los ecosistemas boscosos y la deforestación evitada representan una potencial estrategia de mitigación para alcanzar los objetivos de estabilización climática (Ke et al., 2023; Martinho y Ferreira, 2021). Los bosques abarcan el 31 % de la superficie terrestre mundial; es decir, unos 4060 millones de hectáreas y albergan una gran fuente de biodiversidad. Representan un constante recurso natural de provisión de bienes y servicios ecosistémicos. En 2020, los bosques almacenaron 662 Gt de C (163 t ha⁻¹), repartidos entre la biomasa viva (45 %), materia orgánica del suelo (45 %), necromasa y hojarasca (10 %) (FAO, 2021; 2022).

En este contexto, los bosques basimontanos de yunga encontrados en la Reserva Comunal Tuntanain (RCTUN) representan una potencial reserva de C. Por lo tanto, los estudios de captura y almacenamiento en estos ecosistemas resultan de gran importancia para la ciencia, mediante el aporte de nuevos conocimientos a fin de mejorar la comprensión de diversos aspectos ecológicos y ambientales como, el rol que desempeñan como agentes de mitigación al cambio climático y su aporte a la conservación de la biodiversidad. El presente trabajo de investigación se planteó como objetivo general: Determinar el carbono total almacenado en el bosque Basimontano de Yunga de la RCTUN – Amazonas. Teniendo como objetivos específicos:

Cuantificar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS) de la RCTUN – Amazonas; cuantificar el almacenamiento de C hojarasca de la RCTUN – Amazonas; cuantificar el almacenamiento de C en la biomasa de arbustos y herbáceas de la RCTUN – Amazonas; y cuantificar el almacenamiento de C en la biomasa arbórea de la RCTUN - Amazonas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Durante las últimas tres décadas, las investigaciones sobre cambio climático y las reservas ecológicas de C se han multiplicado (Hu et al., 2022). Se ha resaltado, la influencia de los bosques en la lucha contra el cambio climático (Murdiyarso et al., 2015), mediante la captura de C (Brockenhoff et al., 2017; Khaine y Woo, 2015). Estableciéndose que, el secuestro ecológico del C basado en la naturaleza de los bosques es la manera más rentable existente para reducir el CO₂ atmosférico (Vass, 2017). Las potencialidades de captura y almacenamiento de los bosques son necesarios para cumplir con los objetivos estratégicos de la neutralidad del C (Broadstock et al., 2021).

De los 4 060 millones de hectáreas de bosque existente en el mundo, aproximadamente el 5,6 % (726 millones de hectáreas) tiene el estatus de área legalmente protegida y más del 30 % de ellas se encuentran en América del Sur, principalmente en Brasil, Perú y Venezuela (FAO, 2021). Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) contribuyen con la conservación y protección de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático (Dinerstein et al., 2019; Jung et al., 2021; Liu et al., 2017; Shi et al., 2020; Soto-Navarro et al., 2020; Zhu et al., 2021). También, evitan la pérdida de la cubierta boscosa en muchas regiones del mundo (Wolf et al., 2021; H. Yang et al., 2021).

Las ANP pueden secuestrar C a un flujo anual de 0,5 Pg, lo que representa aproximadamente el 20 % capturado anualmente por todos los ecosistemas terrestres (Melillo et al., 2016). Por ejemplo, entre 2000 y 2012 las ANP tropicales evitaron las emisiones de C por deforestación en un 29 % (4,88 Pg) (Bebber y Butt, 2017). Se ha estimado que las ANP pueden contribuir en gran escala (~27 %) al sumidero neto mundial de GEI (Harris et al., 2021); además, capturar hasta el doble de C que aquellos bosques no protegidos de las acciones humanas y los sistemas de monocultivo (Baccini et al., 2017; Huang et al., 2018). Por lo tanto, la conservación de las ANP representan una solución climática natural esencial (Griscom et al., 2017) y su eficacia es fundamental para conseguir los objetivos de desarrollo sostenible propuesto por la Organización de Naciones Unidas (ONU) (Y. Lu et al., 2015).

Duncanson et al. (2023) investigaron espacialmente las existencias totales de C sobre el suelo en ANP a nivel mundial. Emplearon aproximadamente 412 millones de muestras LiDAR (siglas en inglés de Light Detection and Ranging, Detección y Medición con Luz) de la misión Investigación Dinámica de Ecosistemas Globales (GEDI, por sus siglas en inglés) de la NASA. GEDI es el primer sistema LiDAR satelital diseñado para producir miles de millones de muestras de alta resolución de la elevación de la superficie, la altura de la vegetación y la distribución del follaje. Mapea mundialmente la región comprendida entre los 52° latitud N y los -52° latitud S, este sistema cuenta con tres láseres que operan a 1 064 nm y un tamaño de pixel circular de aproximadamente 25 m. Sus resultados indicaron que bajo el dominio GEDI, las reservas de C sobre el suelo en las ANP se estimaron en $61,4 \pm 0,3$ Gt, es decir, el 26 % de toda la superficie boscosa estudiada (235 Gt). También, que los ecosistemas boscosos en ANP almacenan en promedio un 28 % más que sus similares no protegidos. Se concluyó, que los bosques en ANP son importantes para evitar las emisiones de C a la atmósfera a causa de la deforestación, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

Tian et al. (2023) estudiaron las reservas de C de ecosistemas terrestres categorizados como ANP (reservas naturales, parques forestales, etc.) de China, durante el periodo 1980-2020. Se plantearon como objetivos principales los siguientes: esclarecer el estado del secuestro de C en diferentes tipos de ANP terrestres; estimar la cantidad de secuestro de C en diferentes ecosistemas en ANP terrestres y en diferentes zonas climáticas; e identificar qué zonas climáticas y ecosistemas juegan un papel importante en el secuestro de C de las ANP terrestre de China. Utilizaron el modelo para grandes regiones InVEST Versión 3.8.4 para estimar el secuestro de C y también ArcGIS Pro 3.0. La cuantificación de las reservas totales de C se definió como la sumatoria del C en la biomasa sobre el suelo, el C en la biomasa subterránea, el C en la materia orgánica muerta y el C en el suelo. Se encontró, entre otros muchos resultados más, que el secuestro de C en las reservas naturales chinas aumentaron 28,71 Mt en los últimos 40 años, con incrementos de acumulación desde 1,67 a 1,92 t ha⁻¹. Demostraron el desempeño fundamental de las ANP en el secuestro de C y la necesidad de seguir reforzando la planificación y el establecimiento de áreas protegidas en el futuro.

Fragoso-López et al. (2017) estimaron las reservas de C y la tasa de captura de un bosque de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht et Cham, perteneciente a la ANP “Parque Nacional El Chico”, ubicado en la zona occidental de la sierra de Pachuca, en el estado de Hidalgo, México. Mediante un diseño de muestreo aleatorio se definieron la ubicación de 33

sitios de muestreo circulares de 1000 m², en los que se midieron un total de 682 árboles; sobre los cuales se realizaron estudios de zonificación forestal, cálculo de existencias e incrementos volumétricos, reservas de C sobre el suelo y sus respectivas tasas de captura. El uso de imágenes de satélite de alta resolución combinado con el análisis de aspectos físicos de la zona, reportó la zonificación forestal para esta especie en 1 229,65 ha, volumen total de 757 681,69 m³ (616,18 m³ ha⁻¹), la existencia de C sobre el suelo se situó en torno a 105,75 t ha⁻¹, respondiendo a un flujo medio equivalente de 1,01 t ha⁻¹ año⁻¹. Los resultados mostrados indicaron que el aumento de la captura de C depende de la densidad, el aumento del volumen y el grado de perturbación. La aplicación de técnicas silviculturales regidas por una gestión forestal con principios, fundamentos y objetivos correctos contribuye en gran medida a la reducción del C atmosférico.

En el ámbito nacional, el Carnegie Institution for Science y MINAM (2014), publicaron el primer estudio geográfico de alta resolución de los stocks de C sobre el suelo de los ecosistemas boscosos en todo el territorio peruano. Su metodología se basó en integrar la tecnología LiDAR, un inventario en una red de parcelas de campo, imágenes satelitales y técnicas geoestadísticas de escala para crear un mapa de densidad de C sobre el suelo con una resolución de una hectárea. El Perú cuenta con aproximadamente 68 millones de hectáreas de superficie boscosa y sus reservas de C fueron estimados en 6,9223 Gt. En promedio, todos los bosques peruanos presentan reservas de 99,3 t ha⁻¹ de C, con una máxima de 167,6 t ha⁻¹, donde más del 50 % de todos los bosques superan las 100 t ha⁻¹. En otros resultados informados, aproximadamente el 26 % (1,816 Gt) del total de stock de C sobre el suelo en el Perú se encuentran en las ANP. La vegetación de la RCTUN con 94 994 ha almacenó 9,261 Mt de C sobre el suelo, aproximadamente 97,5 ± 16,3 t ha⁻¹. Se concluyó, que la nueva geografía del C en el Perú es fundamental en la toma de decisiones para impulsar los esfuerzos de conservación, manejo y desarrollo de políticas, asociados con los ecosistemas y el uso social de las tierras.

Vicuña et al. (2018) estimaron el sumidero de C de los bosques primarios albergados en ANP de la Amazonía peruana durante el periodo 1990-2017. Se basaron en datos de 70 parcelas de monitoreo permanente instaladas al interior del bosque amazónico en ANP y zonas de amortiguamiento. Sus resultados indicaron, flujos de acumulación promedio a 0,52 t ha⁻¹ año⁻¹ para este periodo, es decir, 9,7 millones de toneladas de C anual en los bosques intactos de las ANP, equivalente, al 86 % de las emisiones por la quema de combustibles fósiles del Perú en el año 2012. Sus aportes revelaron la necesidad de incluir el servicio de remoción de

CO₂ atmosférico por parte de los bosques presentes en las ANP en el inventario nacional de GEI, debido a representar un flujo significativo y ayudaría a reducir la magnitud del error en el balance real del C en el Perú. También, fortalecería la gestión integral de estos bosques por los servicios de almacenamiento y sumidero de C, la conservación de la diversidad biológica.

Avellaneda (2022) en su investigación; determinó la cantidad de captura de C orgánico en una hectárea de Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo - Cajamarca, como medida de mitigación frente al cambio climático. Se cuantificó el C almacenado en la biomasa de tallos leñosos <5 cm de DAP, la biomasa de árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP, la biomasa de árboles > 10 cm de DAP, en la hojarasca y en el suelo (a una profundidad de 30 cm). La investigación se desarrolló de acuerdo con la norma internacional de la Asociación CarbonFix Standard (CFS) Versión 2.0. La cuantificación de la reserva total de C por unidad de superficie del ecosistema estudiado se estipuló en 749,71 t ha⁻¹. En tanto, la distribución entre sus componentes almacenó 6,39 t ha⁻¹ (0,85 %) para los individuos con DAP < 5 cm, 8,87 t ha⁻¹ (1,18 %) para aquellos árboles con DAP ≥ 5 cm y < 10 cm, 671,84 t ha⁻¹ (89,65 %) para los árboles con DAP >10 cm, 7,94 t ha⁻¹ (1,06 %) en hojarasca y 54,37 t ha⁻¹ (7,25 %) en suelo. Los resultados indican que la conservación del bosque de neblina evaluado del Parque Nacional de Cutervo es una opción eficaz para mitigar el cambio climático.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ciclo global del carbono

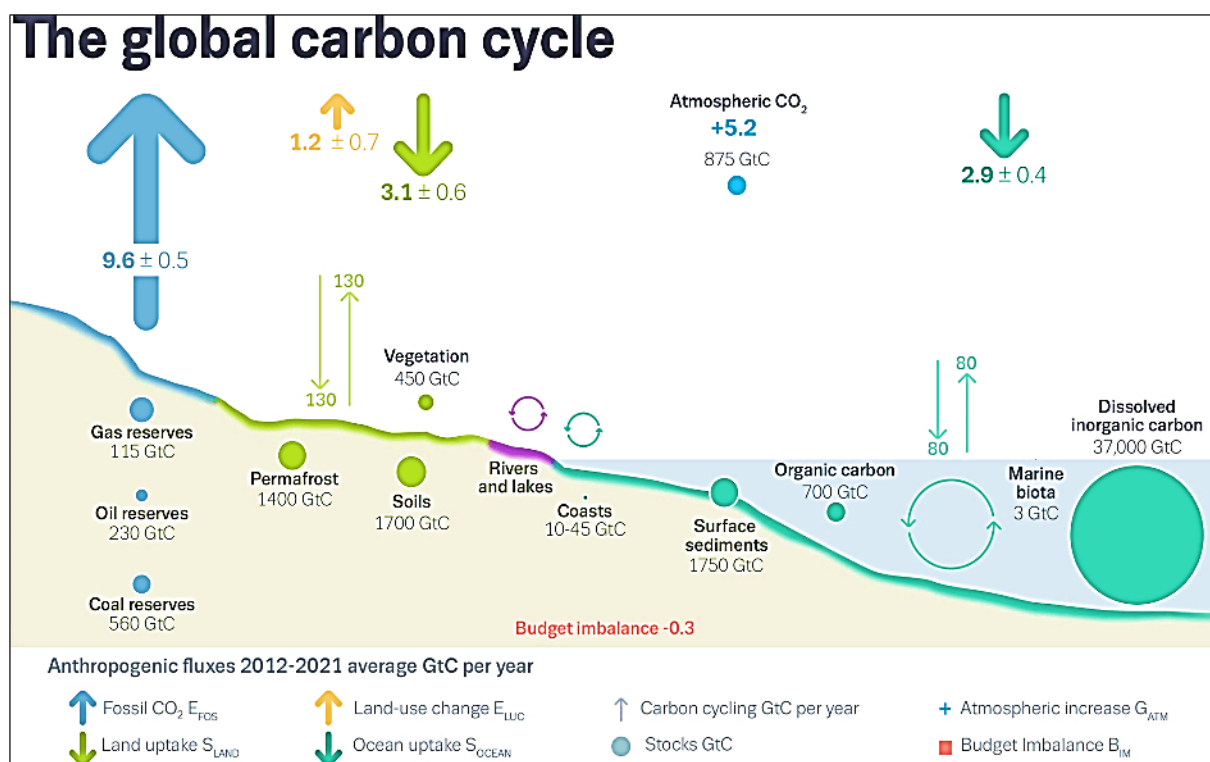
El C es uno de los componentes imprescindibles para la vida en la Tierra. El C es el sexto elemento más abundante del universo, detrás del hidrógeno (H), helio (He), oxígeno (O), neón (Ne) y nitrógeno (N) (Rice et al., 2023). El ciclo global del C (Figura 1) es un conjunto complejo de procesos físicos, químicos y biológicos (Bruhwiler et al., 2018), de tipo natural y antropogénico que cuantifica las reservas (sumidero, stock) y flujos (tasa de intercambio) de C entre sus componentes, como son la atmósfera, los océanos, la biosfera, los suelos y las rocas (Rackley, 2017a). Los depósitos globales de C representan fuentes y sumideros a la vez (Modak et al., 2023). Actualmente, el estudio del ciclo del C se basa en cálculos de las emisiones y reservas de CO₂, demandando de una cuidadosa recopilación y síntesis de mediciones, estimaciones estadísticas y resultados modelos (Friedlingstein et al., 2022).

La combustión de combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo (a causa de la deforestación) durante el periodo 1850-2021 liberaron a la atmosfera una cantidad estimada en

670 ± 65 Gt de C ($2\,455 \pm 240$ Gt de CO_2), de los cuales menos de la mitad permanecen en la atmósfera actualmente (Friedlingstein et al., 2022). En este contexto, se resalta la capacidad fundamental de la tierra y los océanos como sumideros de CO_2 atmosférico, permitiendo su regulación (Ciais et al., 2019; Friedlingstein et al., 2019; 2020; 2021; 2022; Gruber et al., 2019).

Figura 1

Representación esquemática del ciclo global del carbono antropogénico, periodo 2012-2021



Nota. La figura 1 muestra los flujos de C (Gt año^{-1}) en flechas bidireccionales y las reservas (Gt) en esferas coloreadas del ciclo del C, causada por las actividades antropogénicas promediadas globalmente para la década 2012-2021, entre la atmósfera, la tierra y el océano. Fuente: Friedlingstein et al. (2022).

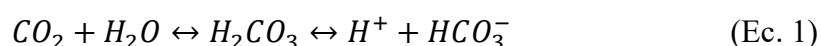
Tabla 1*Reservas de carbono mundial por componente, según varios autores*

Reservorio de C (Gt)	Referencia		
	Rackley (2017)	Modak et al. (2023)	Rice et al. (2023)
Atmósfera	850	750	578 – 766
Océano	39 000	38 000	38 000 – 40 000
Geológico	8 000 – 10 000	5 000	4 000
Carbón	—	4 000	—
Petróleo	—	500	—
Gas natural	—	500	—
Suelo	—	2 300	—
Carbono orgánico	2 000	1 550	2 500
Carbono inorgánico	—	750	—
Biótica	600	560	540 – 610

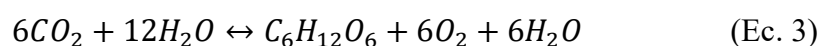
Nota. La tabla 1 muestra las reservas de C entre sus componentes, reportado por algunos autores. El océano es el mayor depósito para el CO₂ atmosférico. Sin embargo, los stocks de C en el suelo son el triple de la reserva atmosférica y el cuádruple de la reserva biótica. Fuente: Modak et al. (2023).

La atmósfera es la envoltura de gases que protege al planeta, se proyecta desde la superficie marina y terrestre hasta el espacio. Está formada por capas que se diferencian en su composición, temperatura y presión. La troposfera es la capa más baja, presenta una altitud de hasta 17 Km en el Ecuador y de 7 Km en los polos, es la capa donde se desarrolla el clima de la Tierra (Reichle, 2023). Los flujos más significativos del ciclo del C se producen entre la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre (vegetación) (Rice et al., 2023). Cada año se intercambian unas 90 Gt de C entre la atmósfera y los océanos, saldo favorable para el océano que aumenta sus reservas a partir de C atmosférico en 2 Gt año⁻¹. Mientras que, la fotosíntesis terrestre disminuye en 123 Gt de C atmosférico al año como parte de una producción primaria bruta (PPB), devuelve a la atmósfera a través de la respiración vegetal (autótrofa) 60 Gt de C por año, el resto de C queda fijado en la biomasa de las plantas como parte de la producción primaria neta (PPN) (Rackley, 2017a).

El océano es el mayor reservorio de C y desempeña un papel fundamental en la determinación de los niveles de CO₂ en la atmósfera (Modak et al., 2023). Aproximadamente, las tres cuartas partes del planeta está cubierta por agua y el 96,5 % de esta agua se encuentra en los océanos (Reichle, 2023). Los principales mecanismos por los que el océano actúa como sumidero de CO₂ atmosférico son: procesos físicos como la circulación y la mezcla; procesos químicos (Ec. 1 y 2) como la formación de carbonatos y el efecto amortiguador; y procesos biológicos como la descomposición de materia orgánica (fitoplancton) y la producción y disolución de conchas marinas (Modak et al., 2023). La fijación superficial de C atmosférico en el océano depende en gran medida del diferencial de presión parcial del CO₂ entre la atmósfera y el océano. En tanto, la absorción de CO₂ en aguas profundas depende de la mezcla y de las corrientes oceánicas (Reichle, 2023).



Los ecosistemas terrestres desempeñan un rol importante en el ciclo global del C, específicamente como sumideros de C orgánico (Rackley, 2017b). La dinámica del C en los ecosistemas consiste en la emisión (respiración, oxidación y metanogénesis), la lixiviación (C inorgánico disuelto), la absorción-fijación (fotosíntesis, deposición de C inorgánico) y la transferencia (cosecha de biomasa, erosión del suelo) (Modak et al., 2023). Las plantas absorben C inorgánico en forma de CO₂ de la atmósfera y producen compuestos orgánicos, que sirven como fuente de energía en la cadena alimentaria. Una parte de este C almacenado se libera de nuevo a la atmósfera mediante la respiración autótrofa (Modak et al., 2023). Por otra parte, el C fijado en la biomasa aérea y subterránea se incorpora a los suelos a través de la hojarasca de hojas y ramas, del crecimiento y la mortalidad de las raíces y de la biomasa microbiana producida a partir de los exudados radiculares (Rackley, 2017b).



2.2.2. Emisiones antropogénicas de dióxido de carbono

Se han identificado dos fuentes antropogénicas de CO₂: las emisiones de origen fósil y las emisiones netas derivadas del cambio del uso y gestión del suelo. Las emisiones fósiles abarcan la quema de carbón, petróleo y gas natural, en todos los sectores económicos (electricidad, transporte, industria y construcción); las emisiones producidas en la fabricación

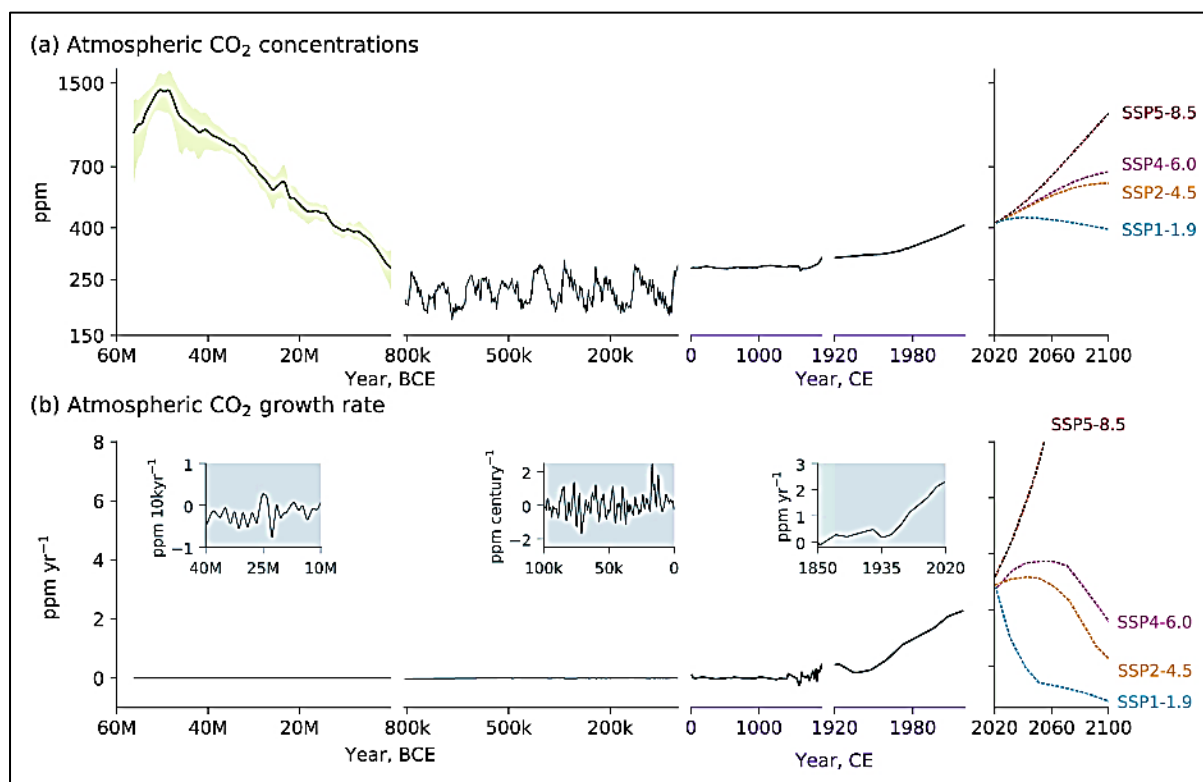
del cemento, la industria química y de fertilizantes (Canadell et al., 2021). Mientras que, el intercambio neto mundial del cambio del uso del suelo y la gestión de la tierra se compone de las transformaciones o conversiones en este recurso (Pongratz et al., 2018), y proceden del sector agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (Jia et al., 2019).

En el inicio de la revolución industrial (1750) la concentración de CO₂ atmosférico era de 278 ppm y en 2021 fue de $414.71 \pm 0,1$ ppm. La cantidad de C en la atmosfera se incrementó en 48 % desde los 590 Gt en 1750 hasta 879 Gt en 2021. Las emisiones antropogénicas totales acumuladas para el CO₂ durante el periodo 1850-2021, se cuantificaron en 670 ± 65 Gt de C (2455 ± 240 Gt de CO₂), de los cuales 470 Gt (70 %) se emitieron en los últimos 60 años y 220 Gt (33 %) en los últimos 20 años. Desde la década de 1960, las emisiones antropogénicas se han duplicado, pasando de $4,5 \pm 0,7$ Gt de C al año a $10,8 \pm 0,8$ Gt de C por año durante 2012-2021 hasta $10,9 \pm 0,9$ Gt de C para finales de 2021 (Friedlingstein et al., 2022).

En el periodo histórico 1850-2021, las emisiones antropogénicas netas de CO₂ fósil fueron de 465 ± 25 Gt de C, incluido las acumulaciones en la carbonatación del cemento. En este periodo, el 46 % de las emisiones fósiles de CO₂ procedieron del carbón, el 35 % del petróleo, el 15 % del gas natural y el 3 % de la descomposición de carbonatos. Las emisiones mundiales de CO₂ fósil, han aumentado cada década, desde una media de $3 \pm 0,2$ Gt de C al año en la década de 1960 hasta una media de $9,6 \pm 0,5$ Gt de C por año durante 2012-2021. En 2021, las emisiones de CO₂ de origen fósil fueron un 5,1 % superior que en 2020, debido al repunte mundial tras la debacle de la pandemia por COVID-19, con un aumento de 0,5 Gt de C hasta alcanzar $9,9 \pm 0,5$ Gt de C (Friedlingstein et al., 2022).

Figura 2

Concentraciones, tasas de crecimiento y proyecciones de dióxido de carbono atmosférico



Nota. La figura 2 muestra en (a) las concentraciones de CO₂ (ppm) en la atmósfera desde hace 60 millones de años hasta la actualidad (2020). En (b) las tasas de crecimiento de CO₂ (ppm año⁻¹) atmosférico durante el mismo periodo. También, el IPCC ha realizado las proyecciones hasta 2100 para ambos parámetros bajo los escenarios de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP). Fuente: Canadell et al. (2021).

En el periodo histórico 1850-2021, las emisiones acumuladas de CO₂ procedentes de los cambios en el uso del suelo fueron de 205 ± 60 Gt de C. En promedio, durante el período 2012-2021 los flujos procedentes de la deforestación ascienden a $1,8 \pm 0,4$ Gt de C al año, y los procedentes de la forestación, repoblación y cosecha forestales ascienden a $-0,9 \pm 0,3$ Gt de C por año. En 2021, las emisiones mundiales de CO₂ derivadas del cambio de uso del suelo se estiman en $1,1 \pm 0,7$ Gt de C, similar a la estimación de 2020 (Friedlingstein et al., 2022). El cambio en el uso del suelo y las emisiones relacionadas pueden haberse visto afectados por la pandemia COVID-19 (Poulter et al., 2021).

2.2.3. *Cambio climático*

El cambio climático es una consecuencia del calentamiento global y de la concentración de GEI en la atmósfera (Letcher, 2021; Yoro y Daramola, 2020). El efecto invernadero es un proceso natural que calienta la Tierra y la mantiene en condiciones favorables para el desarrollo de la vida (Letcher, 2021; Perkins-Kirkpatrick y Green, 2023; Sørensen, 2017; Yoro y Daramola, 2020). Los GEI como CO₂, CH₄, óxido nitroso (N₂O), ozono (O₃), clorofluorocarbonos (CFC) e hidrofluorocarbonos (HFC) (Jalota et al., 2018; Yoro y Daramola, 2020); son compuestos gaseosos que pueden emitir radiación ultravioleta dentro de un determinado rango de infrarrojos térmicos (Johansson et al., 2020); principalmente el CO₂, CH₄, N₂O y el dióxido de azufre (SO₂), los que han llamado la atención mundial (Berrou et al., 2010).

El término “efecto invernadero” fue acuñado por el matemático y físico francés Joseph Fourier en 1824, cuando por la época se investigaba las causas de las glaciaciones en la Tierra. Esto sugirió la posibilidad de que la disminución de los niveles atmosféricos de CO₂ inducía a una pérdida de calor de la Tierra y causado las edades de hielo (Fletcher y Smith, 2020). El efecto invernadero causado por el CO₂ se conoce desde finales del siglo XIX. En 1856, la científica Eunice Foote fue la primera en demostrar las propiedades del CO₂ para atrapar calor y sugerir que el aumento de la cantidad de CO₂ en la atmósfera provocaría un aumento de la temperatura; hipótesis corroborada cinco años después por el físico irlandés John Tyndall (Perkins-Kirkpatrick y Green, 2023).

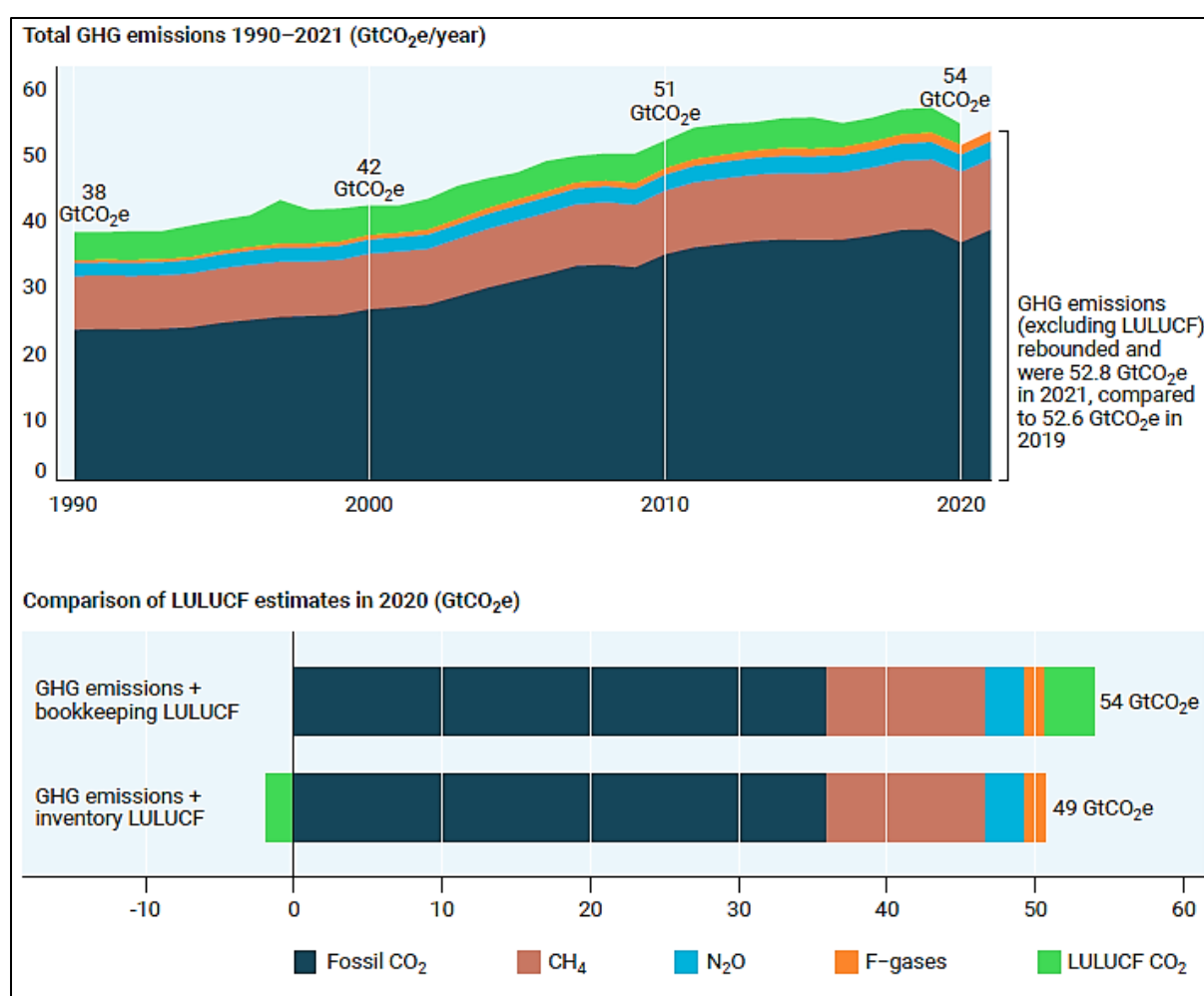
Tres décadas más tarde, el físico sueco Svante Arrhenius calculó cómo el aumento del CO₂ atmosférico potenciaría el efecto invernadero y, por tanto, incrementaría la temperatura atmosférica. En el siglo XX, Guy Callendar, un ingeniero inglés, fue el primero en documentar en 1938 que las predicciones de Arrhenius ya se estaban cumpliendo, demostrando que los aumentos de la temperatura global se correlacionaban con los aumentos de los niveles atmosféricos de CO₂. En la década de 1950, otros científicos confirmaron las conclusiones de Callendar, lo que condujo al establecimiento de la curva de Keeling, que ha medido sistemáticamente el CO₂ atmosférico durante los últimos 60 años (Perkins-Kirkpatrick y Green, 2023).

El planeta recibe desde el espacio radiación solar (luz con longitud de onda corta), esta energía es absorbida por la superficie terrestre y reflejada en forma de radiación de onda larga

(Perkins-Kirkpatrick y Green, 2023). Inicialmente, el 29 % de toda la radiación procedente del sol se devuelve al espacio y el restante 71 % se mantiene absorbido por los GEI presentes en la atmósfera para más tarde ser reflejados como radiación de longitud de onda larga, aumentando así la temperatura global en la tropósfera terrestre (Sørensen, 2017). Sin la presencia de los GEI en la atmósfera, la temperatura media mundial sería de unos 18 °C (Olaniyi et al., 2019). En resumen, la contribución de cada GEI depende de su forzamiento radiactivo, de su tiempo de vida en la atmósfera y de la consiguiente emisión total, que deciden el impacto del calentamiento (Jalota et al., 2018).

Figura 3

Emisiones netas mundiales de gases de efecto invernadero durante 1990-2021



Nota. La figura 3 muestra las emisiones totales en GtCO₂e, incluyen el CO₂ procedente de combustibles fósiles y de la industria (CO₂ fósil), las emisiones de CO₂ derivadas del uso del suelo, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (LULUCF, por sus siglas en inglés),

CH₄, N₂O y los gases fluorados (gases F). Fuente: United Nations Environment Programme (2022).

Durante miles de años hasta antes del siglo XVIII el clima terrestre se ha mantenido en constante equilibrio, sin variaciones abruptas en los patrones meteorológicos (Letcher, 2021). Sin embargo, el balance energético de la Tierra, ya no está en equilibrio (Perkins-Kirkpatrick y Green, 2023); a causa de los volúmenes significativos de emisión de GEI a la atmósfera. Por ejemplo, las emisiones mundiales totales de GEI (Figura 3) alcanzaron una media de 54.4 GtCO₂e entre 2010 y 2019, y alcanzaron un máximo en 2019; con un incremento medio anual del 1.1 % para el mismo periodo (United Nations Environment Programme, 2022).

El calentamiento global es implacable (Perkins-Kirkpatrick y Green, 2023) y de origen antropogénico provocado por la concentración excesiva de GEIs en la atmósfera, en particular el CO₂ y el CH₄ (IPCC, 2023b). En el periodo 2011-2020, el aumento de la temperatura media global se situó en torno a 1,10 °C con respecto a 1850-1900, los mayores incrementos se suscitaron en la tierra (1,59 °C) que en el océano (0,88 °C). Solamente en los primeros 20 años del presente siglo (2001-2020), la temperatura global en superficie se incrementó en 0,99 °C con respecto a 1850-1900. Se ha estimado, que los GEI pudieron haber contribuido entre 1 °C y 2 °C al calentamiento global (IPCC, 2023b).

El cambio climático de origen humano es la mayor crisis medioambiental de la época actual (Letcher, 2021). Está afectando a muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del planeta (IPCC, 2023b). Los impactos del cambio climático se ha hecho notar en los ecosistemas terrestres y de agua dulce (Parmesan et al., 2022), sobre el ciclo hidrológico (Caretta et al., 2022), los ecosistemas oceánicos y costeros (Cooley et al., 2022), la seguridad alimentaria (Bezner et al., 2022), las ciudades, asentamientos e infraestructuras (Dodman et al., 2022), la salud y el bienestar de las comunidades (Cissé et al., 2022), la pobreza, medios de subsistencia y desarrollo sostenible (Birkmann et al., 2022).

2.2.4. Dinámica del carbono en los bosques tropicales

Los bosques tropicales se encuentran distribuidos en la región comprendida entre los paralelos del trópico de Cáncer (23° latitud norte) y el trópico de Capricornio (-23° latitud sur), con elevados niveles de precipitación y fuertes estaciones secas (Viswanath y Sandeep, 2018). Estos ecosistemas cubren aproximadamente el 6 % de la superficie terrestre y ciclan anualmente alrededor del 8 % del CO₂ atmosférico total (Alamgir et al., 2016). Los bosques

tropicales han influido significativamente en la variación mundial de las concentraciones atmosféricas de CO₂, al actuar como fuente y sumidero de C a la vez (Mitchard, 2018). Los bosques tropicales pueden capturar y almacenar C en sus distintos componentes interrelacionados: biomasa aérea, biomasa subterránea, necromasa y hojarasca, y suelo; (Viswanath y Sandeep, 2018).

Los árboles vivos que componen los bosques tropicales almacenan entre 200 y 300 Gt de C (Avitabile et al., 2016; Pan et al., 2011), aproximadamente un tercio de lo que contiene la atmósfera (Friedlingstein et al., 2022); este gran sumidero se debe principalmente a la fotosíntesis (fertilización con CO₂) (Mitchard, 2018). Esta reserva es muy dinámica, los árboles tropicales realizan aproximadamente el 60 % de la fotosíntesis mundial, capturando alrededor de 72 Gt de C de la atmósfera anualmente (Beer et al., 2010), todo se realiza con gran facilidad debido al aumento de las concentraciones de CO₂ en las hojas para un nivel dado de apertura estomática (Sitch et al., 2015).

Los árboles también pueden acumular C en la biomasa radicular, aunque su estimación es muy difícil de realizar debido a que las raíces están incrustadas en el suelo y a las dificultades para extraer todo el sistema radicular sin pérdidas; para fines prácticos se considera que entre el 20-25 % del C acumulado en la biomasa aérea corresponde al acumulado por la biomasa radicular (Viswanath y Sandeep, 2018). La necromasa también puede contribuir con significativas reservas de C, en particular, los residuos leñosos que pueden albergar 4,5-28 t ha⁻¹. Mientras que, en el suelo el C puede almacenarse de forma orgánica e inorgánica (Rice et al., 2023). Las reservas de C inorgánico del suelo, comprenden el C inorgánico litogénico (C contenido en minerales como la calcita, la dolomita y el yeso) y el C inorgánico pedogénico (Modak et al., 2023).

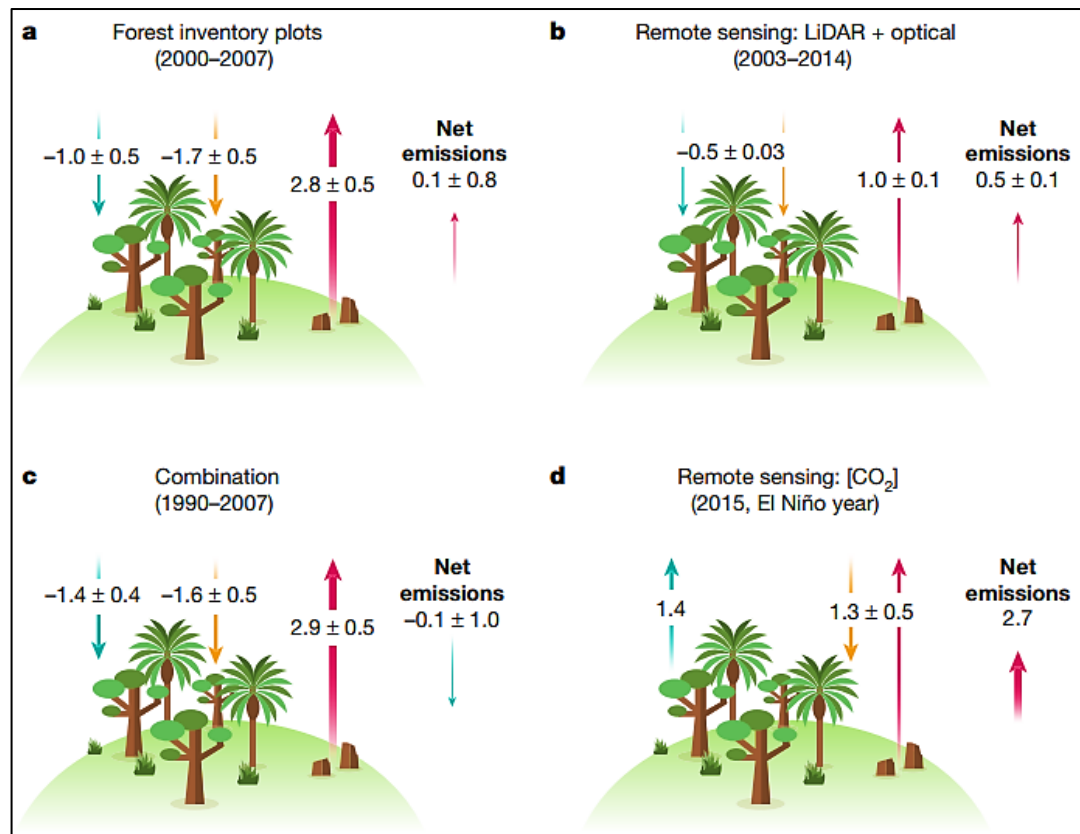
El C orgánico del suelo se compone de elementos orgánicos tanto vivos como muertos y está formado por una infinidad de compuestos biodegradables, recalcitrantes complejos y biomasa microbiana (Kögel-Knabner, 2016), se limita principalmente a las capas superiores con máxima densidad de raíces (Viswanath y Sandeep, 2018), y se agrupan en tres grupos principales: C activo, lento y pasivo (Tan et al., 2007). Los depósitos activos corresponden a las formas lábiles del C, muy sensibles a la alteración, esta vulnerabilidad precoz permite devolver rápidamente el CO₂ a la atmósfera. El tiempo de residencia para estas reservas es en promedio entre 1 y 5 años. En tanto, el C orgánico del suelo lento tiene un tiempo de

permanencia de entre 20-40 años y el C orgánico pasivo de 200-1500 años (Viswanath y Sandeep, 2018).

Los bosques tropicales también son fuente de CO₂ a la atmósfera, mediante la respiración y la descomposición de la materia orgánica como procesos naturales (Viswanath y Sandeep, 2018), y el uso y cambio de uso de la tierra (deforestación y degradación de los bosques) (Mitchard, 2018), como agravantes antropogénicos. En los bosques la respiración de plantas, animales y microorganismos del ecosistema (Malhi, 2012; Sitch et al., 2015), libera grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera por procesos bioquímicos (fase de crecimiento) (Viswanath y Sandeep, 2018). La descomposición es la transformación de detritus orgánico en la que el CO₂ se convierte en el producto de reacción (Viswanath y Sandeep, 2018). Ambos procesos están influenciados por las fluctuaciones de temperatura y precipitación (Jung et al., 2011; Poulter et al., 2014). La deforestación y degradación de bosques tropicales pueden liberar anualmente entre 0,5 y 3,5 Gt de C (Baccini et al., 2017; Keenan et al., 2015).

Figura 4

Flujos netos de carbono en bosques tropicales estimados por múltiples métodos



Nota. La figura 4 muestra las estimaciones netas anuales de C (Gt año^{-1}) en bosques tropicales por varios métodos de estimación: en (a) los datos proceden de inventarios forestales en parcelas y datos de superficie forestal obtenidos mediante encuestas nacionales; en (b) los valores se han obtenido mediante la teledetección, imágenes de satélite óptico calibrados con datos LiDAR y pruebas de campo; en (c) los datos proceden de la superposición entre la inversión atmosférica, la modelización y las estimaciones sobre el terreno y en (d) los datos se obtienen de satélites sensibles a las concentraciones atmosféricas de CO_2 para el año del fenómeno El Niño 2015. El flujo neto de los bosques tropicales intactos se muestra en turquesa, el flujo neto de los bosques en regeneración en naranja y el flujo de deforestación y degradación forestal (incluidos los incendios) en rosa. Fuente: Mitchard (2018).

La densidad promedio de C en un bosque tropical no alterado puede alcanzar 250 t ha^{-1} (Viswanath y Sandeep, 2018), con tasas de crecimiento similares de $0,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ desde hace 50 años, aportes para un sumidero neto fijo de poco más de 1 Gt año^{-1} (Lewis et al., 2009; Pan et al., 2011; Qie et al., 2017). Sin embargo, los bosques tropicales inalterados se encuentran en proceso de convertirse en fuentes netas de C, debido a la pérdida del tamaño de sus reservas (Baccini et al., 2017; Grace et al., 2014; Le Quéré et al., 2016; Sitch et al., 2015). Este deceso se debe a la acción conjunta de la reducción de la superficie forestal intacta (Keenan et al., 2015) más los efectos de las altas temperaturas con sequías prolongadas, minimizando la capacidad de respuesta de los árboles ante concentraciones más elevadas de CO_2 atmosférico (Qie et al., 2017). Dada la alta probabilidad de que se continúe perdiendo más superficie boscosa y la aceleración del cambio climático, resultaría inminente que los bosques tropicales liberen más C, lo que hará muy difícil limitar el calentamiento global a menos de 2°C por encima de los niveles preindustriales (Schleussner et al., 2016).

2.2.5. Bosque basimontano de yunga

El bosque basimontano de yunga del Perú cubre aproximadamente $8\,237\,633,9 \text{ ha}$, representa el 6,4 % del territorio nacional. Se extiende desde el norte en la región Cajamarca hasta el sur en la región Puno, por el este limita con la selva baja y por el oeste con los ecosistemas de bosques altimontanos. Es un ecosistema montano bajo sin presencia de nubosidad y se distribuye en las vertientes orientales de los Andes, entre los 600-800 m s. n. m., y 1500-1800 m s. n. m., las pendientes fácilmente superan los 45° (100 %). El bosque se caracteriza por presentar dosel cerrado, con tres estratos diferenciables. En promedio el dosel alcanza los 25 m de altura, aunque algunos árboles emergentes pueden alcanzar los 35 m. La

biodiversidad florística es alta y se caracteriza por la presencia de especies de la Amazonía baja y de la Yunga, niveles moderados de epífitas, por lo que constituye un complejo de formaciones vegetales transicionales (MINAM, 2019a).

2.2.6. Reserva comunal Tuntanain

La RCTUN fue establecida como ANP mediante el Decreto Supremo N° 023-2007-AG, de fecha 9 de agosto de 2007, ubicada en la región Amazonas, provincia de Condorcanqui, abarcando tres distritos: Río Santiago, El Cenepa y Nieva. Su extensión territorial comprende 94 967,68 ha, presenta un clima tropical, con una precipitación media anual comprendida entre 2233 y 3466 mm. La RCTUN alberga una parte importante de los bosques montanos y premontanos húmedos de la Yunga Tropical del noroeste del Perú, con una biodiversidad endémica de flora y fauna. De paisaje montañoso, con pliegues y crestas pronunciadas donde se encuentra un ecosistema boscoso alto, tupido y abundantes bromeliáceas, orquídeas, lianas y bejucos. La mayoría de tallos leñosos están recubiertos por una diversidad de epífitas y trepadoras (SERNANP, 2019).

Se destaca la presencia de 13 especies endémicas de flora, el aporte aproximado de 30 especies vegetales nuevas para la ciencia y de 19 especies de flora en estado de amenaza. En cuanto a la fauna, la RCTUN es refugio de 48 especies de aves registradas destacando el paujil (*Mitu mitu*), la pucacunga (*Penelope jacquacu*) y el shansho (*Opisthocomus hoazin*). También, es hábitat de algunos animales con algún tipo de amenaza, tales como la sachavaca o tapir (*Tapirus terrestris*), el pichico de Goeldi (*Callimico goeldii*) y el maquisapa cenizo (*Ateles belzebuth*). Se trata de una ANP importante, sustento de una diversidad biológica abundante, que busca la conservación de la diversidad biológica, permitiendo a la población y a las comunidades indígenas el acceso al bosque en búsqueda de alimento y otros productos para satisfacción personal y con fines comerciales sin comprometer negativamente tan valioso recurso natural (SERNANP, 2019).

Se trata de una ANP con importantes áreas de valioso nivel cultural y religioso, en particular para las comunidades nativas pertenecientes al grupo étnico lingüístico Jíbaro. Actualmente, se encuentran registradas 26 comunidades nativas y anexos, cuyo sustento de vida ancestral es la caza, recolección y la agricultura. Al norte se destacan los asentamientos de las comunidades Kunt, Entsa y Villa Gonzalo, al sur Inayuam, Saasá y Achu, y por el oriente las comunidades de Yutupis, Yujagkim y Kagkas (SERNANP, 2019). De ahí su singular

importancia de la RCTUN, que representa, más que cualquier otra reserva comunal, una necesidad para el presente y no tanto del futuro (SERNANP, 2017).

2.3. Definición de términos básicos

Área natural protegida

Según lo establecido por el Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas, las ANP son los espacios continentales y/o marinos del territorio nacional reconocidos, establecidos y protegidos legalmente por el Estado como tales, debido a su importancia para la conservación de la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país (Presidencia de la República, 2001, Decreto Supremo N° 038-2001-AG, Artículo 1°, numeral 1.1).

Biomasa

“La materia orgánica excluye la materia fosilizada o incrustada en formaciones geológicas. La biomasa puede referirse a la masa de materia orgánica en un área específica” (IPCC, 2021, p. 2219).

Captura de carbono

“Proceso de almacenamiento de C en una reserva” (IPCC, 2021, p. 2248).

Carbono orgánico del suelo

“C contenido en la materia orgánica del suelo” (IPCC, 2022, p. 2923).

Dióxido de carbono

El CO₂, un gas natural, es también un subproducto de la combustión de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), de la quema de biomasa, de los cambios en el uso del suelo y de los procesos industriales (por ejemplo, la producción de cemento). Es el principal gas de GEI antropogénico que afecta al equilibrio radiactivo de la Tierra. Es el gas de referencia con respecto al cual se miden otros GEI y, por tanto, tiene un potencial de calentamiento global (GWP, por siglas en inglés) de 1 (IPCC, 2021, pp. 2220-2221).

Materia orgánica del suelo

“Componente orgánico del suelo, que comprende residuos vegetales y animales en distintas fases de descomposición, y organismos del suelo” (IPCC, 2022, p. 2923).

Mitigación del cambio climático

“Una intervención humana para reducir las emisiones o mejorar los sumideros de GEI” (IPCC, 2022, p. 2915).

Reserva comunal

Según lo establecido por el Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas, las reservas comunales son áreas destinadas a la conservación de la flora y fauna silvestre, en beneficio de las poblaciones locales y comunidades campesinas o nativas. Pueden ser establecidas sobre suelos de capacidad de uso mayor agrícola, pecuario, forestal o de protección y sobre humedales (Presidencia de la República, 2001, Decreto Supremo N° 038-2001-AG, Artículo 56°, numeral 56.1).

Reserva de carbono

“Reservorio del sistema terrestre donde elementos, como el C, residen en diversas formas químicas durante un periodo de tiempo” (IPCC, 2021, p. 2244).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización de la investigación

La investigación se desarrolló en el bosque basimontano de yunga, uno de los ecosistemas presentes en la Reserva Comunal Tuntanain (RCTUN) (Figura 5). La RCTUN fue creada mediante D.S. N° 023-2007-AG, abarca los distritos de Río Santiago, El Cenepa y Nieva, de la provincia de Condorcanqui en la región Amazonas. El clima de la RCTUN es tropical y la precipitación media anual fluctúa entre los 2233 y 3466 mm (SERNANP, 2019). El bosque basimontano de yunga se extiende de norte (región Cajamarca) hasta el sur del país (región puno), se trata de un ecosistema montano bajo sin presencia de nubosidad, de altitud variada y con pendientes pronunciadas. Presenta una gran e importante biodiversidad de flora y fauna (MINAM, 2019a).

3.2. Tipo y diseño de la investigación

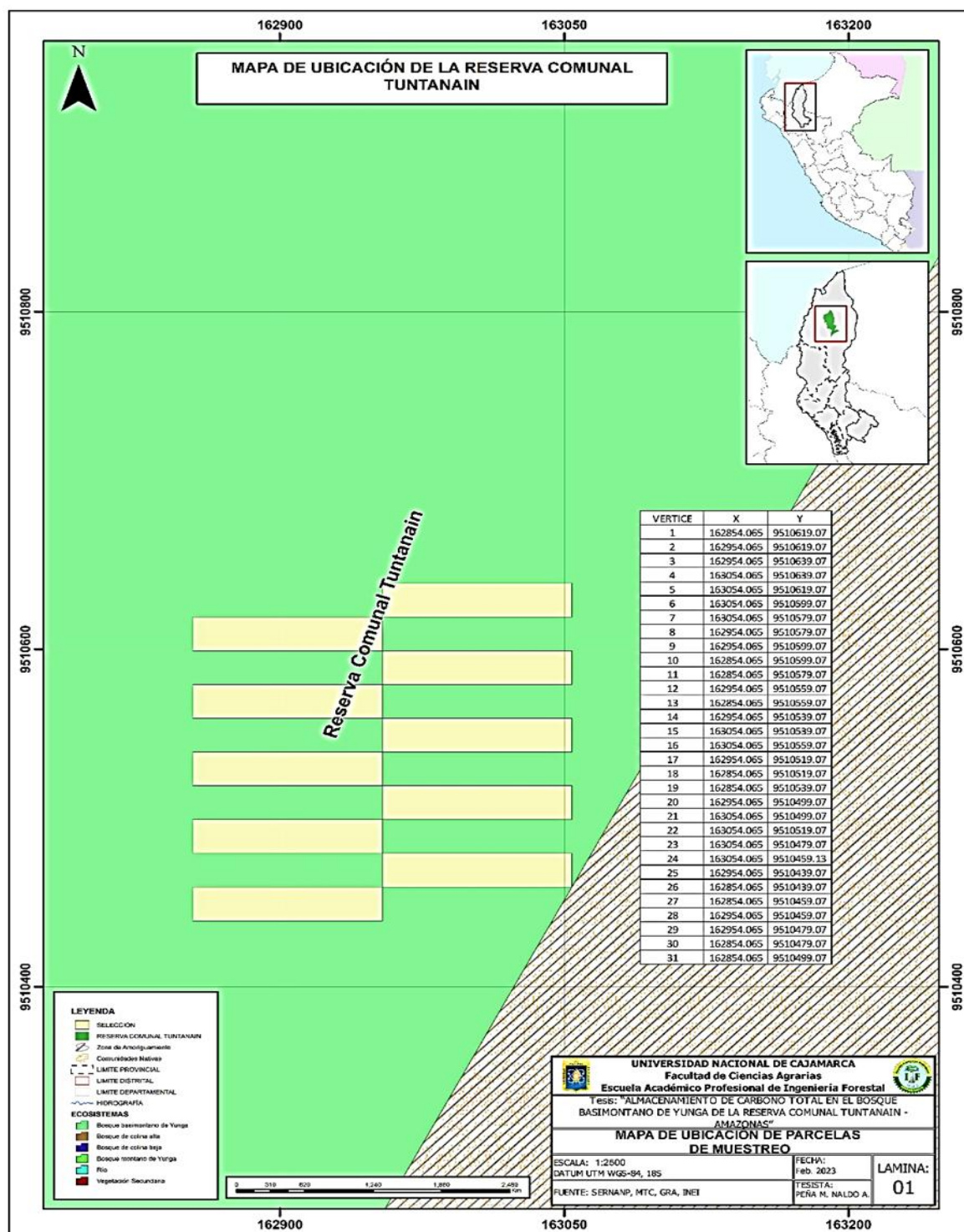
La investigación desarrollada corresponde a una finalidad básica, enfoque cuantitativo, de alcance explicativo, no experimental, transversal y de intervención multidisciplinaria (Hernández et al., 2014).

3.2.1. *Matriz de operacionalización de variables*

La matriz de operacionalización de variables se muestra en la Tabla 2.

Figura 5

Localización del estudio y ubicación de las parcelas de investigación



Nota. La figura 5 es un mapa de ubicación de las parcelas de muestro en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain.

Tabla 2

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain	Es un ecosistema montano bajo sin presencia de nubosidad y se distribuye en las vertientes orientales de los Andes, entre los 600-800 msnm y 1500-1800 msnm, las pendientes fácilmente superan los 45° (100 %). El bosque se caracteriza por presentar dosel cerrado, con tres estratos diferenciables (MINAM, 2019a).	Se realizó la evaluación usando los procedimientos de inventarios de carbono en ecosistemas forestales.	– Biomasa de tallos leñosos > 1cm y < 5 cm de DAP. – Biomasa árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP. – Biomasa árboles ≥ 10 cm de DAP. – Biomasa árboles ≥ 30 cm de DAP. – Hojarasca – Suelo	t ha ⁻¹	Razón
Variable Almacenamiento de carbono	“Proceso de almacenamiento de carbono en una reserva” (IPCC, 2021, p. 2248).	Para la estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa de tallos leñosos y árboles, hojarasca y suelo, se usó la norma internacional de la Asociación CarbonFix Standard (CFS)	– Almacenamiento de C en la biomasa de tallos leñosos > 1cm y < 5 cm de DAP. – Almacenamiento de C en la biomasa de árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP. – Almacenamiento de C en la biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP. – Almacenamiento de C en la biomasa de árboles ≥ 30 cm de DAP. – Almacenamiento de C en la hojarasca. – Almacenamiento de C en el suelo.	tC ha ⁻¹	Razón

3.2.2. Unidad de análisis

3.2.1.1. Variables

Tallos leñosos > 1cm y < 5 cm de DAP, árboles $\geq$ 5 cm y < 10 cm de DAP, árboles $\geq$ 10 cm de DAP, árboles $\geq$ 30 cm de DAP, hojarasca y suelo.

3.2.1.2. Población

La población estuvo conformada totalmente por el bosque basimontano de yunga de la RCTUN. De acuerdo a la información geoespacial elaborado por el MINAM y el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú, el bosque basimontano de yunga presente en la RCTUN tiene una extensión territorial de 83 386,64 ha (87,81 % de la RCTUN) (MINAM, 2019b).

3.2.1.3. Muestreo

Se utilizó el muestreo probabilístico para determinar el número de parcelas requeridas. Para ello se empleó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{[e^2 \times (N - 1)] + (Z^2 \times p \times q)}$$

Donde:

n: Número de parcelas requeridas.

N: Área del estrato. Relación entre el área de estudio y el tamaño de la parcela.

Z: Nivel de confianza para una distribución normal.

p: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito), se considera 50 % (0,5).

q: Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado. Es equivalente a 1-p.

e: Error de estimación máximo estudiado.

3.2.1.4. Muestra

Se trabajó con un tamaño de parcela de 0,2 ha (20 m x 100 m), misma dimensión de parcela investigada por Cuellar et al. (2015). Con la aplicación de la formula anterior el número de parcelas requeridas quedó fijado en 10.

$$n = \frac{416933 \times 1,282^2 \times 0,5 \times 0,5}{(0,2^2 \times 416932) + (1,282^2 \times 0,5 \times 0,5)}$$

$$n = 10,2718 \sim 10$$

3.2.3. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección datos

3.2.1.5. Materiales

Materiales y herramientas de campo

Hipsómetro, cinta diamétrica, bolsas plásticas capacidad 50 kg, bolsas plásticas capacidad 1 kg, etiquetas plásticas, marcadores permanentes, lápices, lapiceros, cinta masking tape ¾", libreta de apuntes, hojas de papel bond A4, cilindro metálico, palana, machete, barreta, wincha de 50 m, jalón, rafia, carpa para acampar, bolsa de dormir, linterna y equipo de protección personal (EPP).

Materiales y reactivos de laboratorio

Matraz Erlenmeyer, pipetas graduadas, pipetas volumétricas, varilla agitadora, vasos de precipitación, bureta, probeta, tamiz ASTM N° 10, mortero, pilón, Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N, solución ferrosa ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), indicador difenilamina, ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98 % de pureza y ácido fosfórico (H_3PO_4) al 95 % de pureza.

Equipos

Equipo GPS (Sistema de Posicionamiento Global), brújula, balanza analítica, estufa, ordenador (PC), cámara fotográfica y calculadora.

3.2.1.6. Metodología

Selección del área de muestreo

Se seleccionó el tipo de área "A" de la RCTUN, se eligió el área de Buchigkim debido a su accesibilidad y a la no presencia de actividad humana.

Visita previa al área de muestreo

Se realizó una visita previa a cada sitio para una mejor planificación del muestreo; además, se obtuvo puntos GPS de la zona con mejor geografía y sin actividad humana.

Ubicación de parcelas de muestreo

La ubicación de las parcelas de muestreo (Figura 6) se realizó siguiendo los criterios establecidos por Cuellar et al. (2015). Las coordenadas del sitio de muestreo previamente obtenidas fueron importadas a GIS, luego se procedió a formar un área de muestreo de 20 m x 100 m. Determinamos el punto central de la parcela, junto a (Z) y usando la brújula encontramos el norte magnético y nos movimos 90° para llegar, usando la cinta métrica y los marcadores marcamos las cuatro estaciones de prueba. Del mismo modo, los primeros 10 m de las líneas originales se hizo el trazado de la misma forma que lo hicimos para el otro extremo, eso es todo 20 m. Cerramos el cuadro de 20 m x 100 m, en el que especificamos la subsección 20 m x 20 m y la subsección 5 m x 5 m, apartamos la subsección 10 m x 20 m. Se colocó aleatoriamente 3 cuadrantes de 1m x 1m, finalmente se dibujó una sección transversal de 5 m x 40 m.

Determinación de la biomasa arbórea

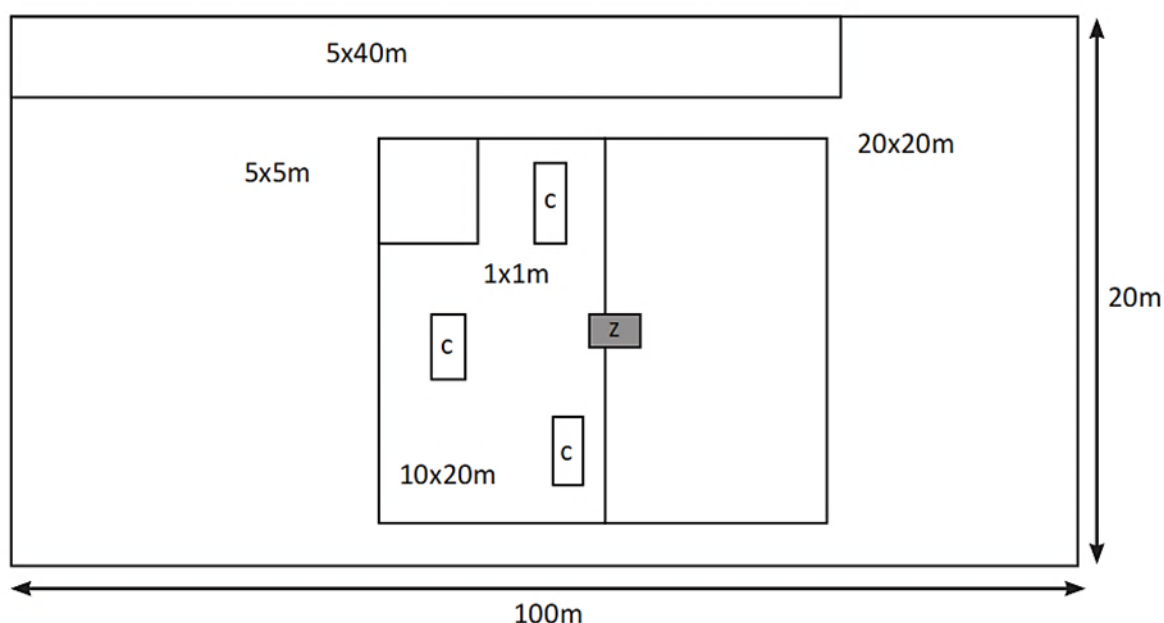
En cada parcela de muestreo se realizó un inventario de las especies arbóreas donde se tuvo en cuenta estratos de regeneración natural (latizal bajo y latizal alto); así como, de árboles maduros (fustales y árboles maduros), se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m sobre el suelo y la altura comercial (Hc), siguiendo la metodología usada por Cuellar et al. (2015), basada en Sabogal et al. (2004). El cálculo de la biomasa total maderable se realizó mediante lo estipulado por la norma mundialmente conocida CFS (Asociación CarbonFix Standard) (2009).

- Árboles maduros (DAP > 30 cm) en la parcela 5 m x 40 m.

- Fustales (DAP > 10 cm) en la parcela de 20 m x 20 m.
- Latizales altos (diámetro de 5 a 9,9 cm) en la sub parcela de 10 m x 20 m.
- Latizales bajos (diámetro de 1,5 a 4,9 cm), medidos a 20 cm de altura en la sub parcela de 5 m x 5 m.

Figura 6

Representación esquemática de la parcela de muestreo



Nota. La figura 6 muestra la distribución de las subparcelas de muestreo, así como, la ubicación de los puntos de muestreo para hojarasca y herbácea, los cuales son los recuadros que contienen una “c”; también se diferencia el punto central de la parcela, recuadro oscuro que contiene una “z”, que es donde se extrajo la muestra de suelo. Fuente: (Cuellar et al., 2015).

Determinación de la biomasa arbustiva y herbácea

Se realizó tomando aleatoriamente muestras tres veces en un área de 1 m². Este proceso consistió en extraer al azar muestra aleatoriamente, se realizó censos de especies, después de lo cual se cortó a nivel de suelo y se registró el peso fresco total, se tomó una submuestra de peso conocido (300 g), se colocó en una bolsa de plástico debidamente codificada (Cuellar et al., 2015). El contenido de humedad se determinó con la fórmula siguiente:

$$CH = \frac{P_{hs} - P_{ss}}{P_{hs}} \times 100 \%$$

Donde:

CH: Contenido de humedad (%)

P_{hs}: Peso húmedo de la submuestra (g/m²)

P_{ss}: Peso seco submuestra (g/m²)

Con el resultado del CH se procedió a estimar la biomasa mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$BAH = \frac{P_{htb}}{1 + \frac{CH}{100}}$$

Donde:

BAH: Biomasa seca arbustiva y herbácea

P_{htb}: Peso húmedo total de biomasa (g/m²)

CH: Contenido de humedad (%)

Determinación de la biomasa en hojarasca

Después de cortar plantas herbáceas y arbustos, se recolectó todas las hojas caídas, escombros y ramas con un diámetro inferior a 5 cm que se hayan acumulado en el área de 1 m², no se colectó ni suelo ni raíces, se zarandeó, posteriormente se colocó en una bolsa para pesar toda la muestra, se tomó una porción de la muestra de aproximadamente 300 g y se colocó en una bolsa de plástico codificada (Cuellar et al., 2015). Luego se realizó el mismo procedimiento de la vegetación arbustiva.

Suelo

Se tomó una muestra de suelo del centro de la parcela haciendo un hoyo de al menos 30 cm de profundidad, tomando una muestra de suelo a diferentes profundidades, hasta 30 cm con una pala pequeña. Luego se mezcló la muestra hasta obtener un color uniforme y se pasó

por un tamiz de 5 mm, se seleccionará al azar una muestra (100 g) y se colocó en una bolsa de papel numerada para la determinación del contenido de carbono.

Para determinar el contenido de C por unidad de volumen de suelo fue necesario conocer la densidad aparente del suelo. Para esto se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido”; para el cual se utilizó un cilindro de volumen conocido y se introdujo a una profundidad de 30 cm y se rellenó del suelo sin comprimirlo.

Estimación de carbono a partir de la biomasa

El carbono estimado a partir de la biomasa seca fue calculado a través de la multiplicación de este último por un factor de 0,5, según lo recomendado por el IPCC.

Cálculo de la densidad aparente (da) del suelo

$$DA = \frac{\text{Peso seco del suelo (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

Determinación del contenido de carbono en el suelo por el método de Walkley & Black

Se pesó entre 0,15 y 0,25 gramos de suelo seco y tamizado, luego el suelo se colocó en un matraz de 1 L de capacidad. Se adicionó 10 ml de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1N y 20 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98 %; posteriormente se mezcló para homogeneizar la reacción 1 o 2 minutos, se dejó en reacción durante 60 minutos a más, la coloración del líquido debe ser similar a la del dicromato de potasio (anaranjada), si la solución resulta verde, se debe reiniciar la determinación con 0,15 a 0,17 g de suelo, se adicionó 100 ml de agua destilada y se adicionó 10 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 95 % y 1 ml del indicador difenilamina. Luego se tituló con solución de sulfato ferroso 1N hasta que la solución cambie de violeta a verde que es cuando se ha terminado la titulación, luego se llevó un blanco (sin muestra) para conocer la normalidad de la solución ferrosa ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Cálculo de la materia orgánica

$$\% MO = \frac{4(a - b)}{(a \times p)} \times 1,724$$

Donde:

MO: Contenido de materia orgánica (%)

a: Volumen gastado del blanco (ml)

b: Volumen gastado de la muestra (ml)

p: peso de la muestra (g)

Cálculo del carbono

$$\% C = \frac{\% MO}{1,724}$$

Cálculo de las reservas de carbono en el suelo

$$CS = CC \times DA \times P \times \text{Área}$$

Donde:

CS: carbono en suelo (tC ha⁻¹)

CC: contenido de carbono (%)

DA: densidad aparente (t m⁻³)

P: Profundidad de muestreo (m)

3.2.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Consistió en la tabulación de la información conformada por la base de datos y formularios de evaluación, mediante la descripción, interpretación y la elaboración de tablas y figuras, se usó para el procesamiento una hoja de cálculo (Microsoft Excel 2016), para luego redacte el informe en una hoja de texto (Microsoft Word 2016).

3.2.5. Aspectos éticos a considerar

Para la presente investigación se consideraron los aspectos éticos siguientes:

3.2.1.7. Cientificidad

La metodología de la investigación se basó en la investigación científica, debido a que se realizó el análisis e interpretación de resultados a través de instrumentos debidamente validados por expertos.

3.2.1.8. Veracidad

En este trabajo se respetó las ideas teóricas por lo que fueron debidamente citadas y referenciadas.

3.2.1.9. Compromiso institucional

El aporte de la información generada de esta investigación ayudara a tener un mejor conocimiento del área de estudio.

3.2.6. Presentación de la información

La información obtenida se presenta en forma de texto, tablas y figuras.

3.2.1.10. Matriz de consistencia

Tabla 3

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuánto es el almacenamiento de carbono total en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain?	General: Determinar el almacenamiento de carbono total en el bosque Basimontano de Yunga en la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas.	El almacenamiento de carbono en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain es significativo.	Bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain.	Suelo. Hojarasca. Biomasa arbustiva y herbácea. Biomasa en latizales bajos. Biomasa en latizales altos. Biomasa en fustales. Biomasa en árboles maduros.	t ha ⁻¹	Tipo de investigación: Cuantitativa Diseño de investigación: No experimental. Población: 83 386.64 ha de bosque basimontano de yunga en la Reserva Comunal Tuntanain. Muestra: 10 parcelas de 20 m x 100 m Unidad de análisis: Biomasa tallos leñosos < 5 cm de DAP, Biomasa árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP, Biomasa árboles ≥ 10 cm de DAP, Hojarasca Suelo Fuentes: Fuentes primarias y secundarias Técnicas: Observación directa. Instrumentos: Ficha de registro de datos, cinta diamétrica y cilindro metálico. Técnicas de procesamiento y análisis de datos: Una vez obtenidos los datos se le aplicará cálculos estadísticos con ayuda del software como R Studio y Microsoft Excel 2019, luego se analizarán y graficarán.
	Específicos: – Cuantificar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas. – Cuantificar el almacenamiento de carbono en la hojarasca de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas. – Cuantificar el almacenamiento de carbono en la biomasa de arbustos y herbáceas de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas. – Cuantificar el almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas.		Almacenamiento de carbono	Carbono en suelo. Carbono en hojarasca. Carbono en biomasa arbustiva y herbácea. Carbono en biomasa en latizales bajos. Carbono en biomasa en latizales altos. Carbono en biomasa en fustales. Carbono en biomasa en árboles maduros.	tC ha ⁻¹	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Reserva de carbono orgánico en el suelo

En la Tabla 4 se muestra los resultados de densidad aparente (DA), materia orgánica (MO), contenidos de C (%) y las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) por cada sitio de muestreo. En los 10 sitios estudiados los resultados encontrados para DA oscilaron aproximadamente entre 0,86 y 1,07 g cm⁻³, en promedio $0,99 \pm 0,07$ g cm⁻³, tratándose de suelos con DA de nivel medio. Los valores aproximados de MO rondaron entre una mínima de 2,59 % (nivel medio) y una máxima de 9,89 % (nivel muy alto), en promedio $5,76 \pm 2,79$ % (nivel alto). Los resultados de los contenidos de C derivados de los valores de MO fluctuaron entre 1,51 y 5,73 % con una media de $3,34 \pm 1,62$ %. Las reservas totales de C orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm se cuantificaron en $96,30 \pm 40,48$ t ha⁻¹, las estimaciones oscilaron entre 47,36 y 161,16 t ha⁻¹ (Figura 7).

Tabla 4

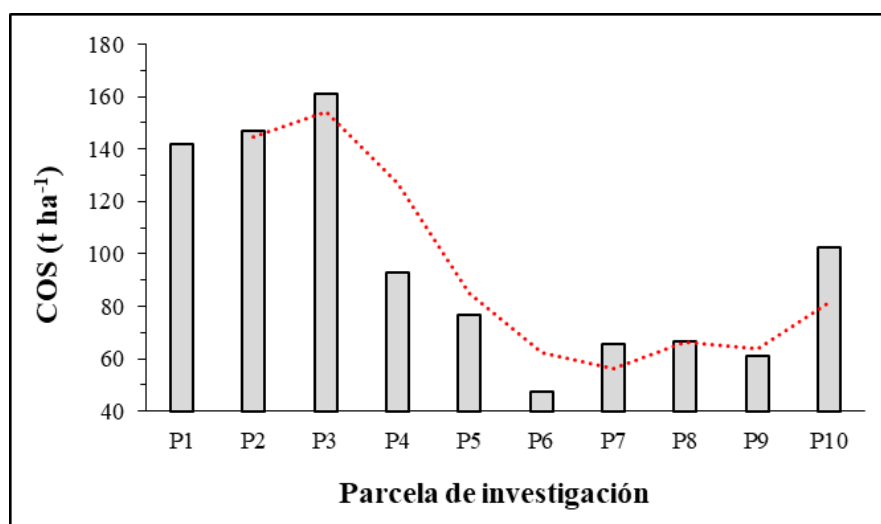
Resultados para densidad aparente, materia orgánica y carbono orgánico del suelo

Parcela de investigación	DA (g cm ⁻³)	MO (%)	C (%)	COS (t ha ⁻¹)
P1	0,8571	9,52	5,52	141,94
P2	0,9070	9,32	5,40	146,93
P3	0,9375	9,89	5,73	161,16
P4	0,9509	5,62	3,26	93,00
P5	1,0410	4,24	2,46	76,83
P6	1,0490	2,59	1,51	47,36
P7	1,0520	3,58	2,08	65,56
P8	0,9894	3,88	2,25	66,80
P9	1,0177	3,43	1,99	60,82
P10	1,0707	5,51	3,19	102,60

Nota. La tabla 4 muestra los valores de densidad aparente, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbono y del carbono orgánico del suelo por hectárea de cada parcela de muestreo.

Figura 7

Reservas de carbono orgánico del suelo por sitio estudiado



Nota. La figura 7 muestra el contenido de carbono orgánico en el suelo por hectárea por cada parcela de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el carbono orgánico del suelo

Variable	Estadístico	gl	p
COS	0,897	10	0,203

Nota. La tabla 5 muestra los resultados obtenidos para el COS en los 10 sitios estudiados presentaron una distribución normal ($p > 0,05$) a un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 6

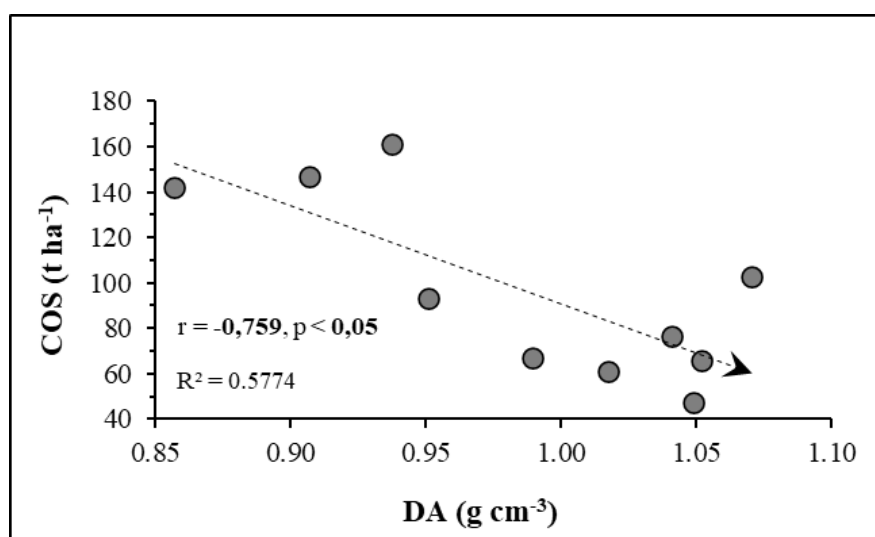
Correlación de Pearson del carbono orgánico del suelo, la densidad aparente y la materia orgánica

Variables	r	p	N
COS – DA	-0,759	0,011*	10
COS – MO	0,992	0,000**	10

Nota. La tabla 6 muestra el coeficiente de correlación de Pearson (r) a un nivel de confianza del 95 %, indica que existe una relación significativa entre el COS y la DA ($p < 0,05$). La relación es considerablemente indirecta o negativa, es decir, a mayor contenido de COS menor DA. Mientras que, el valor de r a un nivel de confianza del 99 % para el COS y la MO muestra la existencia de una relación significativa ($p < 0,01$). La relación es fuertemente directa o positiva, es decir, a mayor contenido de MO mayor contenido de COS.

Figura 8

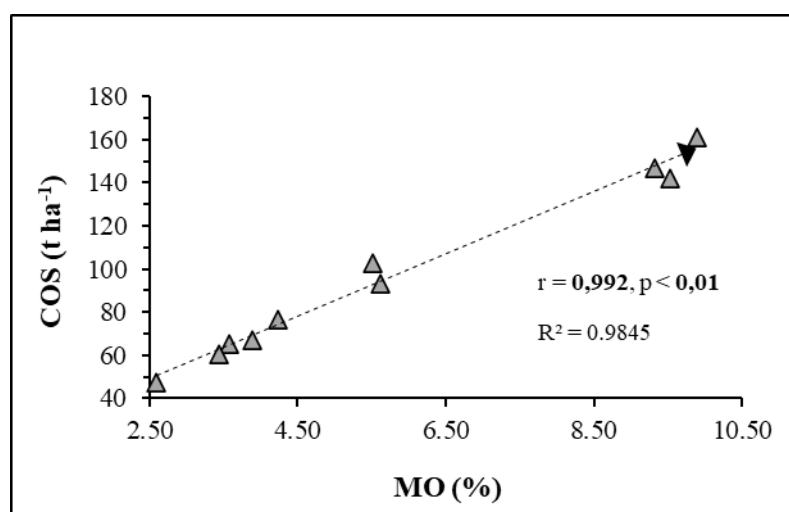
Dispersión entre el carbono orgánico del suelo y la densidad aparente



Nota. La figura 8 muestra la existencia de una correlación considerable negativa entre el COS y la DA, además los contenidos de COS pueden ser explicados en un 57,74 % por los valores de DA.

Figura 9

Dispersión entre el carbono orgánico del suelo y la materia orgánica



Nota. La figura 9 muestra la existencia de una correlación fuerte positiva entre el COS y la MO, además los contenidos de COS dependen un 98,45 % de la MO.

La MO hace referencia a todas las formas orgánicas presentes en el suelo, generada por los diversos grados de descomposición de restos animales, vegetales, células y tejidos de microorganismos (Chalbot y Kavouras, 2020); por lo tanto, se considera un elemento importante del suelo influyendo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Kowalska et al., 2020). El COS es el C presente en la MO del suelo (Horwath y Kuzyakov, 2018), es debido a esto la existencia de una correlación fuerte positiva entre la MO y el COS. La existencia de una correlación significativa negativa entre la DA y el COS se debe a que la DA aumenta directamente con la profundidad del suelo generándose mayor compactación (Beltrán, 2018), esta reducción de volumen hace que solo sea posible el desarrollo de las actividades bioquímicas de descomposición de la MO en las capas superficiales del suelo (Zhao et al., 2023).

Las reservas actuales de COS de los ecosistemas boscosos son el resultado de su formación a largo plazo y se le atribuye principalmente a factores climáticos (Carrenho y Krzyzanski, 2020; Marek et al., 2020), geoquímicos (Juhos et al., 2021) y actividades bioquímicas que ocurren en la rizosfera del suelo (Ahkami et al., 2017; Vidal et al., 2018). Está bien documentado la existencia de dos tipos de COS: el carbono orgánico particulado y el carbono orgánico asociado a minerales (Lavallee et al., 2020). El primero es más susceptible a

la degradación microbiana, mientras que el segundo está fuertemente protegido por las formas minerales del suelo (Cotrufo et al., 2019).

El balance de las reservas de COS está definido por procesos contradictorios (Marek et al., 2020). El primero está relacionado con los aportes de C hacia el suelo, a través de la caída de hojarasca en la superficie, la muerte de las raíces subterráneas (Marek et al., 2020), los exudados radiculares (Marek et al., 2020; Panchal et al., 2022), la PPN, la temperatura y humedad del suelo (Fekete et al., 2017), las reservas de nitrógeno (X. Lu et al., 2021) y los agregados del suelo (Juhos et al., 2021; Vidal et al., 2018). Lo segundo es la liberación del COS hacia la atmósfera en forma de CO₂, debido principalmente a la respiración heterótrofa del edafón del suelo regulados por la temperatura y humedad del suelo (Marek et al., 2020).

Las condiciones climáticas y geográficas específicas de un determinado lugar influyen positivamente en el suministro de COS, por lo general, las reservas de COS aumentan con mayor latitud y altitud debido a las bajas temperaturas que disminuyen su tasa de descomposición (Marek et al., 2020). Por su parte, los exudados radiculares ricos en compuestos orgánicos (azúcares) ayudan a la estabilización de los agregados del suelo (Panchal et al., 2022), facilitando así la protección física dentro de los agregados del suelo (Kaiser y Berhe, 2014) y la protección química mediante las asociaciones con los minerales del suelo (Rasmussen et al., 2018; Sayer et al., 2019).

El resultado medio sobre el COS reportado en el presente estudio es superior a lo informado por Cano-Flores et al. (2020), 84,03 t ha⁻¹ de COS a una profundidad de 20 cm en el ANP El Faro, México y a lo estimado por Avellaneda (2022), 54,37 t ha⁻¹ de COS a una profundidad de 30 cm en el Parque Nacional de Cutervo, Perú. Resulta muy inferior a lo publicado por Canela et al. (2022), 330,4 t ha⁻¹ de COS en los primeros 100 cm para el bosque mesófilo, uno de los tantos ecosistemas presentes en el ANP Sierra de Otontepec, México.

4.1.2. Reserva de carbono en hojarasca

El contenido de C en la de hojarasca se cuantificó en $5,04 \pm 0,53$ t ha⁻¹, los valores estimados oscilaron entre 3,83 y 6,30 t ha⁻¹ (Tabla 7). La Figura 10 muestra los promedios de hojarasca cuantificados por parcela de investigación. La hojarasca presente en los ecosistemas hace referencia al material vegetal muerto presente en la superficie del suelo o al material vegetal muerto que se desprende de un organismo vivo (Krishna y Mohan, 2017). La

generación en cantidad y calidad de hojarasca es importante en la producción de MO y la regulación de procesos fundamentales; en particular, el flujo C (K. Yang et al., 2018).

Tabla 7

Resultados de carbono en hojarasca

Parcela de investigación	Contenido de C en hojarasca (t ha ⁻¹)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P1	4,97	5,37	5,51
P2	5,25	4,96	4,92
P3	4,85	5,05	4,71
P4	5,16	4,50	5,25
P5	3,83	5,06	4,16
P6	4,77	4,88	5,06
P7	4,78	5,38	4,77
P8	5,93	4,80	5,35
P9	4,86	6,30	6,02
P10	4,09	5,64	4,96

Nota. La tabla 7 muestra los contenidos de carbono de las 3 muestras por hectárea.

Tabla 8

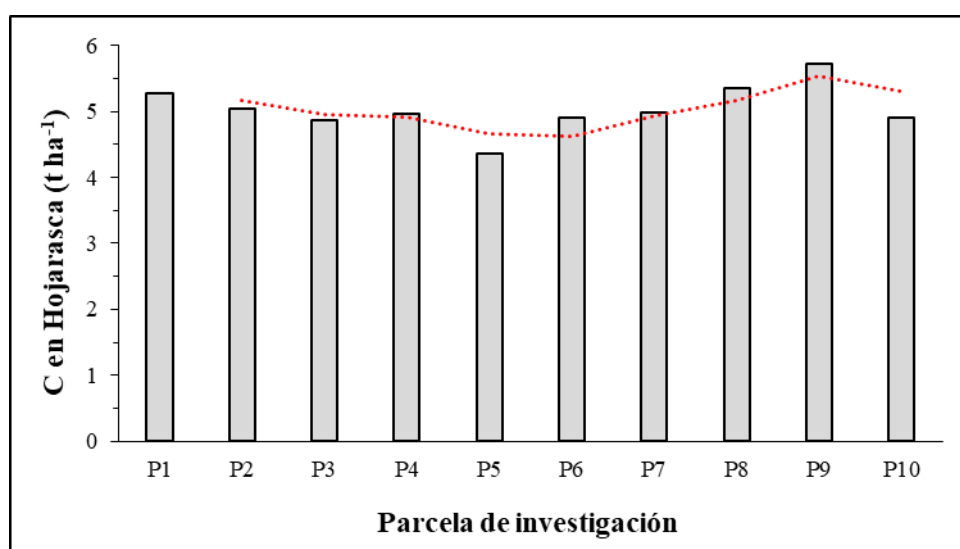
Análisis de varianza para el contenido de carbono en hojarasca

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Parcela de investigación	3,559	9	0,395	1,674	0,161
Error	4,725	20	0,236		
Total	8,284	29			

Nota. La tabla 8, muestra el análisis de varianza resultó estadísticamente no significativo ($p > 0,05$) a una confiabilidad del 95 %. El diseño, ubicación y selección de las 10 parcelas de investigación no influyeron en los resultados de C en la hojarasca.

Figura 10

Reservas de carbono en hojarasca por sitio estudiado



Nota. La figura 10 muestra el promedio de carbono de las 3 muestras de hojarasca por parcela de muestreo.

La descomposición de la hojarasca es regulada por las propiedades del suelo (textura), parámetros meteorológicos (temperatura, precipitación y humedad), composición química de la hojarasca (depende de la vegetación), fauna y microbios del suelo; los cuales, a su vez, están influenciados por el clima y el tipo de bosque. La descomposición de la hojarasca tiene una gran importancia en el funcionamiento de los ecosistemas, resulta una de las principales vías de reciclaje de nutrientes, especialmente C, y de otros elementos del ecosistema (Krishna y Mohan, 2017).

En consecuencia, las reservas de C en hojarasca en los bosques están influenciadas principalmente, por las características climáticas locales (especialmente la temperatura), la altitud de los ecosistemas, las variaciones en los aportes de hojarasca de las comunidades vegetales (fisiología, estado fitosanitario, composición y estructura, edad), la tasa y grado de descomposición de la hojarasca (Schmidt, 2013), que a su vez, dependen del metabolismo de la fauna y microbiota del suelo. El contenido medio de C en hojarasca en el presente estudio resulta superior a lo estimado por Schmidt (2013), en su investigación realizada en el sector Comuñiz de la Reserva Comunal Yánesha, Perú; siendo aquella equivalente a 2,89 t ha⁻¹ (gradiente altitudinal 560 – 820 m s. n. m.), e inferior a las 7,94 t ha⁻¹ encontrado por Avellaneda (2022), en el Parque Nacional de Cutervo.

4.1.3. Reserva de carbono en la biomasa de arbustos y herbáceas

El contenido medio de C en la biomasa arbustiva y herbácea (sotobosque) fue calculado en $1,12 \pm 0,29 \text{ t ha}^{-1}$, oscilando entre 0,62 y $1,50 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 9). La figura 12 muestra los resultados de C en sotobosque cuantificados por parcela de investigación.

Tabla 9

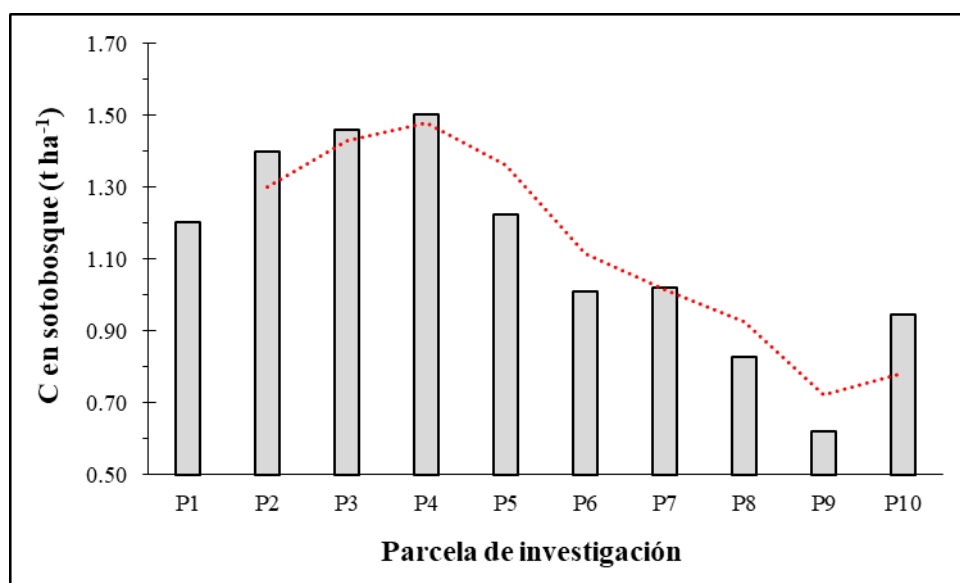
Resultados de carbono en biomasa arbustiva y herbácea

Parcela de investigación	C (%)	Contenido de C en Sotobosque (t ha^{-1})
P1	7,52	1,20
P2	6,99	1,40
P3	8,11	1,46
P4	8,83	1,50
P5	6,11	1,22
P6	7,75	1,01
P7	7,86	1,02
P8	5,92	0,83
P9	5,63	0,62
P10	5,25	0,95

Nota. La tabla 9 indica los porcentajes de carbono, así como el contenido de carbono en el sotobosque por hectárea.

Figura 11

Reservas de carbono en biomasa arbustiva y herbácea por sitio estudiado



Nota. La figura 11 muestra las reservas de carbono en biomasa arbustiva y herbácea por parcela de muestreo.

4.1.4. Reserva de carbono en la biomasa arbórea

4.1.4.1. Carbono almacenado en latizales bajos (> 1 cm Y < 5 cm De DAP)

Los individuos de esta clase diamétrica promediaron $3,13 \pm 1,07$ cm y $2,95 \pm 1,06$ m, de DAP y altura de tallo, respectivamente. El volumen total maderable medio fue cuantificado en $40,73 \pm 30,16$ m³ ha⁻¹, oscilando entre 16,29 y 118,33 m³ ha⁻¹. La biomasa total maderable media resultó en $28,51 \pm 21,12$ t ha⁻¹, la variación osciló entre 11,40 y 82,83 t ha⁻¹. Finalmente, el aporte de latizales bajos a la reserva de C fue estimado en $14,25 \pm 10,56$ t ha⁻¹, fluctuando entre 5,70 y 41,42 t ha⁻¹ (Tabla 10).

Tabla 10

Carbono almacenado en biomasa maderable de latizales bajos (> 1 cm y < 5 cm de DAP)

Parcela de investigación	Volumen total maderable (m³ ha⁻¹)	Biomasa total maderable (t ha⁻¹)	C (t ha⁻¹)
P1	47,31	33,12	16,56
P2	59,00	41,30	20,65
P3	28,80	20,16	10,08
P4	22,11	15,48	7,74
P5	20,30	14,21	7,10
P6	29,44	20,61	10,30
P7	28,69	20,08	10,04
P8	16,29	11,40	5,70
P9	37,02	25,91	12,96
P10	118,33	82,83	41,42

Nota. La tabla 10 muestra el volumen total maderable, la biomasa total maderable y el carbono por hectárea de cada parcela de investigación de latizal bajo.

4.1.4.2. Carbono almacenado en latizales altos (≥ 5 cm Y < 10 cm De DAP)

Los individuos de esta clase diamétrica promediaron $7,14 \pm 1,61$ cm y $4,82 \pm 1,63$ m, de DAP y altura de tallo, respectivamente. El volumen total maderable medio fue cuantificado en $63,87 \pm 23,79$ m³ ha⁻¹, oscilando entre 36,22 y 101,21 m³ ha⁻¹. La biomasa total maderable media resultó en $44,71 \pm 16,65$ t ha⁻¹, la variación osciló entre 25,35 y 70,85 t ha⁻¹. Finalmente, el aporte de latizales altos a la reserva de C fue estimado en $22,35 \pm 8,33$ t ha⁻¹, fluctuando entre 12,68 y 35,42 t ha⁻¹ (Tabla 11).

Tabla 11

Carbono almacenado en biomasa maderable de latizales altos (> 5 cm y < 10 cm de DAP)

Parcela de investigación	Volumen total maderable (m³ ha⁻¹)	Biomasa total maderable (t ha⁻¹)	C (t ha⁻¹)
P1	47,58	33,31	16,65
P2	36,22	25,35	12,68
P3	45,16	31,61	15,81
P4	49,42	34,59	17,30
P5	49,96	34,97	17,49
P6	73,65	51,56	25,78
P7	101,21	70,85	35,42
P8	97,94	68,56	34,28
P9	51,24	35,87	17,93
P10	86,27	60,39	30,20

Nota. La tabla 11 muestra el volumen total maderable, la biomasa total maderable y el carbono por hectárea de cada parcela de investigación de latizal alto.

4.1.4.3. Carbono almacenado en fustales (≥ 10 cm De DAP)

Los individuos de esta clase diamétrica promediaron $19,16 \pm 4,80$ cm y $5,46 \pm 1,80$ m, de DAP y altura comercial, respectivamente. El volumen total maderable medio fue cuantificado en $334,76 \pm 129,50$ m³ ha⁻¹, oscilando entre 193,30 y 600,32 m³ ha⁻¹. La biomasa total maderable media resultó en $234,33 \pm 90,65$ t ha⁻¹, la variación osciló entre 135,31 y 420,22 t ha⁻¹. Finalmente, el aporte de fustales a la reserva de C fue estimado en $117,17 \pm 45,33$ t ha⁻¹, fluctuando entre 67,65 y 210,11 t ha⁻¹.

Tabla 12*Carbono almacenado en biomasa maderable de fustales (≥ 10 cm de DAP)*

Parcela de investigación	Volumen total maderable ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Biomasa total maderable (t ha^{-1})	C (t ha^{-1})
P1	226,30	158,41	79,21
P2	225,17	157,62	78,81
P3	199,08	139,35	69,68
P4	193,30	135,31	67,65
P5	333,00	233,10	116,55
P6	383,52	268,46	134,23
P7	362,60	253,82	126,91
P8	600,32	420,22	210,11
P9	372,92	261,04	130,52
P10	451,42	315,99	158,00

Nota. La tabla 12 muestra el volumen total maderable, la biomasa total maderable y el carbono por hectárea de cada parcela de investigación de fustales.

4.1.4.4. Carbono almacenado en árboles maduros (≥ 30 cm De DAP)

Los individuos de esta clase diamétrica promediaron $49,55 \pm 20,94$ cm y $8,22 \pm 2,07$ m, de DAP y altura comercial, respectivamente. El volumen total maderable medio fue cuantificado en $3\,283,76 \pm 1\,327,64 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, oscilando entre $1\,963,00$ y $5\,795,24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. La biomasa total maderable media resultó en $2\,298,63 \pm 929,34 \text{ t ha}^{-1}$, la variación osciló entre $1\,374,10$ y $4\,056,67 \text{ t ha}^{-1}$. Finalmente, el aporte de los árboles maduros a la reserva de C fue estimado en $1\,149,32 \pm 464,67 \text{ t ha}^{-1}$, fluctuando entre $687,05$ y $2\,028,33 \text{ t ha}^{-1}$.

Tabla 13*Carbono almacenado en biomasa maderable de árboles maduros (≥ 30 cm de DAP)*

Parcela de investigación	Volumen total maderable ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Biomasa total maderable (t ha^{-1})	C (t ha^{-1})
P1	2 211,84	1 548,29	774,14
P2	1 963,00	1 374,10	687,05
P3	4 974,11	3 481,87	1 740,94
P4	2 267,64	1 587,35	793,67
P5	3 925,84	2 748,09	1 374,04
P6	2 607,45	1 825,22	912,61
P7	5 795,24	4 056,67	2 028,33
P8	2 800,14	1 960,10	980,05
P9	2 243,03	1 570,12	785,06
P10	4 049,37	2 834,56	1 417,28

Nota. La tabla 13 muestra el volumen total maderable, la biomasa total maderable y el carbono por hectárea de cada parcela de investigación de árboles maduros.

4.1.5. Reserva total de carbono en el bosque basimontano de yunga

Las reservas totales de C fluctuaron entre 952,56 y 2 272,27 t ha^{-1} (Tabla 14), correspondiendo a la biomasa arbórea como el mayor sumidero. Finalmente, el bosque basimontano de yunga presente en la RCTUN almacenó $1\,405,55 \pm 474,21 \text{ t ha}^{-1}$ de C, donde más del 90 % se atribuye a la biomasa arbórea (principalmente a la biomasa de árboles maduros), más del 6 % corresponden a los aportes del suelo y menos del 1 % en hojarasca y sotobosque (Tabla 15).

Tabla 14

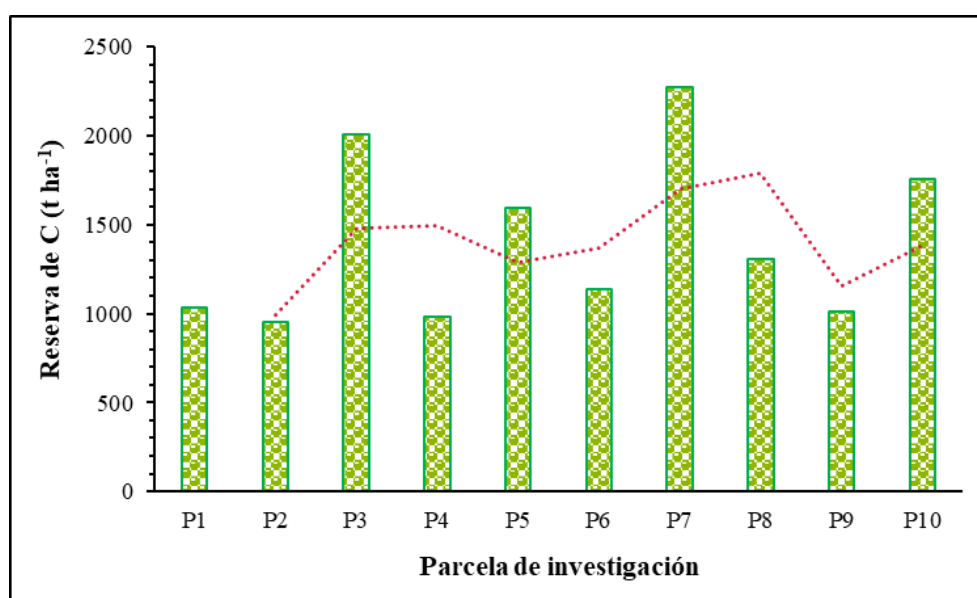
Reservas totales de carbono por componente y sitio estudiado

Parcela de investigación	Almacenamiento de C (t ha ⁻¹)				Reserva total de C (t ha ⁻¹)
	Suelo	Hojarasca	Sotobosque	Biomasa arbórea	
P1	141,94	5,28	1,20	886,56	1034,98
P2	146,93	5,04	1,40	799,18	952,56
P3	161,16	4,87	1,46	1836,50	2003,99
P4	93,00	4,97	1,50	886,36	985,83
P5	76,83	4,35	1,22	1515,18	1597,58
P6	47,36	4,90	1,01	1082,92	1136,19
P7	65,56	4,97	1,02	2200,71	2272,27
P8	66,80	5,36	0,83	1230,14	1303,13
P9	60,82	5,73	0,62	946,47	1013,63
P10	102,60	4,90	0,95	1646,89	1755,33

Nota. La tabla 14 muestra los valores de almacenamiento de C/Tn/ha de cada sumidero por parcela de investigación; así como la reserva total de carbono de éstas.

Figura 12

Reservas totales de carbono por sitio estudiado



Nota. La figura 12 muestra las reservas totales de carbono en toneladas por hectáreas por hectárea de cada parcela de investigación.

Tabla 15

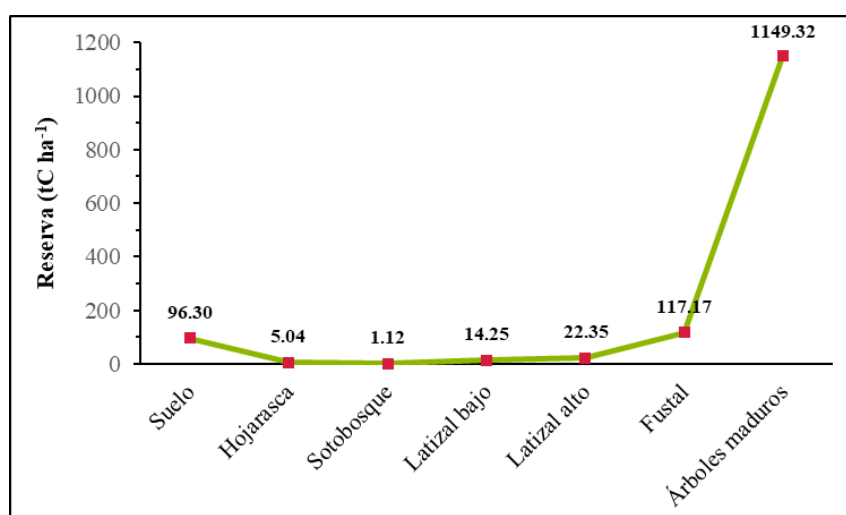
Reserva total de carbono en el bosque basimontano de yunga

Sumidero	Reserva de C (t ha ⁻¹)	Contribución (%)
Suelo	96,30	6,85
Hojarasca	5,04	0,36
Sotobosque	1,12	0,08
Biomasa arbórea*	1303,09	92,71
<i>Latizal bajo (> 1cm y < 5 cm de DAP)</i>	14,25	1,01
<i>Latizal alto (> 5cm y < 10 cm de DAP)</i>	22,35	1,59
<i>Fustal (≥ 10 cm de DAP)</i>	117,17	8,34
<i>Árboles maduros (≥ 30 cm de DAP)</i>	1149,32	81,77
Total	1405,55	100,00

Nota. La tabla 15, muestra el C almacenado por la biomasa arbórea la cual incluye en su estimación el volumen maderable por debajo y sobre el suelo.

Figura 13

Reserva de carbono por sumidero en el bosque basimontano de yunga



Nota. La figura muestra las reservas de carbono total cuantificado en toneladas por hectárea de cada sumidero del bosque basimontano de yunga.

Tabla 16

Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para el carbono almacenado en la biomasa de árboles maduros

Variable	Estadístico	gl	p
C arbóreo (≥ 30 cm de DAP)	0,251	77	0,000*

Nota. Los resultados obtenidos para el C arbóreo en los 10 sitios estudiados no se ajustan a una distribución normal ($p < 0,05$) a un nivel de confianza del 95 %.

Otros factores de interés son los relacionados con las características dendrométricas, en particular, el DAP y la altura. Se correlacionaron las variables de DAP y altura comercial con el C almacenado en la biomasa maderable de árboles maduros (≥ 30 cm de DAP), la prueba resultó significativa ($p < 0,01$) y positiva para ambas variables; lo que indica una asociación lineal favorable desde el DAP y la altura comercial en la asignación del C a la biomasa. Para Afzal y Akhtar (2013), el DAP y la altura tienen efecto significativo sobre el C arbóreo; sin embargo, el DAP resulta ser el factor más determinante y significativo en la captura de C, por lo tanto, establecieron que la biomasa arbórea es principalmente una función del DAP.

Tabla 17

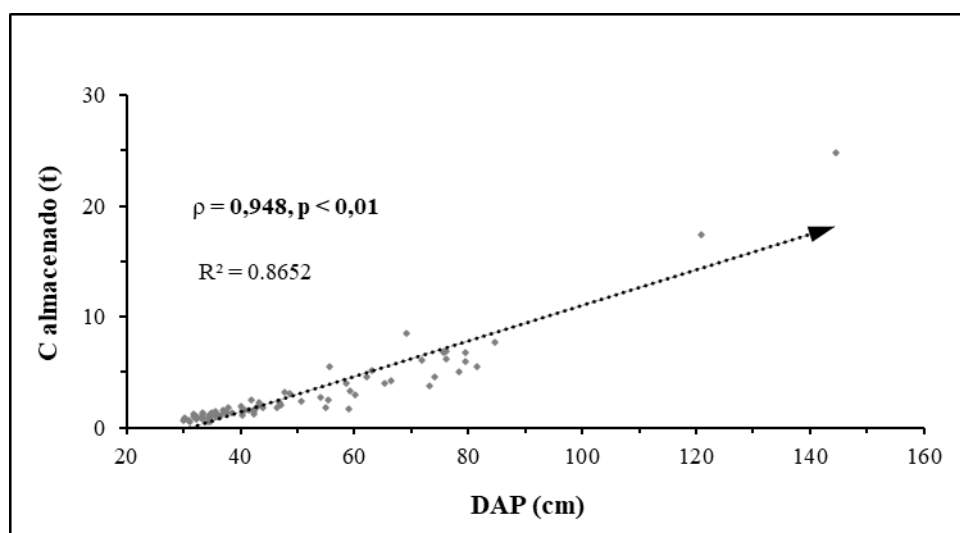
Correlación de Spearman entre el carbono arbóreo, el DAP y la altura comercial en árboles maduros

Variables	N	ρ	p	R ²
C arbóreo – DAP	77	0,948	0,000**	0,8652
C arbóreo – Hc	77	0,580	0,000**	0,1525

Nota. Existe efecto significativo ($p < 0,01$) del DAP y la altura comercial sobre las reservas de C en la biomasa de árboles maduros. Sin embargo, la contribución del DAP es de 86,52 % ($R^2 = 0,8652$) al secuestro de C, contra el 15,25 % ($R^2 = 0,1525$) de la altura comercial.

Figura 14

Dispersión entre el carbono de la biomasa de árboles maduros y el DAP



Nota. La figura muestra la existencia de una relación positiva fuerte entre el DAP y el C almacenado, lo que quiere decir que a mayor DAP mayor la capacidad de almacenamiento de carbono.

4.2. Discusiones

Los resultados revelaron que el mayor almacenamiento de carbono se encuentra en la biomasa arbórea, representando aproximadamente el 92,71 % del total, con un promedio de $1,303,09 \pm 475,57 \text{ tC ha}^{-1}$. Este hallazgo concuerda con estudios realizados en otros bosques tropicales, donde la biomasa arbórea constituye la mayor parte de las reservas de carbono debido a la alta densidad y el volumen de los árboles maduros (Avitabile et al., 2016; Pan et al., 2011). Por otro lado, el carbono almacenado en el suelo (6,85 %) también es significativo, ya que el suelo actúa como un reservorio a largo plazo para el carbono orgánico, aunque en menor proporción comparado con la biomasa aérea.

El bosque basimontano de yunga, con su extensión de 83 386,64 ha y su capacidad de almacenamiento de $1\,405,55 \text{ t ha}^{-1}$, contribuye a mitigar 117,2 millones de toneladas de

carbono, lo que representa aproximadamente el 0,2 % de las 57,1 gigatoneladas de emisiones de GEI registradas en 2023 (UNEP, 2024).

Un aspecto interesante fue la baja proporción de carbono almacenado en hojarasca (0,36 %) y sotobosque (0,08 %). Esto podría deberse a la dinámica rápida de descomposición en estos componentes, lo cual es característico de los bosques tropicales debido a las altas temperaturas y precipitaciones que aceleran la mineralización de la materia orgánica (Viswanath y Sandeep, 2018).

Los datos obtenidos muestran un rango amplio de almacenamiento de carbono, que varía entre un mínimo de 952,56 tC ha⁻¹ y un máximo de 2272,27 tC ha⁻¹, con una media de 1405,55 tC ha⁻¹. La desviación estándar es de 474,21 tC ha⁻¹, lo que indica una considerable variabilidad en los valores de carbono almacenado entre las parcelas.

Este nivel de variabilidad es consistente con estudios realizados en bosques tropicales y subtropicales, donde se ha demostrado que el almacenamiento de carbono puede ser altamente heterogéneo debido a diferencias en la composición del suelo, la estructura forestal y la influencia de microclimas locales (Malhi et al., 2009; Brown et al., 2020). En particular, en los bosques basimontanos de yunga, factores como la pendiente, la profundidad del suelo y la dinámica de la materia orgánica desempeñan un papel crucial en la distribución del carbono almacenado.

La media reportada de 1405,55 tC ha⁻¹ se encuentra dentro de los rangos esperados para ecosistemas forestales densos y bien conservados. Por ejemplo, un estudio de Zhang et al. (2016) en bosques tropicales encontró valores promedio de almacenamiento de carbono entre 1200 y 1600 tC ha⁻¹, dependiendo de las condiciones específicas del sitio y el manejo forestal.

La desviación estándar alta puede estar asociada con parcelas que presentan características particulares, como una mayor densidad de especies arbóreas de rápido crecimiento o suelos con mayor capacidad de acumulación de materia orgánica. Estos resultados destacan la importancia de realizar un análisis detallado de cada parcela para identificar los factores que influyen en esta variabilidad.

Los resultados indican que el bosque basimontano de yunga presente en la RCTUN representa un importante sumidero, mediante el secuestro de C atmosférico y su almacenamiento en el suelo, la hojarasca, la biomasa arbórea, arbustiva y herbácea; por lo

tanto, desempeña un rol vital en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, las reservas de C en los bosques tropicales están asociadas positiva y negativamente a factores abióticos y bióticos. Los factores abióticos resultan de la influencia de: la variabilidad climática (temperatura y precipitación), la topografía (pendiente y altitud) y las características del suelo (pH, humedad, densidad aparente y textura). Mientras que, los factores bióticos son consecuencia de: la riqueza de especies (diversidad arbórea), características del dosel (cubierta de copas), número de individuos por unidad de superficie (densidad) y las actividades humanas en los bosques (perturbación antropogénica) (Saimun et al., 2021).

Estudios anteriores han demostrado la existencia de una asociación positiva significativa de la temperatura y precipitación sobre el almacenamiento de C en la biomasa arbórea (Khaine et al., 2017; Taylor et al., 2017). Esto se debe a que, los factores climáticos influyen en la tasa de fotosíntesis, afectando finalmente a la acumulación de biomasa arbórea (Khan et al., 2019). Sin embargo, otro estudio informó que la temperatura y precipitación no presentó asociación significativa sobre las reservas de C arbóreo, aunque sí mostraron gradientes significativos entre áreas de estudio (Saimun et al., 2021). Por su parte, la pendiente y la altitud influyen en el patrón de distribución de especies arbóreas, inciden sobre la biomasa debido a la competencia por los recursos y se correlacionan positivamente sobre el almacenamiento de C arbóreo (Saimun et al., 2021); es decir, las reservas de C se incrementan gradualmente con el aumento de la pendiente y la altitud (Gebeyehu et al., 2019; Pragasan, 2020). Otras investigaciones reportaron asociación negativa (Mensah et al., 2016) y sin relación (Sharma y Kakchapati, 2018).

Investigaciones pasadas informaron la asociación positiva entre la diversidad arbórea y la acumulación de C en la biomasa (Mensah et al., 2016; Saimun et al., 2021), se tiene el conocimiento que una mayor riqueza de especies generará una mayor producción de biomasa (Mensah et al., 2016). En cuanto a las características del dosel, se han mostrado resultados de asociación lineal positiva con los stocks de C arbóreo (Gebeyehu et al., 2019; Saimun et al., 2021); se planteó que, los doseles densos favorecen el incremento de biomasa aérea y por lo tanto, el aumento del C en los árboles (Karlson et al., 2015). También, se ha publicado los resultados de asociación positiva entre la densidad de individuos y las reservas de C arbóreo, a mayor número de individuos arbóreos presentes en una determinada área, más biomasa genera, lo que se traduce en un mayor almacenamiento de C y este patrón se sigue hasta cierto punto dependiendo del tipo de bosque y de las características de las especies (Meakem et al., 2017).

Las actividades humanas de aprovechamiento de los productos forestales maderables disminuyen la producción de biomasa aérea en los bosques tropicales (Gebeyehu et al., 2019; Sapkota et al., 2019); en consecuencia, inciden negativamente sobre las reservas de C (Cai y Chang, 2020). Se ha puesto de manifiesto que, los ecosistemas forestales perturbados por acción antrópica almacenan menos C que aquellos que no lo están, debido a la pérdida de biodiversidad (Muhati et al., 2018; Tarus y Nadir, 2020).

La reserva promedio de C sobre el suelo de todos los bosques peruanos ha sido cuantificada en $99,3 \text{ t ha}^{-1}$, con un máximo de $167,6 \text{ t ha}^{-1}$; para el caso de las ANP lo máximo estimado es de $119,2 \pm 17,5 \text{ t ha}^{-1}$ de C sobre el suelo, el caso particular de los bosques presentes en la RCTUN albergaron $97,5 \text{ t ha}^{-1}$ de C sobre el suelo (Carnegie Institution for Science y MINAM, 2014). Por lo tanto, los resultados obtenidos en el presente estudio son significativamente superiores. También, resulta superior a lo informado por Fragoso-López et al. (2017), $105,72 \text{ t ha}^{-1}$ de C sobre el suelo de un ANP en México; Saimun et al. (2021), reportó 150 y $188,7 \text{ t ha}^{-1}$ de C en dos zonas con estatus de ANP en Bangladés; y superior a las $749,71 \text{ t ha}^{-1}$ de C en el bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo, Perú, estimado por Avellaneda (2022). La variabilidad de resultados posiblemente sea consecuencia de la ubicación geográfica de las ANP, las características de clima y suelo; diversidad de especies, densidad arbórea y el grado de perturbación antropogénica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La reserva de carbono orgánico del suelo (COS) en el bosque basimontano de yunga de la RCTUN fue cuantificada en $96,30 \text{ t ha}^{-1}$, oscilando entre $47,36$ y $161,16 \text{ t ha}^{-1}$. Este valor representa el 6.85 % del total de reserva de carbono del ecosistema; mientras que la reserva de Carbono en hojarasca fue estimada en $5,04 \text{ t ha}^{-1}$, fluctuando entre $4,35$ y $5,73 \text{ t ha}^{-1}$ representando el 0.36% del total de reserva de carbono; en la biomasa arbustiva y herbácea (sotobosque) fue calculada en $1,12 \text{ t ha}^{-1}$, la variabilidad se registró entre $0,62$ y $1,50 \text{ t ha}^{-1}$ que representa el 0.08% de la reserva total de carbono y para la biomasa maderable arbórea por debajo y sobre el suelo fue cuantificada en $1\,303,09 \text{ t ha}^{-1}$, oscilando entre $799,18$ y $2\,200,71 \text{ t ha}^{-1}$, distribuidos en los siguientes sumideros: $14,25 \text{ t ha}^{-1}$ en la biomasa de latizales bajos ($> 1 \text{ cm}$ y $< 5 \text{ cm}$ de DAP); $22,35 \text{ t ha}^{-1}$ en la biomasa de latizales altos ($> 5 \text{ cm}$ y $< 10 \text{ cm}$ de DAP); $117,17 \text{ t ha}^{-1}$ en la biomasa de fustales ($\geq 10 \text{ cm}$ de DAP) y $1\,149,32 \text{ t ha}^{-1}$ en la biomasa de árboles maduros ($\geq 30 \text{ cm}$ de DAP), en cual representa el 92.71% del total de la reserva de carbono.

La reserva total de carbono en el bosque Basimontano de yunga de la RCTUN fue cuantificado en $1\,405,55 \text{ t ha}^{-1}$, la cual desempeña un rol importante en el suministro de bienes y servicios ecosistémicos, en particular, la captura y almacenamiento de C atmosférico en la biomasa por encima y debajo del suelo, la necromasa, hojarasca y el suelo; a fin de contribuir en la mitigación de los efectos del cambio climático, garantizando la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano.

5.2. Recomendaciones

Los resultados obtenidos permitirán como base para los formuladores de políticas y tomadores de decisiones diseñen estrategias que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático, promoviendo al mismo tiempo la integración de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos clave (como el secuestro de carbono) y las actividades humanas, en busca de un equilibrio entre conservación y desarrollo sostenible. Se recomienda que las investigaciones futuras relacionadas con el secuestro biológico de carbono atmosférico, deben previamente

estratificar las zonas de muestreo e integrar variables como: la diversidad de especies, clima, altitud, características del suelo y perturbación antropogénicas.

Además, se destaca que la eficacia de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) depende de una planificación orientada y de cooperación multidisciplinarias e innovadora de los grupos sociales, como los residentes cercanos, las administraciones locales, las empresas y la comunidad científica, para garantizar el compromiso a largo plazo con la protección del medio ambiente.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afzal, M., y Akhtar, A. M. (2013). Factors affecting carbon sequestration in trees. *Journal of Agricultural Research*, 51(1), 61–69.
- Ahkami, A. H., White III, R. A., Handakumbura, P. P., y Jansson, C. (2017). Rhizosphere engineering: Enhancing sustainable plant ecosystem productivity. *Rhizosphere*, 3, 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.04.012>
- Alamgir, M., Campbell, M. J., Turton, S. M., Pert, P. L., Edwards, W., y Laurance, W. F. (2016). Degraded tropical rain forests possess valuable carbon storage opportunities in a complex, forested landscape. *Scientific Reports*, 6(30012), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep30012>
- Avellaneda Alarcón, S. M. (2022). *Captura de carbono de un bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo - Cajamarca, como mitigación frente al cambio climático* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5243>
- Avitabile, V., Herold, M., Heuvelink, G. B. M., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Asner, G. P., Armston, J., Ashton, P. S., Banin, L., Bayol, N., Berry, N. J., Boeckx, P., de Jong, B. H. J., DeVries, B., Girardin, C. A. J., Kearsley, E., Lindsell, J. A., Lopez-Gonzalez, G., Lucas, R., Willcock, S. (2016). An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Global Change Biology*, 22(4), 1406–1420. <https://doi.org/10.1111/gcb.13139>
- Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., y Houghton, R. A. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360). <https://doi.org/10.1126/science.aam5962>
- Bebber, D. P., y Butt, N. (2017). Tropical protected areas reduced deforestation carbon emissions by one third from 2000–2012. *Scientific Reports*, 7(14005), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14467-w>
- Beer, C., Reichstein, M., Tomelleri, E., Ciais, P., Jung, M., Carvalhais, N., Rödenbeck, C., Arain, M. A., Baldocchi, D., Bonan, G. B., Bondeau, A., Cescatti, A., Lasslop, G.,

- Lindroth, A., Lomas, M., Luyssaert, S., Margolis, H., Oleson, K. W., Roupsard, O., ... Papale, D. (2010). Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. *Science*, 329(5993), 834–838. <https://doi.org/10.1126/science.1184984>
- Beltrán, J. (2018). Propiedades físicas de los suelos, un recurso natural prestador de servicios biológicos y ambientales. *Biological Research*. <https://www.researchgate.net/publication/323906391>
- Berrou, A., Raybaut, M., Godard, A., y Lefebvre, M. (2010). High-resolution photoacoustic and direct absorption spectroscopy of main greenhouse gases by use of a pulsed entangled cavity doubly resonant OPO. *Applied Physics B*, 98, 217–230. <https://doi.org/10.1007/s00340-009-3710-x>
- Bezner Kerr, R., Hasegawa, T., Lasco, R., Bhatt, I., Deryng, D., Farrell, A., Gurney-Smith, H., Ju, H., Lluch-Cota, S., Meza, F., Nelson, G., Neufeldt, H., y Thornton, P. (2022). Food, fibre, and other ecosystem products. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 713–906). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.007>
- Birkmann, J., Liwenga, E., Pandey, R., Boyd, E., Djalante, R., Gemenne, F., Leal Filho, W., Pinho, P. F., Stringer, L., y Wrathall, D. (2022). Poverty, livelihoods and sustainable development. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1171–1274). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.010>
- Broadstock, D., Ji, Q., Managi, S., y Zhang, D. (2021). Pathways to carbon neutrality: challenges and opportunities. *Resources, Conservation & Recycling*, 169, 105472. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105472>

- Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., Lyver, P. O., Meurisse, N., Oxbrough, A., Taki, H., Thompson, I. D., van der Plas, F., y Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26, 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
- Brown, I. F., et al. (2020). The role of tropical forests in the carbon cycle. *Forest Ecology and Management*, 459, 117815.
- Bruhwiller, L., Michalak, A. M., Birdsey, R., Fisher, J. B., Houghton, R. A., Huntzinger, D. N., & Miller, J. B. (2018). Overview of the global carbon cycle. En N. Cavallaro, G. Shrestha, R. Birdsey, M. A. Mayes, R. G. Najjar, S. C. Reed, P. Romero-Lankao, y Z. Zhu (Eds.), *Second State of the Carbon Cycle Report (SOCCR2): A Sustained Assessment Report* (pp. 42–70). U.S. Global Change Research Program. <https://doi.org/https://doi.org/10.7930/SOCCR2.2018.Ch1>
- Cai, Y., y Chang, S. X. (2020). Disturbance effects on soil carbon and greenhouse gas emissions in forest ecosystems. *Forests*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/f11030297>
- Canadell, J. G., Monteiro, P. M. S., Costa, M. H., da Cunha, L. C., Cox, P. M., Eliseev, A. V., Henson, S., Ishii, M., Jaccard, S., Koven, C., Lohila, A., Patra, P. K., Piao, S., Rogelj, J., Syampungani, S., Zaehle, S., y Zickfeld, K. (2021). Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, y B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 673–816). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>
- Cancela, G. M., Chagoya-Fuentes, J. L., Rodríguez, R., y Alanís-Méndez, J. L. (2022). Contenido de carbono orgánico en suelos del Área Natural Protegida Sierra de Otontepec. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 10(1), 28–40. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i1.394>
- Cano-Flores, O., Vela-Correa, G., Acevedo-Sandoval, O. A., y Valera-Pérez, M. Á. (2020).

- Concentraciones de carbono orgánico en el arbolado y suelos del área natural protegida El Faro en Tlalmanalco, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 895–905. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.757>
- Caretta, M. A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R. A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, T. K., Liu, J., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwanga, S., y Supratid, S. (2022). Water. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 551–712). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>
- Carnegie Institution for Science, y Ministerio Nacional del Ambiente. (2014). *La geografía del carbono en alta resolución del Perú. Un informe conjunto del Observatorio Aéreo Carnegie y el Ministerio del Ambiente del Perú*. MINAM.
- Carrenho, R., y Krzyzanski, H. de C. (2020). Soil carbon sequestration and carbon flux under warming climate. En M. N. V. Prasad y M. Pietrzykowski (Eds.), *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 769–794). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00027-8>
- Asociación CarbonFix Standard. (2009). *Criteria y Methodology*.
- Chalbot, M.-C., y Kavouras, I. (2020). Environmental solution-state NMR spectroscopy: Recent advances, potential, and impacts. En R. M. B. O. Duarte & A. C. Duarte (Eds.), *Multidimensional Analytical Techniques in Environmental Research* (pp. 27–55). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818896-5.00002-8>
- Ciais, P., Tan, J., Wang, X., Roedenbeck, C., Chevallier, F., Piao, S.-L., Moriarty, R., Broquet, G., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Peng, S., Poulter, B., Liu, Z., y Tans, P. (2019). Five decades of northern land carbon uptake revealed by the interhemispheric CO₂ gradient. *Nature*, 568, 221–225. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1078-6>
- Cissé, G., McLeman, R., Adams, H., Aldunce, P., Bowen, K., Campbell-Lendrum, D., Clayton, S., Ebi, K. L., Hess, J., Huang, C., Liu, Q., McGregor, G., Semenza, J., y Tirado, M. C.

- (2022). Health, wellbeing, and the changing structure of communities. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1041–1170). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.009>
- Cooley, S., Schoeman, D., Bopp, L., Boyd, P., Donner, S., Ghebrehiwet, D. Y., Ito, S.-I., Kiessling, W., Martinetto, P., Ojea, E., Racault, M.-F., Rost, B., y Skern-Mauritzen, M. (2022). Oceans and coastal ecosystems and their services. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 379–550). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.005>
- Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., y Lugato, E. (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience*, 12, 989–994. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>
- Cuellar, J., Salazar, E., y Dietz, J. (2015). *Patrón de cambios del carbono almacenado en el ecosistema debido al cambio de uso del bosque tropical en la Cuenca de Aguaytía, Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- Dinerstein, E., Vynne, C., Sala, E., Joshi, A. R., Fernando, S., Lovejoy, T. E., Mayorga, J., Olson, D., Asner, G. P., Baillie, J. E. M., Burgess, N. D., Burkart, K., Noss, R. F., Zhang, Y. P., Baccini, A., Birch, T., Hahn, N., Joppa, L. N., y Wikramanayake, E. (2019). A global deal for nature: guiding principles, milestones, and targets. *Science Advances*, 5(4), 1–18. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw2869>
- Dodman, D., Hayward, B., Pelling, M., Castan Broto, V., Chow, W., Chu, E., Dawson, R., Khirfan, L., McPhearson, T., Prakash, A., Zheng, Y., y Ziervogel, G. (2022). Cities, settlements and key infrastructure. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and*

Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 907–1040). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.008>

Duncanson, L., Liang, M., Leitold, V., Armston, J., Moorthy, S. M. K., Dubayah, R., Costedoat, S., Enquist, B. J., Fatoyinbo, L., Goetz, S. J., Gonzalez-Roglich, M., Merow, C., Roehrdanz, P. R., Tabor, K., y Zvoleff, A. (2023). The effectiveness of global protected areas for climate change mitigation. *Nature Communications*, 14(2908), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38073-9>

Food and Agriculture Organization. (2021). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825es>

Food and Agriculture Organization. (2022). *El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles*. FAO. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb9360es>

Fekete, I., Lajtha, K., Kotrocó, Z., Várbiro, G., Varga, C., Tóth, J. A., Demeter, I., Veperdi, G., y Berki, I. (2017). Long-term effects of climate change on carbon storage and tree species composition in a dry deciduous forest. *Global Change Biology*, 23(8), 3154–3168. <https://doi.org/10.1111/gcb.13669>

Fletcher, W. D., y Smith, C. B. (2020). How do we know global warming is real? En *Reaching Net Zero: What It Takes to Solve the Global Climate Crisis* (pp. 39–60). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823366-5.00005-1>

Fragoso-López, P. I., Rodríguez-Laguna, R., Otazo-Sánchez, E. M., González-Ramírez, C. A., Valdéz-Lazalde, J. R., Cortés-Blobaum, H. J., y Razo-Zárate, R. (2017). Carbon sequestration in protected areas: a case study of an *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et Cham forest. *Forests*, 8(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/f8110429>

Friedlingstein, P., Jones, M. W., O’Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Le Quéré, C., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., Bates, N. R., Becker, M., Bellouin, N., ... Zeng, J. (2021). Global Carbon Budget 2021. *Earth System Science Data*. [https://doi.org/\[preprint\]](https://doi.org/[preprint]), <https://doi.org/10.5194/essd-2021-386>, in review

- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Bakker, D. C. E., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Anthoni, P., Barbero, L., Bastos, A., Bastrikov, V., Becker, M., ... Wiltshire, A. J. (2019). Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11(4), 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Gregor, L., Hauck, J., Le Quéré, C., Lujckx, I. T., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Alkama, R., ... Zheng, B. (2022). Global Carbon Budget 2022. *Earth System Science Data*, 14, 4811–4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S., Aragão, L. E. O. C., Arneeth, A., Arora, V., Bates, N. R., ... Zaehle, S. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269–3340. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
- Gebeyehu, G., Soromessa, T., Bekele, T., y Teketay, D. (2019). Carbon stocks and factors affecting their storage in dry Afromontane forests of Awi Zone, northwestern Ethiopia. *Journal of Ecology and Environment*, 43(7). <https://doi.org/10.1186/s41610-019-0105-8>
- Grace, J., Mitchard, E., y Gloor, E. (2014). Perturbations in the carbon budget of the tropics. *Global Change Biology*, 20(10), 3238–3255. <https://doi.org/10.1111/gcb.12600>
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V, Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., ... Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *PNAS*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Gruber, N., Clement, D., Carter, B. R., Feely, R. A., VanHeuven, S., Hoppema, M., Ishii, M., Key, R. M., Kozyr, A., Lauvset, S. K., Lo Monaco, C., Mathis, J. T., Murata, A., Olsen, A., Perez, F. F., Sabine, C. L., Tanhua, T., y Wanninkhof, R. (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science*, 363(6432), 1193–1199.

<https://doi.org/10.1126/science.aau5153>

- Gulev, S. K., Thorne, P. W., Ahn, J., Dentener, F. J., Domingues, C. M., Gerland, S., Gong, D., Kaufman, D. S., Nnamchi, H. C., Quaas, J., Rivera, J. A., Sathyendranath, S., Smith, S. L., Trewin, B., von Schuckmann, K., y Vose, R. S. (2021). Changing state of the climate system. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, y B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 287–422). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.004.288>
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., de Bruin, S., Farina, M., Fatoyinbo, L., Hansen, M. C., Herold, M., Houghton, R. A., Potapov, P. V., Suarez, D. R., Roman-Cuesta, R. M., Saatchi, S. S., Slay, C. M., Turubanova, S. A., y Tyukavina, A. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11, 234–240. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>
- Hawkins, E., Frame, D., Harrington, L., Joshi, M., King, A., Rojas, M., y Sutton, R. (2020). Observed emergence of the climate change signal: From the familiar to the unknown. *Geophysical Research Letters*, 47(6), 1–10. <https://doi.org/10.1029/2019GL086259>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Horwath, W. R., y Kuzyakov, Y. (2018). The potential for soils to mitigate climate change through carbon sequestration. En W. R. Horwath & Y. Kuzyakov (Eds.), *Developments in Soil Science: Climate Change Impacts on Soil Processes and Ecosystem Properties* (pp. 61–92). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63865-6.00003-X>
- Hu, Y., Zhang, Q., Hu, S., Xiao, G., Chen, X., Wang, J., Qi, Y., Zhang, L., y Han, L. (2022). Research progress and prospects of ecosystem carbon sequestration under climate change (1992–2022). *Ecological Indicators*, 145, 109656. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109656>

- Huang, Y., Chen, Y., Castro-Izaguirre, N., Baruffol, M., Brezzi, M., Lang, A., Li, Y., Härdtle, W., von Oheimb, G., Yang, X., Liu, X., Pei, K., Both, S., Yang, B., Eichenberg, D., Assmann, T., Bauhus, J., Behrens, T., Buscot, F., ... Schmid, B. (2018). Impacts of species richness on productivity in a large-scale subtropical forest experiment. *Science*, 362, 80–83. <https://doi.org/10.1126/science.aat6405>
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2021). Annex VII: Glossary. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, y B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 2215–2256). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.022>
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2022). Annex II: Glossary. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 2897–2930). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.029>
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2023a). Annex I: Glossary. En Core Writing Team, H. Lee, y J. Romero (Eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 119–130). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.002>
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2023b). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero (eds.)). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jalota, S. K., Vashisht, B. B., Sharma, S., y Kaur, S. (2018). Emission of greenhouse gases and their warming effect. En *Understanding Climate Change Impacts on Crop Productivity and Water Balance* (pp. 1–53). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12->

- Jia, G., Shevliakova, E., Artaxo, P., De Noblet-Ducoudré, N., Houghton, R., House, J., Kitajima, K., Lennard, C., Popp, A., Sirin, A., Sukumar, R., y Verchot, L. (2019). Land–climate interactions. En *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 131–248). <https://doi.org/10.1017/9781009157988.004>
- Johansson, R., Meyer, S., Whistance, J., Thompson, W., y Debnath, D. (2020). Greenhouse gas emission reduction and cost from the United States biofuels mandate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109513. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109513>
- Juhos, K., Madarász, B., Kotrocó, Z., Béni, Á., Makádi, M., y Fekete, I. (2021). Carbon sequestration of forest soils is reflected by changes in physicochemical soil indicators — A comprehensive discussion of a long-term experiment on a detritus manipulation. *Geoderma*, 385, 114918. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114918>
- Jung, M., Arnell, A., de Lamo, X., García-Rangel, S., Lewis, M., Mark, J., Merow, C., Miles, L., Ondo, I., Pironon, S., Ravilious, C., Rivers, M., Schepashenko, D., Tallowin, O., van Soesbergen, A., Govaerts, R., Boyle, B. L., Enquist, B. J., Feng, X., ... Visconti, P. (2021). Areas of global importance for conserving terrestrial biodiversity, carbon and water. *Nature Ecology & Evolution*, 5, 1499–1509. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01528-7>
- Jung, M., Reichstein, M., Margolis, H. A., Cescatti, A., Richardson, A. D., Arain, M. A., Arneth, A., Bernhofer, C., Bonal, D., Chen, J., Gianelle, D., Gobron, N., Kiely, G., Kutsch, W., Lasslop, G., Law, B. E., Lindroth, A., Merbold, L., Montagnani, L., ... Williams, C. (2011). Global patterns of land-atmosphere fluxes of carbon dioxide, latent heat, and sensible heat derived from eddy covariance, satellite, and meteorological observations. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 116(G3), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2010JG001566>
- Kaiser, M., y Berhe, A. A. (2014). How does sonication affect the mineral and organic constituents of soil aggregates?—A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(4), 479–495. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300339>

- Karlson, M., Ostwald, M., Reese, H., Sanou, J., Tankoano, B., y Mattsson, E. (2015). Mapping tree canopy cover and aboveground biomass in Sudano-Sahelian woodlands using Landsat 8 and random forest. *Remote Sensing*, 7(8), 10017–10041. <https://doi.org/10.3390/rs70810017>
- Ke, S., Zhang, Z., y Wang, Y. (2023). China's forest carbon sinks and mitigation potential from carbon sequestration trading perspective. *Ecological Indicators*, 148, 110054. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110054>
- Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V, Grainger, A., y Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.014>
- Khaine, I., y Woo, S. Y. (2015). An overview of interrelationship between climate change and forests. *Forest Science and Technology*, 11(1), 11–18. <https://doi.org/10.1080/21580103.2014.932718>
- Khaine, I., Woo, S. Y., Kang, H., Kwak, M., Je, S. M., You, H., Lee, T., Jang, J., Lee, H. K., Lee, E., Yang, L., Kim, H., Lee, J. K., y Kim, J. (2017). Species diversity, stand structure, and species distribution across a precipitation gradient in tropical forests in Myanmar. *Forests*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/f8080282>
- Khan, D., Muneer, M. A., Nisa, Z.-U., Shah, S., Amir, M., Saeed, S., Uddin, S., Munir, M. Z., Lushuang, G., y Huang, H. (2019). Effect of climatic factors on stem biomass and carbon stock of *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* in Daxing'anling mountain of Inner Mongolia, China. *Advances in Meteorology*. <https://doi.org/10.1155/2019/5692574>
- Kögel-Knabner, I. (2016). The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter: Fourteen years on. *Soil Biology & Biochemistry*, 105, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.011>
- Kowalska, A., Pawlewicz, A., Dusza, M., Jaskulak, M., y Grobelak, A. (2020). Plant–soil interactions in soil organic carbon sequestration as a restoration tool. En M. N. V. Prasad y M. Pietrzykowski (Eds.), *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 663–688).

Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00023-0>

- Krishna, M. P., y Mohan, M. (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecology and Environment*, 2(4), 236–249. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>
- Lavallee, J. M., Soong, J. L., y Cotrufo, M. F. (2020). Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*, 26(1), 261–273. <https://doi.org/10.1111/gcb.14859>
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Manning, A. C., Boden, T. A., Tans, P. P., Houghton, R. A., Keeling, R. F., Alin, S., Andrews, O. D., Anthoni, P., Barbero, L., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L. P., Ciais, P., Zaehle, S. (2016). Global Carbon Budget 2016. *Earth System Science Data*, 8(2), 605–649. <https://doi.org/10.5194/essd-8-605-2016>
- Letcher, T. M. (2021). Global warming—a complex situation. En T. M. Letcher (Ed.), *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth* (3^a ed., pp. 3–17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00001-3>
- Lewis, S. L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T. R., Ojo, L. O., Phillips, O. L., Reitsma, J. M., White, L., Comiskey, J. A., Djuikouo K, M.-N., Ewango, C. E. N., Feldpausch, T. R., Hamilton, A. C., Gloor, M., Hart, T., Hladik, A., Lloyd, J., Lovett, J. C., ... Wöll, H. (2009). Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, 457(February), 1003–1006. <https://doi.org/10.1038/nature07771>
- Liu, P., Jiang, S., Zhao, L., Li, Y., Zhang, P., y Zhang, L. (2017). What are the benefits of strictly protected nature reserves? Rapid assessment of ecosystem service values in Wanglang Nature Reserve, China. *Ecosystem Services*, 26, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.014>
- Loucks, D. P. (2021). Impacts of climate change on economies, ecosystems, energy, environments, and human equity: A systems perspective. En T. M. Letcher (Ed.), *The Impacts of Climate Change: A Comprehensive Study of Physical, Biophysical, Social and Political Issues* (pp. 19–50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822373-4.00016-1>

- Lu, X., Vitousek, P. M., Mao, Q., Gilliam, F. S., Luo, Y., Turner, B. L., Zhou, G., y Mo, J. (2021). Nitrogen deposition accelerates soil carbon sequestration in tropical forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(16), e2020790118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2020790118>
- Lu, Y., Nakicenovic, N., Visbeck, M., y Stevance, A.-S. (2015). Policy: five priorities for the UN sustainable development goals. *Nature*, 520, 432–433. <https://doi.org/10.1038/520432a>
- Malhi, Y., et al. (2009). "Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), 20610–20615.
- Malhi, Y. (2012). The productivity, metabolism and carbon cycle of tropical forest vegetation. *Journal of Ecology*, 100(1), 65–75. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01916.x>
- Marek, M. V, Marková, I., Pavelka, M., Havráňková, K., Macků, J., Rejšek, K., y Janouš, D. (2020). Potential changes in forest soil carbon stocks under different climate change scenarios. En M. N. V. Prasad & M. Pietrzykowski (Eds.), *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 21–36). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00002-3>
- Martinho, V. J. P. D., y Ferreira, A. J. D. (2021). Forest resources management and sustainability: the specific case of European Union countries. *Sustainability*, 13(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13010058>
- Meakem, V., Tepley, A. J., Gonzalez-Akre, E. B., Herrmann, V., Muller-Landau, H. C., Wright, S. J., Hubbell, S. P., Condit, R., y Anderson-Teixeira, K. J. (2017). Role of tree size in moist tropical forest carbon cycling and water deficit responses. *New Phytologist*, 219(3), 947–958. <https://doi.org/10.1111/nph.14633>
- Melillo, J. M., Lu, X., Kicklighter, D. W., Reilly, J. M., Cai, Y., y Sokolov, A. P. (2016). Protected areas' role in climate-change mitigation. *Ambio*, 45, 133–145. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0693-1>
- Mensah, S., Veldtman, R., Assogbadjo, A. E., Kakaï, R. G., y Seifert, T. (2016). Tree species diversity promotes aboveground carbon storage through functional diversity and

- functional dominance. *Ecology and Evolution*, 6(20), 7546–7557. <https://doi.org/10.1002/ece3.2525>
- Ministerio Nacional del Ambiente. (2019a). *Guía de evaluación del estado del ecosistemas de yunga: bosques basimontano y montano*. MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-estado-ecosistemas-yunga-bosques-basimontano-montano>
- Ministerio Nacional del Ambiente. (2019b). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Miralles, D. G., Gentine, P., Seneviratne, S. I., y Teuling, A. J. (2019). Land-atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436(1), 19–35. <https://doi.org/10.1111/nyas.13912>
- Mitchard, E. T. A. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559, 527–534. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0300-2>
- Modak, K., Ghosh, A., Singh, P. D., Alam, K., Choudhury, S., Misra, S., Singh, A. D., Ahmed, S., y Moharana, P. C. (2023). Global carbon cycle and methods for estimating soil carbon: general concepts. En S. K. Meena, A. de O. Ferreira, V. S. Meena, A. Rakshit, R. P. Shrestha, C. S. Rao, y K. H. M. Siddique (Eds.), *Agricultural soil sustainability and carbon management* (pp. 1–25). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95911-7.00007-4>
- Muhati, G. L., Olago, D., y Olaka, L. (2018). Quantification of carbon stocks in Mount Marsabit Forest Reserve, a sub-humid montane forest in northern Kenya under anthropogenic disturbance. *Global Ecology and Conservation*, 14, e00383. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00383>
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., y Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5, 1089–1092. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2734>
- Olaniyi, O. A., Olutimehin, I. O., y Funmilayo, O. A. (2019). Review of climate change and

- its effect on Nigeria ecosystem. *International journal of Rural Development, Environment and Health Research*, 3(3), 92–100. <https://doi.org/10.22161/ijreh.3.3.3>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., y Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Panchal, P., Preece, C., Peñuelas, J., y Giri, J. (2022). Soil carbon sequestration by root exudates. *Trends in Plant Science*, 27(8), 749–757. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.04.009>
- Parnesan, C., Morecroft, M. D., Trisurat, Y., Adrian, R., Anshari, G. Z., Arneth, A., Gao, Q., Gonzalez, P., Harris, R., Price, J., Stevens, N., y Talukdarr, G. H. (2022). Terrestrial and freshwater ecosystems and their services. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 197–377). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.004>
- Pendergrass, A. G., Meehl, G. A., Pulwarty, R., Hobbins, M., Hoell, A., AghaKouchak, A., Bonfils, C. J. W., Gallant, A. J. E., Hoerling, M., Hoffmann, D., Kaatz, L., Lehner, F., Llewellyn, D., Mote, P., Neale, R. B., Overpeck, J. T., Sheffield, A., Stahl, K., Svoboda, M., ... Woodhouse, C. A. (2020). Flash droughts present a new challenge for subseasonal-to-seasonal prediction. *Nature Climate Change*, 10, 191–199. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0709-0>
- Peres, C. B., Resende, P. M. R., Nunes, L. J. R., y de Moraes, L. C. (2022a). Advances in carbon capture and use (CCU) technologies: A comprehensive review and CO2 mitigation potential analysis. *Clean Technologies*, 4(4), 1193–1207. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040073>
- Peres, C. B., Resende, P. R., Nunes, L. J. R., y de Moraes, L. C. (2022b). Circular economy: A comprehensive review of eco-friendly wollastonite applications. *Sustainability*, 14(5),

3070. <https://doi.org/10.3390/su14053070>

- Perkins-Kirkpatrick, S., y Green, D. (2023). Extreme heat and climate change. En Y. Guo & S. Li (Eds.), *Heat Exposure and Human Health in the Context of Climate Change* (pp. 5–36). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819080-7.00006-9>
- Pongratz, J., Dolman, H., Don, A., Erb, K.-H., Fuchs, R., Herold, M., Jones, C., Kuemmerle, T., Luyssaert, S., Meyfroidt, P., y Naudts, K. (2018). Models meet data: challenges and opportunities in implementing land management in Earth system models. *Global Change Biology*, 24(4), 1470–1487. <https://doi.org/10.1111/gcb.13988>
- Poulter, B., Frank, D., Ciais, P., Myneni, R. B., Andela, N., Bi, J., Broquet, G., Canadell, J. G., Chevallier, F., Liu, Y. Y., Running, S. W., Sitch, S., y van der Werf, G. R. (2014). Contribution of semi-arid ecosystems to interannual variability of the global carbon cycle. *Nature*, 509, 600–603. <https://doi.org/10.1038/nature13376>
- Poulter, B., Freeborn, P. H., Jolly, W. M., y Varner, J. M. (2021). COVID-19 lockdowns drive decline in active fires in southeastern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(43). <https://doi.org/10.1073/pnas.2105666118/-/DCSupplemental>. Published
- Pragasam, L. A. (2020). Tree carbon stock and its relationship to key factors from a tropical hill forest of Tamil Nadu, India. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 6(1), 32–39. <https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1742510>
- Presidencia de la República. (2001). *Decreto Supremo N° 038-2001-AG. Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas*. <https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2001/decsup/038-2001-AG.pdf>
- Qie, L., Lewis, S. L., Sullivan, M. J. P., Lopez-Gonzalez, G., Pickavance, G. C., Sunderland, T., Ashton, P., Hubau, W., Salim, K. A., Aiba, S.-I., Banin, L. F., Berry, N., Brearley, F. Q., Burslem, D. F. R. P., Dančák, M., Davies, S. J., Fredriksson, G., Hamer, K. C., Hédrl, R., ... Phillips, O. L. (2017). Long-term carbon sink in Borneo's forests halted by drought and vulnerable to edge effects. *Nature Communications*, 9(1996). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01997-0>
- Rackley, S. A. (2017a). Introduction. En *Carbon capture and storage* (2^a ed., pp. 3–21).

Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812041-5.00001-5>

- Rackley, S. A. (2017b). Storage in terrestrial ecosystems. En *Carbon capture and storage* (2^a ed., pp. 543–576). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812041-5.00021-0>
- Rasmussen, C., Heckman, K., Wieder, W. R., Keiluweit, M., Lawrence, C. R., Berhe, A. A., Blankinship, J. C., Crow, S. E., Druhan, J. L., Pries, C. E. H., Marin-Spiotta, E., Plante, A. F., Schädel, C., Schimel, J. P., Sierra, C. A., Thompson, A., y Wagai, R. (2018). Beyond clay: Towards an improved set of variables for predicting soil organic matter content. *Biogeochemistry*, 137(3), 297–306. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0424-3>
- Reichle, D. E. (2023). The global carbon cycle and the biosphere. En *The global carbon cycle and climate change: scaling ecological energetics from organism to the biosphere* (2^a ed., pp. 235–283). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18775-9.00014-0>
- Rice, C. W., Pires, C. B., y Sarto, M. V. M. (2023). Carbon cycle in soils: dynamics and management. En *Encyclopedia of Soils in the Environment* (2^a ed., pp. 1–9). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00154-3>
- Saimun, M. S. R., Karim, M. R., Sultana, F., y Arfin-Khan, M. A. S. (2021). Multiple drivers of tree and soil carbon stock in the tropical forest ecosystems of Bangladesh. *Trees, Forests and People*, 5, 100108. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100108>
- Sapkota, R. P., Stahl, P. D., y Norton, U. (2019). Anthropogenic disturbances shift diameter distribution of woody plant species in *Shorea robusta* Gaertn. (Sal) mixed forests of Nepal. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 12(1), 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.08.004>
- Sayer, E. J., Lopez-Sangil, L., Crawford, J. A., Bréchet, L. M., Birkett, A. J., Baxendale, C., Castro, B., Rodtassana, C., Garnett, M. H., Weiss, L., y Schmidt, M. W. I. (2019). Tropical forest soil carbon stocks do not increase despite 15 years of doubled litter inputs. *Scientific Reports*, 9(18030). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54487-2>
- Schleussner, C.-F., Rogelj, J., Schaeffer, M., Lissner, T., Licker, R., Fischer, E. M., Knutti, R., Levermann, A., Frieler, K., y Hare, W. (2016). Science and policy characteristics of the

- Paris Agreement temperature goal. *Nature Climate Change*, 6, 827–835. <https://doi.org/10.1038/nclimate3096>
- Schmidt Müller, Y. R. (2013). *Servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en el suelo en el sector Comuñiz de la Reserva Comunal Yánesha* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/352>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2017). *Reservas Comunales de Perú. Co-gestión entre pueblos indígenas y estado para la conservación y desarrollo* (1ª ed.). Nanuk EIRL. https://conservation-development.net/rsFiles/Datei/Peru_Reservas.Comunales_Co-Manejo_2017.pdf
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2019). *Reserva Comunal Tuntanain*. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1932483-reserva-comunal-tuntanain>
- Sharma, I., y Kakchapati, S. (2018). Linear regression model to identify the factors associated with carbon stock in Chure Forest of Nepal. *Scientifica*. <https://doi.org/10.1155/2018/1383482>
- Shi, H., Li, X., Liu, X., Wang, S., Liu, X., Zhang, H., Tang, D., y Li, T. (2020). Global protected areas boost the carbon sequestration capacity: evidences from econometric causal analysis. *Science of the Total Environment*, 715, 137001. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137001>
- Sitch, S., Friedlingstein, P., Gruber, N., Jones, S. D., Murray-Tortarolo, G., Ahlström, A., Doney, S. C., Graven, H., Heinze, C., Huntingford, C., Levis, S., Levy, P. E., Lomas, M., Poulter, B., Viovy, N., Zaehle, S., Zeng, N., Arneth, A., Bonan, G., ... Myneni, R. (2015). Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide. *Biogeosciences*, 12(3), 653–679. <https://doi.org/10.5194/bg-12-653-2015>
- Sørensen, B. (2017). Greenhouse warming research. En *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09732-3>
- Soto-Navarro, C., Ravilious, C., Arnell, A., de Lamo, X., Harfoot, M., Hill, S. L. L., Wearn,

- O. R., Santoro, M., Bouvet, A., Mermoz, S., Toan, T. Le, Xia, J., Liu, S., Yuan, W., Spawn, S. A., Gibbs, H. K., Ferrier, S., Harwood, T., Alkemade, R., ... Kapos, V. (2020). Mapping co-benefits for carbon storage and biodiversity to inform conservation policy and action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 1–13. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0128>
- Tan, Z., Lal, R., Owens, L., y Izaurrealde, R. C. (2007). Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil & Tillage Research*, 92(1–2), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.003>
- Tarus, G. K., y Nadir, S. W. (2020). Effect of forest management types on soil carbon stocks in montane forests: A case study of Eastern Mau Forest in Kenya. *International Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1155/2020/8862813>
- Taylor, P. G., Cleveland, C. C., Wieder, W. R., Sullivan, B. W., Doughty, C. E., Dobrowski, S. Z., y Townsend, A. R. (2017). Temperature and rainfall interact to control carbon cycling in tropical forests. *Ecology Letters*, 20(6), 779–788. <https://doi.org/10.1111/ele.12765>
- Tian, J., Feng, C., Fu, G., Fan, L., y Wang, W. (2023). Contribution of different types of terrestrial protected areas to carbon sequestration services in China: 1980–2020. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1074410. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1074410>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>
- Vass, M. M. (2017). Renewable energies cannot compete with forest carbon sequestration to cost-efficiently meet the EU carbon target for 2050. *Renewable Energy*, 107, 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.034>
- Vicuña Miñano, E., R Baker, T., Banda-R, K., Honorio Coronado, E., Monteagudo, A., L Phillips, O., Del Castillo Torres, D., Farfan Rios, W., Flores, G., Huaman, D., Huaman Tante, K., Hidalgo Pizango, G., Lojas Aleman, E., B Melo, J., C Pickavance, G., Rios, M., Rojas, M., Salinas, N., y Vasquez Martinez, R. (2018). El sumidero de carbono en

- los bosques primarios amazónicos es una oportunidad para lograr la sostenibilidad de su conservación. *Folia Amazónica*, 27(1), 101–109. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.456>
- Vidal, A., Hirte, J., Bender, S. F., Mayer, J., Gatteringer, A., Höschen, C., Schädler, S., Iqbal, T. M., y Mueller, C. W. (2018). Linking 3D soil structure and plant-microbe-soil carbon transfer in the rhizosphere. *Frontiers in Environmental Science*, 6(9), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00009>
- Viswanath, S., y Sandeep, S. (2018). Carbon dynamics in tropical forest ecosystems. *14th National Silviculture conference. Forest & Sustainability: Securing a Common Future*, 65–77. https://www.researchgate.net/publication/330307324_Carbon_Dynamics_in_Tropical_Forest_Ecosystems
- Wolf, C., Levi, T., Ripple, W. J., Zárrate-Charry, D. A., y Betts, M. G. (2021). A forest loss report card for the world's protected areas. *Nature Ecology & Evolution*, 5, 520–529. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01389-0>
- Yang, H., Viña, A., Winkler, J. A., Chung, M. G., Huang, Q., Dou, Y., McShea, W. J., Songer, M., Zhang, J., y Liu, J. (2021). A global assessment of the impact of individual protected areas on preventing forest loss. *Science of the Total Environment*, 777, 145995. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145995>
- Yang, K., Yang, Y., Xu, Z., y Wu, Q. (2018). Soil respiration in a subtropical forest of southwestern China: Components, patterns and controls. *PLOS ONE*, 13(9), e0204341.
- Yoro, K. O., y Daramola, M. O. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. En M. R. Rahimpour, M. Farsi, & M. A. Makarem (Eds.), *Advances in Carbon Capture* (pp. 3–28). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3>
- Yu, X., Catanescu, C. O., Bird, R. E., Satagopan, S., Baum, Z. J., Lotti Diaz, L. M., y Zhou, Q. A. (2023). Trends in research and development for CO2 capture and sequestration. *ACS Omega*, 8(13), 11643–11664. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05070>
- Zhang, J., et al. (2016). "Soil carbon storage in forest ecosystems: Spatial variability and

controlling factors." *Science of The Total Environment*, 556, 179-188.

Zhao, Z., Dong, P., Fu, B., Wu, D., y Zhao, Z. (2023). Soil organic carbon distribution and factors affecting carbon accumulation in natural and plantation forests in tropical China. *Ecological Indicators*, 148, 110127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110127>

Zheng, Y., Zhang, W., Li, Y., Chen, J., Yu, B., Wang, J., Zhang, L., y Zhang, J. (2017). Energy related CO₂ conversion and utilization: Advanced materials/nanomaterials, reaction mechanisms and technologies. *Nano Energy*, 40, 512–539. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2017.08.049>

Zhu, L., Hughes, A. C., Zhao, X.-Q., Zhou, L.-J., Ma, K.-P., Shen, X.-L., Li, S., Liu, M.-Z., Xu, W.-B., y Watson, J. E. M. (2021). Regional scalable priorities for national biodiversity and carbon conservation planning in Asia. *Science Advances*, 7(3), eabe4261. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abe4261>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1: Resolución directoral N° 269-2023-SERNANP-DGANP



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 269-2023-SERNANP-DGANP

Lima, 27 de noviembre de 2023

VISTO:

El Informe N° 1278-2023-SERNANP-DGANP del 17 de noviembre del 2023, a través del cual la Dirección de Gestión de las Áreas Naturales Protegidas evalúa la solicitud de autorización para realizar la investigación titulada "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas" y;

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con el artículo 29° de la Ley N° 26834 - Ley de Áreas Naturales Protegidas, el Estado reconoce la importancia de las Áreas Naturales Protegidas - ANP, para el desarrollo de la investigación científica básica y aplicada, la misma que sólo será autorizada si su desarrollo no afecta los objetivos primarios de conservación del Área Natural Protegida en la cual ésta se lleve a cabo y se respete la zonificación y condiciones establecidas en el Plan Maestro;

Que, el Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas, aprobado mediante Decreto Supremo N° 016-2009-MINAM, señala que la investigación científica es considerada como uno de los objetivos de creación de las Áreas Naturales Protegidas y como una actividad inherente al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SINANPE y su gestión, no contando dicha actividad con restricción alguna en la medida que cumpla la normatividad, no se contraponga con los objetivos de creación del Área Natural Protegida en cuestión y sus instrumentos de planificación;

Que, con Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, publicado el 23 de setiembre del 2015, se declara de interés nacional el desarrollo de investigaciones al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional, determinándose su gratuidad, así como los procedimientos de aprobación automática y evaluación previa para su otorgamiento;

Que, en el artículo 4° del mencionado Decreto Supremo, se prevén cinco supuestos en los que la autorización de investigación requiere de evaluación previa: a) ingreso a ámbitos de acceso restringido, b) la colecta o extracción de muestras biológicas, c) se prevea la alteración del entorno o instalación de infraestructura en el caso de áreas naturales protegidas de administración nacional, d) el uso de equipo o infraestructura perteneciente a las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional, e) investigación en predios privados;

Que, mediante Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP se aprobaron las Disposiciones Complementarias al Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, que promueve el desarrollo de investigaciones en Áreas Naturales Protegidas, estableciendo criterios, mecanismos, procedimientos, responsabilidades y

compromisos requeridos para realizar de investigaciones en las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, a través del Decreto Supremo N° 004-2023-MINAM, se modifica el Texto Único de Procedimientos Administrativos - TUPA del SERNANP aprobado por Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM;

Que, con solicitud del 02 de noviembre de 2023, el señor Naldo Auber Peña Manosalva, identificado con DNI N° 75126055, solicita autorización para el desarrollo de la investigación científica denominada "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas", a desarrollarse en el ámbito de la Reserva Comunal Tuntanain, por el periodo de un mes, adjuntando, entre otros documentos, las fichas del personal involucrado;

Que, con Nota de envío N° 027-2023-SERNANP-RCT del 03 de noviembre del 2023 se remite el Informe N° 006-2023-SERNANP-RCTUN, con los que la jefatura de la Reserva Comunal Tuntanain evalúa la solicitud presentada, recomendando se proceda con la emisión de la resolución respectiva, precisando que el administrado, es personal guardaparque del área;

Que, con el informe del visto, la Unidad Operativa Funcional Manejo de Recursos Naturales de la Dirección de Gestión de las Áreas Naturales Protegidas analiza que, el administrado Naldo Auber Peña Manosalva, cumplió con adjuntar la información requerida para solicitar autorización de investigación científica en ANP del SINANPE, precisando que el solicitante es personal del SERNANP. Indica además, que el proyecto que implica la colecta de muestras de plantas herbáceas, contribuirá a la generación de conocimiento y comprensión de diversos aspectos ecológicos y ambientales, contribuyendo también a la conservación de la biodiversidad y su valor económico para la elaboración de políticas públicas y prácticas de gestión en la Reserva Comunal Tuntanain, por lo que recomienda se otorgue la autorización de investigación por el periodo de un mes, el cual incluye el cumplimiento de los compromisos asumidos;

Que, esta investigación se enmarca en el artículo 43° de la Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP, respecto a que la atención de las solicitudes de investigación realizadas por el personal del SERNANP es evaluada por la DGANP, motivo por el cual corresponde emitir el acto administrativo solicitado;

Con el visto bueno de la Oficina de Asesoría Jurídica;

En uso de las atribuciones conferidas por el artículo 22° del Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N° 006-2008-MINAM.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Autorizar el desarrollo de la investigación científica denominada "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas" a favor del señor Naldo Auber Peña Manosalva, a desarrollarse en el ámbito de la Reserva Comunal Tuntanain, por el periodo de un mes, contado desde la notificación de la presente Resolución.

Artículo 2°.- Establecer que la investigación se desarrollará en el ámbito de la Reserva Comunal Tuntanain, de acuerdo al detalle presentado en la Tabla N° 2.



JEFE
OFICINA DE ASESORÍA JURÍDICA

Firmado digitalmente por LAZO
HERRERA Maria Elena FAU
20478053178 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.11.2023 16:48:27 -05:00

Tabla N° 2. Coordenadas de los vértices de las parcelas de muestreo.

Vértice	Coordenadas UTM		Zona
	X	Y	
1	162854.065	9510619.07	18 S
2	162954.065	9510619.07	18 S
3	162954.065	9510639.07	18 S
4	163054.065	9510639.07	18 S

Vértice	Coordenadas UTM		Zona
	X	Y	
5	163054.065	9510619.07	18 S
6	163054.065	9510599.07	18 S
7	163054.065	9510579.07	18 S
8	162954.065	9510579.07	18 S
9	162954.065	9510599.07	18 S
10	162854.065	9510599.07	18 S
11	162854.065	9510579.07	18 S
12	162954.065	9510559.07	18 S
13	162854.065	9510559.07	18 S
14	162954.065	9510539.07	18 S
15	163054.065	9510539.07	18 S
16	163054.065	9510559.07	18 S
17	162954.065	9510519.07	18 S
18	162854.065	9510519.07	18 S
19	162854.065	9510539.07	18 S
20	162954.065	9510499.07	18 S
21	163054.065	9510499.07	18 S
22	163054.065	9510519.07	18 S
23	163054.065	9510479.07	18 S
24	163054.065	9510459.13	18 S
25	162954.065	9510439.07	18 S
26	162854.065	9510439.07	18 S
27	162854.065	9510459.07	18 S
28	162954.065	9510459.07	18 S
29	162954.065	9510479.07	18 S
30	162854.065	9510479.07	18 S
31	162854.065	9510499.07	18 S

Artículo 3°.- Autorizar la colecta de muestras de hojas de especies herbáceas de acuerdo al detalle presentado en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Colecta de muestras

Especie / taxon	Tipo de muestra	Colecta o Captura temporal (solo para fauna)	Cantidad	Finalidad de la colecta o captura temporal
Herbáceas	Hojas		100 g	Determinación de captura de carbono

En el Informe N° 1278-2023-SERNANP-DGANP en su numeral 2.2.3), se desarrolla la metodología de estudio que deberá considerarse en la presente investigación.

Artículo 4°.- Autorizar el desarrollo de la investigación “Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain - Amazonas” a las siguientes personas, que conforman el equipo de investigadores:

Tabla N° 5. Lista de investigadores habilitados para la investigación

N°	Nombres y apellidos	DNI/ Pasaporte	Nacionalidad	Cargo	Institución
1	Naldo Auber Peña Manosalva	75126055	Peruana	Responsable	Universidad Nacional de Cajamarca
2	Jose Vinter Huancas Carrasco	76084907	Peruana	Asistente	Universidad Nacional de Cajamarca
3	Jhon Anthony Guevara Galvez	71997161	Peruana	Asistente	Universidad Nacional de Cajamarca

Las personas señaladas en el cuadro anterior, no se encuentran con impedimento o inhabilitación administrativa y/o judicial para contratar con el Estado. Asimismo, habiendo sido titulares de alguna autorización con fines de investigación en un Área Natural Protegida, no se les ha cancelado el derecho por incumplimiento.

Artículo 5°.- El investigador responsable, identificado en el artículo 1° de esta Resolución y su equipo de investigadores, son responsables de conocer y cumplir las disposiciones contenidas en la Ley N° 26834 - Ley de Áreas Naturales Protegidas y su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 038-2001-AG, el Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, la Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP. Los investigadores deberán prever el correcto manejo de residuos sólidos, generados durante su permanencia dentro del ANP, así como dar cumplimiento al Decreto Supremo N° 013-2018-MINAM que aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable en las entidades del Ejecutivo.

Asimismo, deberán cumplir con las normas que las Jefaturas y su personal dispongan durante el desarrollo de la investigación.

Artículo 6°.- El señor Naldo Auber Peña Manosalva, autorizado en el artículo 1° de la presente Resolución, en su calidad de investigador responsable asume las siguientes obligaciones y compromisos:

- Presentar copia de la presente autorización al personal del ANP que lo solicite.
- Coordinar previamente con la jefatura del área, ya que el personal Guardaparque y/o especialistas de la Reserva Comunal acompañará las salidas de colecta y evaluación en todas las actividades que involucre el estudio.

- c. En caso de que la titular de la investigación desee modificar el cronograma de su plan de investigación, deberá tramitar la autorización de ingreso a cada ANP, con un mínimo de cinco (05) días de anticipación, presentando su cronograma de actividades actualizado y la lista del personal que ingresará.
- d. Deberá tramitar el certificado de procedencia, cuando se requiera trasladar las muestras del material biológico colectado fuera del ámbito de las ANP.
- e. No podrá extraer muestras biológicas distintas a las autorizadas.
- f. No podrá utilizar muestras biológicas para fines distintos al autorizado.
- g. De requerir enviar al extranjero muestras del material biológico colectado, deberá gestionar los permisos de exportación ante la autoridad competente.
- h. No debe ingresar bolsas de plástico de un solo uso, sorbetes plásticos y envases de tecnopor (poliestireno expandido) para bebidas y alimentos de consumo humano en los ámbitos de las ANP.
- i. Entregar a la Dirección de Gestión de las Áreas Naturales Protegidas una (01) copia del informe final de la investigación de acuerdo a la fecha planteada en el cronograma del plan de investigación presentado, el mismo que se detalla en el numeral 2.2.4 del Informe N° 1278-2023-SERNANP-DGANP.
- j. Si la investigación contribuye al desarrollo de una o más publicaciones científicas, entregar una (01) copia de las publicaciones en formato digital y autorizar su registro en la biblioteca digital del SERNANP.
- k. Presentar a través de medio magnético (CD, DVD, USB u otro), o envié vía email, las fotografías seleccionadas tomadas al interior del ANP, así mismo la base de datos georeferenciada en formato Excel, en caso de registro de especies.
- l. Cumplir las disposiciones señaladas en la Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP respecto a las solicitudes de investigación realizadas por el personal del SERNANP.

Artículo 7°.- La autorización a la que se refiere el artículo 1° caducará automáticamente al vencer el plazo concedido, por el incumplimiento injustificado de los compromisos adquiridos o por cualquier daño al patrimonio natural, sin perjuicio de las responsabilidades administrativas, civiles o penales que pudieran originarse.

Artículo 8°.- El SERNANP no será responsable por los accidentes o daños que pueda sufrir el equipo de investigadores durante el desarrollo de la investigación científica, quienes asumirán toda responsabilidad sobre su accionar.

Artículo 9°.- Encargar a la jefatura de la Reserva Comunal Tuntanain, en el ámbito de sus competencias, la supervisión del cumplimiento de las obligaciones establecidas en los artículos 5° y 6° de la presente Resolución.

Artículo 10°.- Notificar la presente Resolución al señor Naldo Auber Peña Manosalva y a la jefatura de la Reserva Comunal Tuntanain.

Artículo 11°.- Regístrese la presente Resolución en el Módulo de Seguimiento a las autorizaciones de investigación del SERNANP, en el archivo de autorizaciones de las ANP involucradas y publíquese en la página web del SERNANP (www.gob.pe/sernanp).

Regístrese y comuníquese,


DIRECTOR
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE
ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Firmado digitalmente por HUAMAN
MENDOZA Deyvis Christian FAU
20478053178 hard
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 27.11.2023 16:45:51 -05:00

Anexo 2: Informe de ensayo de densidad aparente en suelo



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE SUELOS OIKOSLAB SAC - N° 2121-2024

Solicitante : Bach. Naldo Auber Peña Manosalva
 Fecha de ingreso : 16/12/2023
 Tipo de muestra : Suelo
 Lugar de muestreo : Reserva Comunal Tuntanain
 Distrito : Nieva
 Provincia : Condorcanqui
 Región : Amazonas
 Nombre de la Investigación : "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain – Amazonas"

I. Resultados Obtenidos:

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE

Parcela de investigación	Hc (cm)	Dc (cm)	Vc (cm ³)	Wms (g)	ρ (g/cm ³)
P1	4.33	1.85	11.6392	9.9759	0.8571
P2	4.33	1.85	11.6392	10.5567	0.907
P3	4.33	1.85	11.6392	10.9117	0.9375
P4	4.33	1.85	11.6392	11.0677	0.9509
P5	4.33	1.85	11.6392	12.1164	1.041
P6	4.33	1.85	11.6392	12.2095	1.049
P7	4.33	1.85	11.6392	12.2444	1.052
P8	4.33	1.85	11.6392	11.5158	0.9894
P9	4.33	1.85	11.6392	11.8452	1.0177
P10	4.33	1.85	11.6392	12.4621	1.0707

Hc: Altura del cilindro
 Dc: Diámetro del cilindro
 Vc: Volumen del cilindro
 Wms: Peso seco de la muestra
 ρ : Densidad aparente del suelo



Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757



Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970 911 920
 jads14@hotmail.com

Anexo 3: Informe de ensayo de materia orgánica en suelo



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARBONO EN HOJARASCA OIKOSLAB SAC - N° 2123-2024

Solicitante : Bach. Naldo Auber Peña Manosalva
 Fecha de ingreso : 16/12/2023
 Tipo de muestra : Hojarasca
 Lugar de muestreo : Reserva Comunal Tuntanain
 Distrito : Nieva
 Provincia : Condorcanqui
 Región : Amazonas
 Nombre de la Investigación : "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain – Amazonas"

I. Resultados Obtenidos:

ENSAYO DE CARBONO EN HOJARASCA
MUESTRA 1

Parcela de investigación	Wsh	Wsh+ Wmh	Wmh	Wms	W _{CO2 EVAP} (g)	CO ₂ (%)	W _{CARBONO} (g)	C (%)
P1	14.098	116.835	102.737	28.739	73.998	72.027	19.644	19.120
P2	14.106	116.733	102.627	27.469	75.158	73.234	19.973	19.462
P3	14.303	116.527	102.224	27.903	74.321	72.704	19.828	19.397
P4	14.033	116.383	102.350	26.122	76.228	74.478	20.312	19.846
P5	14.217	116.541	102.324	28.804	73.520	71.850	19.596	19.150
P6	13.902	117.131	103.229	25.598	77.631	75.203	20.510	19.868
P7	14.036	116.169	102.133	26.000	76.133	74.543	20.330	19.905
P8	14.225	116.398	102.173	23.875	78.298	76.633	20.900	20.455
P9	14.245	116.996	102.751	27.534	75.217	73.203	19.965	19.430
P10	14.315	117.077	102.762	30.745	72.017	70.081	19.113	18.599

Wmh: Peso de muestra húmeda
 Wms: Peso de muestra seca
 W_{CO2 EVAP}: Peso de dióxido de carbono evaporado
 CO₂: Contenido de dióxido de carbono
 W_{CARBONO}: Peso de carbono
 C: Contenido de carbono



Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757




Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970 911 920
 jads14@hotmail.com

Anexo 4: Informe de ensayo en hojarasca - muestra 1



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA OIKOSLAB SAC - N° 2122-2024

Solicitante : Bach. Naldo Auber Peña Manosalva
 Fecha de ingreso : 16/12/2023
 Tipo de muestra : Suelo
 Lugar de muestreo : Reserva Comunal Tuntanain
 Distrito : Nieva
 Provincia : Condorcanqui
 Región : Amazonas
 Nombre de la Investigación : "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain – Amazonas"

I. Resultados Obtenidos:

ENSAYO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS

Parcela de investigación	Wm (g)	Vf (mL)	Vi (mL)	Vg (mL)	Vb (mL)	N FeSO ₄ .7H ₂ O (Equiv-g/L)	C (%)	M.O. (%)
P1	0.2259	10.2	0.0	10.2	15.0	0.6667	5.52	9.52
P2	0.2213	17.6	7.2	10.4	15.0	0.6667	5.40	9.32
P3	0.2267	21.8	11.8	10.0	15.0	0.6667	5.73	9.89
P4	0.2233	27.7	15.5	12.2	15.0	0.6667	3.26	5.62
P5	0.2219	32.1	19.2	12.9	15.0	0.6667	2.46	4.24
P6	0.2073	13.8	0.0	13.8	15.0	0.6667	1.51	2.59
P7	0.2032	27.0	12.5	14.5	16.3	0.6150	2.08	3.58
P8	0.2073	40.8	26.5	14.4	16.3	0.6135	2.25	3.88
P9	0.2054	14.6	0.0	14.6	16.3	0.6135	1.99	3.43
P10	0.2035	25.0	12.5	12.5	15.0	0.6667	3.19	5.51

Wm: Peso de la muestra
 Vf: Volumen final
 Vi: Volumen inicial
 Vg: Volumen gastado
 Vb: Volumen gastado en el blanco
 N: Normalidad corregida
 C: Contenido de carbono
 M.O.: Contenido de materia orgánica


Jorge A. Delgado Soto
 ING. RESPONSABLE
 CIP. 56757



Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970 911 920
 jads14@hotmail.com

Anexo 5: Informe de ensayo en hojarasca - muestra 2



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARBONO EN HOJARASCA OIKOSLAB SAC - N° 2124-2024

Solicitante : Bach. Naldo Auber Peña Manosalva
 Fecha de ingreso : 16/12/2023
 Tipo de muestra : Hojarasca
 Lugar de muestreo : Reserva Comunal Tuntanain
 Distrito : Nieva
 Provincia : Condorcanqui
 Región : Amazonas
 Nombre de la Investigación : "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain – Amazonas"

I. Resultados Obtenidos:

**ENSAYO DE CARBONO EN HOJARASCA
MUESTRA 2**

Parcela de investigación	Wsh	Wsh+ Wmh	Wmh	Wms	W _{CO2 EVAP} (g)	CO ₂ (%)	W _{CARBONO} (g)	C (%)
P1	13.793	116.346	102.553	25.852	76.701	74.792	20.398	19.890
P2	14.163	116.508	102.345	31.823	70.522	68.906	18.793	18.362
P3	14.124	117.421	103.297	32.675	70.622	68.368	18.646	18.051
P4	14.062	116.839	102.777	27.050	75.727	73.681	20.095	19.552
P5	13.759	116.426	102.667	27.382	75.285	73.329	19.999	19.479
P6	14.171	117.625	103.454	26.909	76.545	73.989	20.179	19.505
P7	14.281	118.009	103.728	27.964	75.764	73.041	19.920	19.204
P8	14.057	116.348	102.291	22.251	80.040	78.247	21.340	20.862
P9	14.202	116.089	101.887	21.949	79.938	78.458	21.398	21.001
P10	14.014	116.268	102.254	27.666	74.588	72.944	19.894	19.455

Wmh: Peso de muestra húmeda
 Wms: Peso de muestra seca
 W_{CO2 EVAP}: Peso de dióxido de carbono evaporado
 CO₂: Contenido de dióxido de carbono
 W_{CARBONO}: Peso de carbono
 C: Contenido de carbono



Jorge Delgado Soto
ING/RESPONSABLE
CIP. 56757




Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970 911 920
 jads14@hotmail.com

Anexo 6: Informe de ensayo en hojarasca - muestra 3



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARBONO EN HOJARASCA OIKOSLAB SAC - N° 2125-2024

Solicitante : Bach. Naldo Auber Peña Manosalva
 Fecha de ingreso : 16/12/2023
 Tipo de muestra : Hojarasca
 Lugar de muestreo : Reserva Comunal Tuntanain
 Distrito : Nieva
 Provincia : Condorcanqui
 Región : Amazonas
 Nombre de la Investigación : "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain – Amazonas"

I. Resultados Obtenidos:

**ENSAYO DE CARBONO EN HOJARASCA
MUESTRA 3**

Parcela de investigación	Wsh	Wsh+ Wmh	Wmh	Wms	W _{CO2} EVAP (g)	CO ₂ (%)	W _{CARBONO} (g)	C (%)
P1	14.175	117.800	103.625	31.341	72.284	69.755	19.024	18.359
P2	14.163	116.904	102.741	32.193	70.548	68.666	18.727	18.227
P3	14.143	117.724	103.581	34.952	68.629	66.256	18.070	17.445
P4	13.935	116.357	102.422	27.630	74.792	73.023	19.915	19.445
P5	14.199	118.192	103.993	32.219	71.774	69.018	18.823	18.100
P6	13.888	116.274	102.386	17.876	84.510	82.541	22.511	21.986
P7	14.074	117.641	103.567	25.414	78.153	75.461	20.580	19.872
P8	13.984	118.743	104.759	21.996	82.763	79.003	21.546	20.568
P9	13.981	117.084	103.103	22.202	80.901	78.466	21.400	20.756
P10	14.141	116.467	102.326	29.108	73.218	71.554	19.515	19.071

Wmh: Peso de muestra húmeda
 Wms: Peso de muestra seca
 W_{CO2} EVAP: Peso de dióxido de carbono evaporado
 CO₂: Contenido de dióxido de carbono
 W_{CARBONO}: Peso de carbono
 C: Contenido de carbono



Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757



Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970 911 920
 jads14@hotmail.com

Anexo 7: Informe de ensayo de carbono en biomasa arbustiva y herbácea



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA Y ARBUSTIVAS OIKOSLAB SAC - N° 2126-2024

Solicitante : Bach. Naldo Auber Peña Manosalva
 Fecha de ingreso : 16/12/2023
 Tipo de muestra : Biomasa y arbustivas
 Lugar de muestreo : Reserva Comunal Tuntanain
 Distrito : Nieva
 Provincia : Condorcanqui
 Región : Amazonas
 Nombre de la Investigación : "Determinación del carbono total almacenado en el bosque basimontano de yunga de la Reserva Comunal Tuntanain – Amazonas"

ENSAYO DE CARBONO EN BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBÁCEA

Parcela de investigación	Wsh	Wsh+ Wmh	Wmh	Wms	W _{CO2} EVAP (g)	CO ₂ (%)	W _{CARBONO} (g)	C (%)
P1	13.641	116.295	102.654	73.579	29.075	28.323	7.725	7.525
P2	13.655	118.509	104.854	76.666	28.188	26.883	7.332	6.992
P3	13.762	109.523	95.761	68.484	27.277	28.484	7.768	8.112
P4	13.806	115.599	101.793	68.256	33.537	32.946	8.985	8.827
P5	13.819	112.236	98.417	76.714	21.703	22.052	6.014	6.111
P6	13.959	113.649	99.690	71.432	28.258	28.346	7.731	7.755
P7	14.092	116.166	102.074	72.033	30.041	29.431	8.027	7.863
P8	13.810	116.838	103.028	79.985	23.043	22.366	6.100	5.920
P9	14.065	120.557	106.492	83.067	23.425	21.997	5.999	5.633
P10	14.254	118.735	104.481	83.454	21.027	20.125	5.489	5.253

Wmh: Peso de muestra húmeda
 Wms: Peso de muestra seca
 W_{CO2} EVAP: Peso de dióxido de carbono evaporado
 CO₂: Contenido de dióxido de carbono
 W_{CARBONO}: Peso de carbono
 C: Contenido de carbono





Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757

Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970 911 920
 jads14@hotmail.com

Anexo 3: Biomasa total maderable en latizales bajos (> 1 y < 5 cm de DAP)

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P1	2.6	3	0.0010	0.0038	0.0031	0.0069	0.0048
	2	4	0.0008	0.0030	0.0024	0.0054	0.0038
	2.5	2.5	0.0007	0.0029	0.0024	0.0053	0.0037
	1.9	3	0.0005	0.0020	0.0016	0.0037	0.0026
	4.5	4	0.0038	0.0153	0.0122	0.0275	0.0192
	2.7	2.5	0.0009	0.0034	0.0027	0.0062	0.0043
	4.8	5	0.0054	0.0217	0.0174	0.0391	0.0274
	2.3	2	0.0005	0.0020	0.0016	0.0036	0.0025
P2	3.9	4	0.0029	0.0115	0.0092	0.0206	0.0144
	4.8	5	0.0054	0.0217	0.0174	0.0391	0.0274
	2.3	3	0.0007	0.0030	0.0024	0.0054	0.0038
	3.9	4	0.0029	0.0115	0.0092	0.0206	0.0144
	4.8	4	0.0043	0.0174	0.0139	0.0313	0.0219
	2.8	3.5	0.0013	0.0052	0.0041	0.0093	0.0065
	4.1	2.5	0.0020	0.0079	0.0063	0.0143	0.0100
	4.3	4	0.0035	0.0139	0.0112	0.0251	0.0176
P3	1.7	2.5	0.0003	0.0014	0.0011	0.0025	0.0017
	4.8	5	0.0054	0.0217	0.0174	0.0391	0.0274
	2	3	0.0006	0.0023	0.0018	0.0041	0.0029
	3.7	2.5	0.0016	0.0065	0.0052	0.0116	0.0081
	2	3	0.0006	0.0023	0.0018	0.0041	0.0029
	4.7	5	0.0052	0.0208	0.0167	0.0375	0.0262
P4	1.6	2	0.0002	0.0010	0.0008	0.0017	0.0012
	3.1	4	0.0018	0.0072	0.0058	0.0130	0.0091
	3.5	2.5	0.0014	0.0058	0.0046	0.0104	0.0073
	2.2	2	0.0005	0.0018	0.0015	0.0033	0.0023
	2.8	3.5	0.0013	0.0052	0.0041	0.0093	0.0065
P5	3.8	3	0.0020	0.0082	0.0065	0.0147	0.0103
	3.6	4	0.0024	0.0098	0.0078	0.0176	0.0123
	3.7	2.5	0.0016	0.0065	0.0052	0.0116	0.0081
	1.9	2	0.0003	0.0014	0.0011	0.0024	0.0017
	3.4	1.5	0.0008	0.0033	0.0026	0.0059	0.0041
	2.2	2.5	0.0006	0.0023	0.0018	0.0041	0.0029
	2.7	2	0.0007	0.0027	0.0022	0.0049	0.0035
P6	1.8	2	0.0003	0.0012	0.0010	0.0022	0.0015
	4.8	2.5	0.0027	0.0109	0.0087	0.0195	0.0137
	3.4	3.5	0.0019	0.0076	0.0061	0.0137	0.0096
	3.8	2.5	0.0017	0.0068	0.0054	0.0122	0.0086
	3.4	3	0.0016	0.0065	0.0052	0.0118	0.0082
	1.5	2.5	0.0003	0.0011	0.0008	0.0019	0.0013
	2.3	2	0.0005	0.0020	0.0016	0.0036	0.0025
	3.7	2.5	0.0016	0.0065	0.0052	0.0116	0.0081
	4.7	2.5	0.0026	0.0104	0.0083	0.0187	0.0131

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m ³)	Volumen maderable sobre el suelo (m ³)	Volumen maderable bajo el suelo (m ³)	Volumen total maderable (m ³)	Biomasa total maderable (t)
P7	1.5	2.5	0.0003	0.0011	0.0008	0.0019	0.0013
	1.6	2.5	0.0003	0.0012	0.0010	0.0022	0.0015
	3.8	3	0.0020	0.0082	0.0065	0.0147	0.0103
	1.6	2	0.0002	0.0010	0.0008	0.0017	0.0012
	3.6	2.5	0.0015	0.0061	0.0049	0.0110	0.0077
	4.1	2	0.0016	0.0063	0.0051	0.0114	0.0080
	4	2	0.0015	0.0060	0.0048	0.0109	0.0076
P8	4.6	2.5	0.0025	0.0100	0.0080	0.0179	0.0126
	3.2	2.5	0.0012	0.0048	0.0039	0.0087	0.0061
	2.3	2	0.0005	0.0020	0.0016	0.0036	0.0025
	2.7	2	0.0007	0.0027	0.0022	0.0049	0.0035
	2.4	3	0.0008	0.0033	0.0026	0.0059	0.0041
	3	3.5	0.0015	0.0059	0.0048	0.0107	0.0075
P9	3.2	2	0.0010	0.0039	0.0031	0.0069	0.0049
	2.1	2.5	0.0005	0.0021	0.0017	0.0037	0.0026
	4.7	2.5	0.0026	0.0104	0.0083	0.0187	0.0131
	2	2.5	0.0005	0.0019	0.0015	0.0034	0.0024
	4.5	2	0.0019	0.0076	0.0061	0.0137	0.0096
	2	2	0.0004	0.0015	0.0012	0.0027	0.0019
	2.9	2.5	0.0010	0.0040	0.0032	0.0071	0.0050
	2.5	2.5	0.0007	0.0029	0.0024	0.0053	0.0037
P10	4.5	2.5	0.0024	0.0095	0.0076	0.0172	0.0120
	4.5	3	0.0029	0.0115	0.0092	0.0206	0.0144
	3.7	4	0.0026	0.0103	0.0083	0.0186	0.0130
	4.6	2	0.0020	0.0080	0.0064	0.0144	0.0101
	4.5	2.5	0.0024	0.0095	0.0076	0.0172	0.0120
	2.4	2	0.0005	0.0022	0.0017	0.0039	0.0027
	3.5	2.5	0.0014	0.0058	0.0046	0.0104	0.0073
	1.6	2	0.0002	0.0010	0.0008	0.0017	0.0012
	1.7	2.5	0.0003	0.0014	0.0011	0.0025	0.0017
	2.7	3	0.0010	0.0041	0.0033	0.0074	0.0052
	2	2.5	0.0005	0.0019	0.0015	0.0034	0.0024
	4.6	6	0.0060	0.0239	0.0191	0.0431	0.0302
	4.1	6	0.0048	0.0190	0.0152	0.0342	0.0240
	1.6	2	0.0002	0.0010	0.0008	0.0017	0.0012
	3.8	3	0.0020	0.0082	0.0065	0.0147	0.0103
	1.5	7	0.0007	0.0030	0.0024	0.0053	0.0037
	4.4	6	0.0055	0.0219	0.0175	0.0394	0.0276
	3.3	3	0.0015	0.0062	0.0049	0.0111	0.0078
	1.6	2.5	0.0003	0.0012	0.0010	0.0022	0.0015
	4.5	4	0.0038	0.0153	0.0122	0.0275	0.0192
	3.3	3	0.0015	0.0062	0.0049	0.0111	0.0078
	4.1	4	0.0032	0.0127	0.0101	0.0228	0.0160
	2.2	2	0.0005	0.0018	0.0015	0.0033	0.0023

Anexo 4: Biomasa total maderable en latizales altos (> 5 y < 10 cm de DAP)

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P1	5.7	4	0.0061	0.0245	0.0196	0.0441	0.0309
	5.6	5	0.0074	0.0296	0.0236	0.0532	0.0372
	6.2	2.5	0.0045	0.0181	0.0145	0.0326	0.0228
	9.1	3	0.0117	0.0468	0.0375	0.0843	0.0590
	7.8	4	0.0115	0.0459	0.0367	0.0826	0.0578
	6.8	3.5	0.0076	0.0305	0.0244	0.0549	0.0384
	5.4	5	0.0069	0.0275	0.0220	0.0495	0.0346
	9.3	7	0.0285	0.1141	0.0913	0.2054	0.1438
	5.8	3.3	0.0052	0.0209	0.0167	0.0377	0.0264
	5.5	2	0.0029	0.0114	0.0091	0.0205	0.0144
	7.5	4	0.0106	0.0424	0.0339	0.0763	0.0534
	6.1	2.5	0.0044	0.0175	0.0140	0.0316	0.0221
	8.4	3	0.0100	0.0399	0.0319	0.0718	0.0503
	9.5	3.5	0.0149	0.0595	0.0476	0.1072	0.0750
P2	5.6	2	0.0030	0.0118	0.0095	0.0213	0.0149
	5	2.5	0.0029	0.0118	0.0094	0.0212	0.0148
	8.9	6	0.0224	0.0896	0.0717	0.1613	0.1129
	7.4	6	0.0155	0.0619	0.0495	0.1115	0.0780
	5.1	2.5	0.0031	0.0123	0.0098	0.0221	0.0154
	9.8	6	0.0272	0.1086	0.0869	0.1955	0.1369
	9.7	6	0.0266	0.1064	0.0851	0.1915	0.1341
P3	7.1	5	0.0119	0.0475	0.0380	0.0855	0.0599
	7.9	6	0.0176	0.0706	0.0565	0.1271	0.0889
	9.8	9	0.0407	0.1629	0.1303	0.2933	0.2053
	5.7	2.5	0.0038	0.0153	0.0122	0.0276	0.0193
	5.5	4	0.0057	0.0228	0.0182	0.0411	0.0287
	6.7	5.5	0.0116	0.0465	0.0372	0.0838	0.0586
	9.5	8	0.0340	0.1361	0.1089	0.2450	0.1715
P4	5.6	4	0.0059	0.0236	0.0189	0.0426	0.0298
	5.6	6	0.0089	0.0355	0.0284	0.0638	0.0447
	6.6	2.5	0.0051	0.0205	0.0164	0.0369	0.0259
	8.5	7	0.0238	0.0953	0.0763	0.1716	0.1201
	7.3	7	0.0176	0.0703	0.0563	0.1266	0.0886
	8.9	4	0.0149	0.0597	0.0478	0.1075	0.0753
	9.6	5.5	0.0239	0.0955	0.0764	0.1720	0.1204
	7	6	0.0139	0.0554	0.0443	0.0998	0.0698
	8.4	7	0.0233	0.0931	0.0745	0.1676	0.1173
P5	9.2	2.5	0.0100	0.0399	0.0319	0.0718	0.0503
	7.2	6	0.0147	0.0586	0.0469	0.1055	0.0739
	5.1	2	0.0025	0.0098	0.0078	0.0177	0.0124
	5.8	6	0.0095	0.0380	0.0304	0.0685	0.0479
	9	4.5	0.0172	0.0687	0.0550	0.1237	0.0866
	8	4	0.0121	0.0483	0.0386	0.0869	0.0608
	9.6	8	0.0347	0.1390	0.1112	0.2502	0.1751
	5	6	0.0071	0.0283	0.0226	0.0509	0.0356
	7.7	4	0.0112	0.0447	0.0358	0.0805	0.0563
	9.7	4.5	0.0200	0.0798	0.0638	0.1437	0.1006

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P6	9.6	5	0.0217	0.0869	0.0695	0.1563	0.1094
	9.5	6	0.0255	0.1021	0.0817	0.1837	0.1286
	6.7	6	0.0127	0.0508	0.0406	0.0914	0.0640
	9	7.5	0.0286	0.1145	0.0916	0.2061	0.1443
	5.4	2.5	0.0034	0.0137	0.0110	0.0247	0.0173
	7.7	5	0.0140	0.0559	0.0447	0.1006	0.0704
	5.6	4	0.0059	0.0236	0.0189	0.0426	0.0298
	5.5	3.5	0.0050	0.0200	0.0160	0.0359	0.0251
	5.1	2	0.0025	0.0098	0.0078	0.0177	0.0124
	5.5	2.5	0.0036	0.0143	0.0114	0.0257	0.0180
	5	3	0.0035	0.0141	0.0113	0.0254	0.0178
	7.6	3	0.0082	0.0327	0.0261	0.0588	0.0412
	5.4	4.5	0.0062	0.0247	0.0198	0.0445	0.0312
	9.4	5	0.0208	0.0833	0.0666	0.1499	0.1049
	7.9	3	0.0088	0.0353	0.0282	0.0635	0.0445
	8.8	6	0.0219	0.0876	0.0701	0.1576	0.1104
	7	4	0.0092	0.0369	0.0296	0.0665	0.0466
	5.7	2	0.0031	0.0122	0.0098	0.0220	0.0154
P7	5.1	3	0.0037	0.0147	0.0118	0.0265	0.0185
	5.8	4	0.0063	0.0254	0.0203	0.0457	0.0320
	9.2	7	0.0279	0.1117	0.0893	0.2010	0.1407
	5.5	6	0.0086	0.0342	0.0274	0.0616	0.0431
	8.3	6	0.0195	0.0779	0.0623	0.1402	0.0982
	7.2	5	0.0122	0.0489	0.0391	0.0879	0.0616
	9.9	6	0.0277	0.1108	0.0887	0.1995	0.1397
	9.8	5	0.0226	0.0905	0.0724	0.1629	0.1140
	9.6	7	0.0304	0.1216	0.0973	0.2189	0.1532
	8	3	0.0090	0.0362	0.0290	0.0651	0.0456
	8.3	6.5	0.0211	0.0844	0.0675	0.1519	0.1064
	8.2	5	0.0158	0.0634	0.0507	0.1141	0.0798
	7.7	3	0.0084	0.0335	0.0268	0.0604	0.0422
	9.8	6	0.0272	0.1086	0.0869	0.1955	0.1369
	5	2	0.0024	0.0094	0.0075	0.0170	0.0119
	5.6	4.5	0.0067	0.0266	0.0213	0.0479	0.0335
	9.8	7	0.0317	0.1267	0.1014	0.2281	0.1597
P8	6.4	6.5	0.0125	0.0502	0.0401	0.0903	0.0632
	9.5	7	0.0298	0.1191	0.0953	0.2143	0.1500
	6	2	0.0034	0.0136	0.0109	0.0244	0.0171
	8.9	4	0.0149	0.0597	0.0478	0.1075	0.0753
	8.6	5	0.0174	0.0697	0.0558	0.1255	0.0878
	5.7	4.5	0.0069	0.0276	0.0220	0.0496	0.0347
	9.1	6	0.0234	0.0937	0.0749	0.1686	0.1180
	9	5	0.0191	0.0763	0.0611	0.1374	0.0962
	8.3	4.5	0.0146	0.0584	0.0467	0.1052	0.0736
	8.2	5	0.0158	0.0634	0.0507	0.1141	0.0798
	6.4	6	0.0116	0.0463	0.0371	0.0834	0.0584
	8.4	6	0.0200	0.0798	0.0638	0.1436	0.1006
	8.2	6	0.0190	0.0760	0.0608	0.1369	0.0958
	5.2	2.5	0.0032	0.0127	0.0102	0.0229	0.0161
	5.3	3	0.0040	0.0159	0.0127	0.0286	0.0200
	7.1	4	0.0095	0.0380	0.0304	0.0684	0.0479
	9.4	5	0.0208	0.0833	0.0666	0.1499	0.1049
	8.9	7	0.0261	0.1045	0.0836	0.1881	0.1317

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P9	5.8	6	0.0095	0.0380	0.0304	0.0685	0.0479
	7.3	6	0.0151	0.0603	0.0482	0.1085	0.0759
	5.5	2.5	0.0036	0.0143	0.0114	0.0257	0.0180
	8.9	7	0.0261	0.1045	0.0836	0.1881	0.1317
	5.7	6	0.0092	0.0367	0.0294	0.0661	0.0463
	8.3	5	0.0162	0.0649	0.0519	0.1169	0.0818
	5.3	2.5	0.0033	0.0132	0.0106	0.0238	0.0167
	6.4	4	0.0077	0.0309	0.0247	0.0556	0.0389
	7.7	2	0.0056	0.0224	0.0179	0.0402	0.0282
	5.2	4	0.0051	0.0204	0.0163	0.0367	0.0257
	6.1	4.5	0.0079	0.0316	0.0253	0.0568	0.0398
	3	4	0.0017	0.0068	0.0054	0.0122	0.0086
	6.8	5	0.0109	0.0436	0.0349	0.0784	0.0549
	5.1	4.5	0.0055	0.0221	0.0177	0.0397	0.0278
	7.1	4	0.0095	0.0380	0.0304	0.0684	0.0479
	6.2	3	0.0054	0.0217	0.0174	0.0391	0.0274
P10	6.1	5	0.0088	0.0351	0.0281	0.0631	0.0442
	5.6	4	0.0059	0.0236	0.0189	0.0426	0.0298
	6	5.5	0.0093	0.0373	0.0299	0.0672	0.0470
	6.8	6	0.0131	0.0523	0.0418	0.0941	0.0659
	5.2	2.5	0.0032	0.0127	0.0102	0.0229	0.0161
	5.6	6	0.0089	0.0355	0.0284	0.0638	0.0447
	5.7	6	0.0092	0.0367	0.0294	0.0661	0.0463
	5.2	4	0.0051	0.0204	0.0163	0.0367	0.0257
	7.6	6	0.0163	0.0653	0.0523	0.1176	0.0823
	6.4	6	0.0116	0.0463	0.0371	0.0834	0.0584
	5.6	7	0.0103	0.0414	0.0331	0.0745	0.0521
	6.6	6.5	0.0133	0.0534	0.0427	0.0961	0.0672
	8.5	6	0.0204	0.0817	0.0654	0.1471	0.1030
	5.3	5	0.0066	0.0265	0.0212	0.0477	0.0334
	7.3	8	0.0201	0.0804	0.0643	0.1446	0.1013
	6.5	6	0.0119	0.0478	0.0382	0.0860	0.0602
	7	7	0.0162	0.0647	0.0517	0.1164	0.0815
	5.6	6	0.0089	0.0355	0.0284	0.0638	0.0447
	5.4	7	0.0096	0.0385	0.0308	0.0693	0.0485
	7.9	6	0.0176	0.0706	0.0565	0.1271	0.0889
	7.5	5	0.0133	0.0530	0.0424	0.0954	0.0668

Anexo 5: Biomasa total maderable en fustales (≥ 10 cm de DAP)

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m ³)	Volumen maderable sobre el suelo (m ³)	Volumen maderable bajo el suelo (m ³)	Volumen total maderable (m ³)	Biomasa total maderable (t)
P1	14.64	10	0.1010	0.4041	0.3233	0.7274	0.5092
	18.46	3	0.0482	0.1927	0.1542	0.3469	0.2429
	17.83	6	0.0898	0.3594	0.2875	0.6468	0.4528
	21.01	7	0.1456	0.5824	0.4659	1.0482	0.7338
	20.69	5	0.1009	0.4035	0.3228	0.7262	0.5084
	26.42	9	0.2960	1.1841	0.9473	2.1314	1.4920
	15.44	5	0.0562	0.2246	0.1797	0.4043	0.2830
	17.51	8	0.1155	0.4622	0.3697	0.8319	0.5824
	17.51	9	0.1300	0.5200	0.4160	0.9359	0.6552
	20.05	3	0.0569	0.2274	0.1819	0.4093	0.2865
	18.14	6	0.0931	0.3723	0.2978	0.6702	0.4691
	13.05	3	0.0241	0.0963	0.0771	0.1734	0.1214
P2	20.69	10	0.2017	0.8069	0.6455	1.4525	1.0167
	12.41	4	0.0290	0.1162	0.0930	0.2092	0.1464
	28.01	5	0.1664	0.6655	0.5324	1.1980	0.8386
	19.10	8	0.1375	0.5500	0.4400	0.9901	0.6931
	18.78	5	0.0831	0.3324	0.2659	0.5983	0.4188
	23.55	4	0.1046	0.4183	0.3347	0.7530	0.5271
	20.53	7	0.1390	0.5562	0.4449	1.0011	0.7008
	14.64	9	0.0909	0.3637	0.2910	0.6547	0.4583
	21.96	9	0.2046	0.8184	0.6547	1.4730	1.0311
	23.87	4	0.0940	0.3760	0.3008	0.6768	0.4738
P3	14.96	7	0.0738	0.2953	0.2363	0.5316	0.3721
	14.96	4	0.0422	0.1688	0.1350	0.3038	0.2126
	22.92	6	0.1485	0.5940	0.4752	1.0693	0.7485
	12.41	5	0.0363	0.1452	0.1162	0.2614	0.1830
	20.05	8	0.1516	0.6064	0.4851	1.0916	0.7641
	18.78	10	0.1662	0.6648	0.5319	1.1967	0.8377
	13.69	4	0.0353	0.1413	0.1130	0.2543	0.1780
	14.96	7	0.0738	0.2953	0.2363	0.5316	0.3721
	13.37	5	0.0421	0.1684	0.1348	0.3032	0.2122
	19.42	8	0.1421	0.5685	0.4548	1.0234	0.7163
	12.10	3	0.0207	0.0827	0.0662	0.1489	0.1042
	22.92	7	0.1733	0.6931	0.5544	1.2475	0.8732
P4	15.92	5	0.0597	0.2387	0.1910	0.4297	0.3008
	15.28	5	0.0550	0.2200	0.1760	0.3960	0.2772
	15.28	5	0.0550	0.2200	0.1760	0.3960	0.2772
	21.65	3	0.0552	0.2208	0.1766	0.3974	0.2782
	25.15	5	0.1490	0.5960	0.4768	1.0728	0.7509
	14.32	6	0.0580	0.2320	0.1856	0.4177	0.2924
	14.01	5	0.0462	0.1849	0.1479	0.3328	0.2329
	19.42	5	0.0799	0.3198	0.2558	0.5756	0.4029
	23.55	4	0.1046	0.4183	0.3347	0.7530	0.5271
	14.96	4	0.0422	0.1688	0.1350	0.3038	0.2126
	20.37	4	0.0782	0.3129	0.2503	0.5632	0.3943
	15.92	5	0.0537	0.2149	0.1719	0.3867	0.2707
	13.37	3	0.0253	0.1011	0.0809	0.1819	0.1273
	16.23	6	0.0745	0.2981	0.2384	0.5365	0.3755
	16.55	3	0.0387	0.1549	0.1239	0.2789	0.1952
	13.05	3	0.0241	0.0963	0.0771	0.1734	0.1214
	16.23	6	0.0745	0.2981	0.2384	0.5365	0.3755

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P5	13.69	4	0.0353	0.1413	0.1130	0.2543	0.1780
	18.14	5	0.0776	0.3103	0.2482	0.5585	0.3909
	17.83	6	0.0898	0.3594	0.2875	0.6468	0.4528
	11.46	4	0.0248	0.0990	0.0792	0.1782	0.1247
	21.96	7	0.1591	0.6365	0.5092	1.1457	0.8020
	24.51	8	0.2123	0.8493	0.6794	1.5287	1.0701
	17.51	6	0.0867	0.3466	0.2773	0.6240	0.4368
	12.10	4	0.0241	0.0965	0.0772	0.1737	0.1216
	15.60	3	0.0344	0.1376	0.1101	0.2476	0.1733
	25.46	7	0.1986	0.7945	0.6356	1.4301	1.0011
	18.78	5	0.0831	0.3324	0.2659	0.5983	0.4188
	18.14	6	0.0931	0.3723	0.2978	0.6702	0.4691
	11.46	3	0.0155	0.0619	0.0495	0.1114	0.0780
	14.64	6	0.0606	0.2425	0.1940	0.4365	0.3055
	21.33	5	0.1072	0.4287	0.3429	0.7716	0.5401
	22.60	6	0.1444	0.5777	0.4621	1.0398	0.7278
	14.01	4	0.0370	0.1479	0.1183	0.2662	0.1864
	17.51	5	0.0722	0.2889	0.2311	0.5200	0.3640
	18.46	5	0.0803	0.3212	0.2570	0.5782	0.4048
	25.46	7	0.2139	0.8556	0.6845	1.5401	1.0781
P6	16.55	3	0.0387	0.1549	0.1239	0.2789	0.1952
	18.78	5	0.0831	0.3324	0.2659	0.5983	0.4188
	12.41	3	0.0218	0.0871	0.0697	0.1569	0.1098
	10.82	3	0.0166	0.0662	0.0530	0.1192	0.0835
	16.87	5	0.0671	0.2682	0.2146	0.4828	0.3380
	12.41	3	0.0218	0.0871	0.0697	0.1569	0.1098
	12.73	4	0.0306	0.1222	0.0978	0.2200	0.1540
	15.60	5	0.0573	0.2293	0.1834	0.4127	0.2889
	23.24	6	0.1527	0.6107	0.4885	1.0992	0.7694
	17.51	5	0.0722	0.2889	0.2311	0.5200	0.3640
	22.92	6	0.1485	0.5940	0.4752	1.0693	0.7485
	22.28	5	0.1170	0.4679	0.3743	0.8422	0.5896
	13.05	3	0.0241	0.0963	0.0771	0.1734	0.1214
	17.19	4	0.0557	0.2228	0.1782	0.4010	0.2807
	22.92	6	0.1485	0.5940	0.4752	1.0693	0.7485
	21.65	5	0.1104	0.4416	0.3532	0.7948	0.5564
	22.12	6	0.1384	0.5535	0.4428	0.9963	0.6974
	26.74	10	0.3369	1.3476	1.0781	2.4257	1.6980
	26.74	5	0.1684	0.6738	0.5390	1.2128	0.8490
	23.87	7	0.1880	0.7520	0.6016	1.3536	0.9475
	18.78	8	0.1330	0.5319	0.4255	0.9573	0.6701
P7	27.06	5	0.1725	0.6899	0.5520	1.2419	0.8693
	22.28	7	0.1638	0.6551	0.5241	1.1791	0.8254
	14.32	4	0.0387	0.1547	0.1238	0.2785	0.1949
	19.42	5	0.0888	0.3553	0.2843	0.6396	0.4477
	17.83	4	0.0599	0.2396	0.1917	0.4312	0.3019
	12.41	4	0.0290	0.1162	0.0930	0.2092	0.1464
	14.96	6	0.0633	0.2531	0.2025	0.4556	0.3189
	12.10	5	0.0345	0.1379	0.1103	0.2482	0.1737
	15.60	6	0.0688	0.2751	0.2201	0.4952	0.3467
	12.10	4	0.0241	0.0965	0.0772	0.1737	0.1216
	20.05	4	0.0758	0.3032	0.2426	0.5458	0.3820
	23.08	7	0.1757	0.7027	0.5622	1.2649	0.8854
	21.01	7	0.1456	0.5824	0.4659	1.0482	0.7338

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P7	20.37	6	0.1173	0.4694	0.3755	0.8449	0.5914
	18.78	5	0.0831	0.3324	0.2659	0.5983	0.4188
	17.19	4	0.0557	0.2228	0.1782	0.4010	0.2807
	26.74	6	0.2021	0.8086	0.6468	1.4554	1.0188
	18.46	5	0.0803	0.3212	0.2570	0.5782	0.4048
	17.83	5	0.0749	0.2995	0.2396	0.5390	0.3773
	19.74	8	0.1468	0.5873	0.4699	1.0572	0.7400
	20.05	6	0.1137	0.4548	0.3639	0.8187	0.5731
P8	21.96	8	0.1819	0.7274	0.5819	1.3094	0.9166
	15.92	4	0.0477	0.1910	0.1528	0.3438	0.2406
	13.05	3	0.0241	0.0963	0.0771	0.1734	0.1214
	18.46	9	0.1446	0.5782	0.4626	1.0408	0.7286
	22.28	7	0.1638	0.6551	0.5241	1.1791	0.8254
	27.06	8	0.2760	1.1039	0.8831	1.9870	1.3909
	27.37	7	0.2472	0.9888	0.7910	1.7798	1.2459
	15.60	6	0.0688	0.2751	0.2201	0.4952	0.3467
	25.46	7	0.2139	0.8556	0.6845	1.5401	1.0781
	19.42	5	0.0888	0.3553	0.2843	0.6396	0.4477
	21.65	5	0.1104	0.4416	0.3532	0.7948	0.5564
	22.28	7	0.1638	0.6551	0.5241	1.1791	0.8254
	18.46	4	0.0642	0.2570	0.2056	0.4626	0.3238
	25.46	6	0.1833	0.7334	0.5867	1.3201	0.9241
	28.33	5	0.1891	0.7564	0.6051	1.3615	0.9531
	24.19	10	0.2758	1.1031	0.8825	1.9856	1.3900
	27.69	7	0.2530	1.0119	0.8095	1.8214	1.2750
	15.60	6	0.0688	0.2751	0.2201	0.4952	0.3467
	11.46	8	0.0464	0.1856	0.1485	0.3341	0.2339
	18.78	6	0.0997	0.3989	0.3191	0.7180	0.5026
	20.05	4	0.0758	0.3032	0.2426	0.5458	0.3820
	28.65	9	0.3481	1.3923	1.1138	2.5061	1.7543
P9	25.78	4	0.1253	0.5012	0.4010	0.9022	0.6315
	22.92	5	0.1238	0.4950	0.3960	0.8911	0.6237
	21.33	4	0.0857	0.3429	0.2743	0.6173	0.4321
	11.14	3	0.0146	0.0585	0.0468	0.1053	0.0737
	26.74	5	0.1684	0.6738	0.5390	1.2128	0.8490
	13.05	4	0.0321	0.1284	0.1027	0.2312	0.1618
	25.15	6	0.1788	0.7152	0.5721	1.2873	0.9011
	26.42	6	0.1974	0.7894	0.6315	1.4210	0.9947
	14.96	4	0.0422	0.1688	0.1350	0.3038	0.2126
	20.37	3	0.0587	0.2347	0.1877	0.4224	0.2957
	26.10	6	0.1926	0.7705	0.6164	1.3869	0.9708
	27.06	4	0.1380	0.5520	0.4416	0.9935	0.6955
	18.14	6	0.0931	0.3723	0.2978	0.6702	0.4691
	19.74	6	0.1009	0.4038	0.3230	0.7268	0.5088
	28.65	5	0.1934	0.7735	0.6188	1.3923	0.9746
	21.96	4	0.0909	0.3637	0.2910	0.6547	0.4583
	26.74	7	0.2358	0.9433	0.7547	1.6980	1.1886

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P10	26.74	8	0.2695	1.0781	0.8625	1.9405	1.3584
	27.06	7	0.2415	0.9659	0.7727	1.7386	1.2171
	19.10	3	0.0516	0.2063	0.1650	0.3713	0.2599
	17.51	3	0.0433	0.1733	0.1387	0.3120	0.2184
	13.37	2	0.0168	0.0674	0.0539	0.1213	0.0849
	20.05	7	0.1327	0.5306	0.4245	0.9551	0.6686
	22.60	6	0.1444	0.5777	0.4621	1.0398	0.7278
	23.87	9	0.2417	0.9669	0.7735	1.7404	1.2183
	14.64	2	0.0202	0.0808	0.0647	0.1455	0.1018
	12.41	3	0.0218	0.0871	0.0697	0.1569	0.1098
	13.37	5	0.0421	0.1684	0.1348	0.3032	0.2122
	14.96	5	0.0527	0.2109	0.1688	0.3797	0.2658
	26.42	7	0.2302	0.9210	0.7368	1.6578	1.1605
	15.60	6	0.0688	0.2751	0.2201	0.4952	0.3467
	19.74	6	0.1101	0.4405	0.3524	0.7929	0.5550
	14.32	5	0.0483	0.1934	0.1547	0.3481	0.2437
	18.78	5	0.0831	0.3324	0.2659	0.5983	0.4188
	12.73	4	0.0306	0.1222	0.0978	0.2200	0.1540
	28.65	6	0.2320	0.9282	0.7426	1.6707	1.1695
	26.74	7	0.2358	0.9433	0.7547	1.6980	1.1886
	23.87	5	0.1343	0.5371	0.4297	0.9669	0.6768
	13.05	7	0.0562	0.2247	0.1798	0.4045	0.2832

Anexo 6: Biomasa total maderable en árboles maduros (≥ 30 cm de DAP)

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m ³)	Volumen maderable sobre el suelo (m ³)	Volumen maderable bajo el suelo (m ³)	Volumen total maderable (m ³)	Biomasa total maderable (t)
P1	63.03	11	2.0590	8.2362	6.5889	14.8251	10.3776
	69.07	15	3.3725	13.4900	10.7920	24.2821	16.9974
	46.47	7	0.7124	2.8497	2.2798	5.1295	3.5907
P2	55.70	15	2.1934	8.7734	7.0187	15.7922	11.0545
	42.02	12	0.9983	3.9933	3.1946	7.1879	5.0316
	62.07	10	1.8156	7.2623	5.8098	13.0721	9.1504
	34.38	8	0.4455	1.7821	1.4257	3.2078	2.2455
P3	54.11	8	1.1039	4.4156	3.5325	7.9481	5.5637
	33.26	8	0.4171	1.6685	1.3348	3.0033	2.1023
	76.08	9	2.4546	9.8184	7.8547	17.6731	12.3712
	144.51	10	9.8413	39.3653	31.4923	70.8576	49.6003
P4	36.92	10	0.6425	2.5699	2.0559	4.6258	3.2381
	42.97	9	0.7832	3.1327	2.5061	5.6388	3.9471
	32.15	8	0.3897	1.5586	1.2469	2.8055	1.9638
	38.52	8	0.5592	2.2370	1.7896	4.0266	2.8186
	76.08	10	2.7273	10.9093	8.7275	19.6368	13.7458
	31.83	8	0.3820	1.5279	1.2223	2.7502	1.9251
	34.70	4	0.2269	0.9076	0.7261	1.6338	1.1436
	37.24	9	0.5882	2.3530	1.8824	4.2353	2.9647
P5	59.05	4	0.6572	2.6288	2.1030	4.7318	3.3122
	42.34	7	0.5912	2.3649	1.8919	4.2567	2.9797
	81.49	7	2.1904	8.7615	7.0092	15.7708	11.0395
	78.30	7	2.0226	8.0904	6.4723	14.5627	10.1939
	30.88	6	0.2695	1.0782	0.8626	1.9408	1.3585
	41.38	8	0.6455	2.5821	2.0657	4.6478	3.2535
	79.58	8	2.3873	9.5493	7.6395	17.1888	12.0321
	73.21	6	1.5155	6.0619	4.8495	10.9114	7.6380
	40.74	8	0.6258	2.5033	2.0026	4.5059	3.1542
P6	50.61	8	0.9657	3.8627	3.0901	6.9528	4.8670
	74.17	7	1.8145	7.2579	5.8063	13.0643	9.1450
	31.19	5	0.2293	0.9171	0.7337	1.6508	1.1556
	40.43	6	0.4621	1.8483	1.4786	3.3269	2.3288
	35.65	7	0.4193	1.6770	1.3416	3.0186	2.1130
	32.15	6	0.2922	1.1690	0.9352	2.1041	1.4729
	47.11	8	0.8367	3.3467	2.6774	6.0240	4.2168
	29.92	6	0.2531	1.0125	0.8100	1.8226	1.2758
	66.53	8	1.6685	6.6740	5.3392	12.0132	8.4092
	30.24	7	0.3016	1.2066	0.9652	2.1718	1.5203
P7	33.42	10	0.5264	2.1056	1.6845	3.7901	2.6531
	47.75	12	1.2892	5.1566	4.1253	9.2819	6.4974
	33.10	7	0.3615	1.4460	1.1568	2.6028	1.8220
	31.83	10	0.4775	1.9099	1.5279	3.4378	2.4064
	35.97	7	0.4268	1.7071	1.3657	3.0728	2.1509
	84.67	9	3.0405	12.1621	9.7297	21.8918	15.3242
	34.22	4	0.2207	0.8828	0.7063	1.5891	1.1124
	37.40	8	0.5274	2.1094	1.6876	3.7970	2.6579
	55.39	7	1.0119	4.0476	3.2381	7.2857	5.1000
	59.21	8	1.3215	5.2859	4.2287	9.5146	6.6602
	120.96	10	6.8946	27.5784	22.0627	49.6412	34.7488

Parcela de investigación	DAP (cm)	Hc (m)	Volumen (m³)	Volumen maderable sobre el suelo (m³)	Volumen maderable bajo el suelo (m³)	Volumen total maderable (m³)	Biomasa total maderable (t)
P8	35.65	10	0.5989	2.3957	1.9166	4.3123	3.0186
	42.34	6	0.5068	2.0270	1.6216	3.6486	2.5540
	32.47	7	0.3477	1.3909	1.1127	2.5036	1.7526
	40.43	8	0.6161	2.4643	1.9715	4.4358	3.1051
	43.29	10	0.8831	3.5325	2.8260	6.3585	4.4509
	46.79	9	0.9286	3.7143	2.9715	6.6858	4.6800
	71.94	10	2.4387	9.7548	7.8039	17.5587	12.2911
	37.88	11	0.7438	2.9750	2.3800	5.3550	3.7485
P9	55.07	5	0.7145	2.8580	2.2864	5.1444	3.6011
	34.38	6	0.3341	1.3366	1.0693	2.4059	1.6841
	36.61	7	0.4420	1.7681	1.4144	3.1825	2.2278
	65.25	8	1.6052	6.4210	5.1368	11.5577	8.0904
	33.42	7	0.3685	1.4739	1.1791	2.6531	1.8572
	79.58	9	2.6857	10.7430	8.5944	19.3374	13.5362
	35.65	8	0.4791	1.9166	1.5333	3.4499	2.4149
	33.42	6	0.3158	1.2634	1.0107	2.2741	1.5919
P10	30.24	8	0.3447	1.3789	1.1031	2.4821	1.7374
	60.16	7	1.1939	4.7756	3.8204	8.5960	6.0172
	75.76	10	2.7046	10.8182	8.6546	19.4728	13.6310
	37.56	8	0.5319	2.1274	1.7019	3.8294	2.6806
	40.11	10	0.7580	3.0321	2.4257	5.4578	3.8204
	43.93	8	0.7274	2.9097	2.3278	5.2375	3.6662
	35.01	9	0.5200	2.0798	1.6639	3.7437	2.6206
	33.42	9	0.4738	1.8951	1.5160	3.4111	2.3878
	58.57	10	1.6165	6.4660	5.1728	11.6389	8.1472
	35.01	8	0.4622	1.8487	1.4790	3.3277	2.3294
	48.70	11	1.2295	4.9179	3.9343	8.8522	6.1965
	42.65	8	0.6859	2.7435	2.1948	4.9383	3.4568

Anexo 12: Panel fotográfico



Foto 1. Georreferenciación de las parcelas de submuestreo



Foto 2. Delimitación de las parcelas de submuestreo



Foto 3. Muestreo de suelo



Foto 4. Registro de datos en campo



Foto 5. Medición del DAP en árboles maduros



Foto 6. Muestras de suelo



Foto 7. Muestras de hojarasca



Foto 8. Pesado de muestras



Foto 9. Secado de muestras

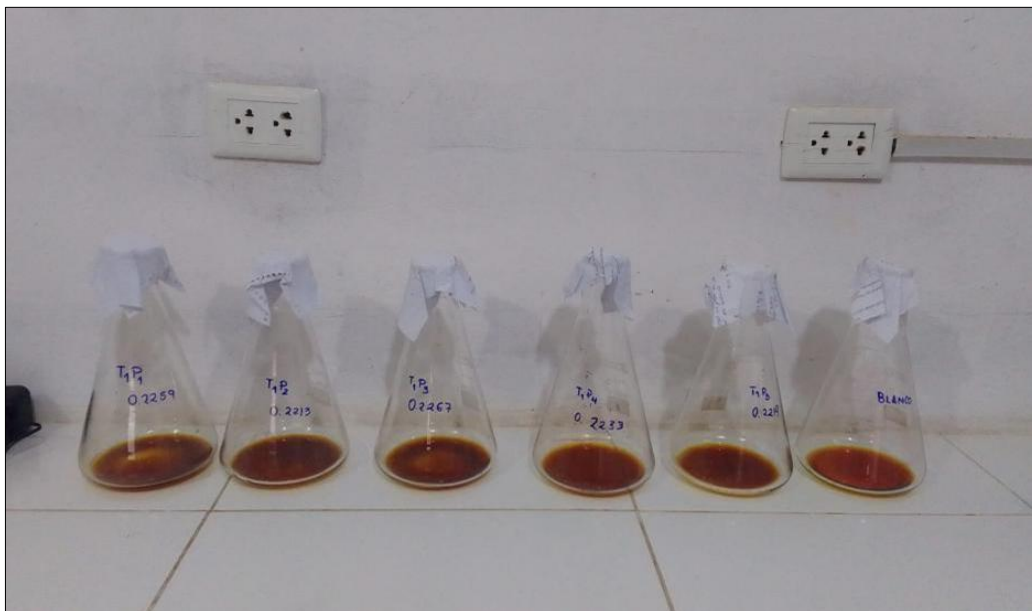


Foto 10. Ensayo de materia orgánica en suelo