



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

SERFOR Servicio
Nacional
Forestal y
de Fauna
Silvestre

**SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE
FAUNA SILVESTRE**

DIRECCIÓN DE INVENTARIO Y VALORACIÓN

ESTIMACIONES DE BIOMASA, CARBONO, FACTORES DE EMISIÓN E INCERTIDUMBRES

**A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL
INVENTARIO NACIONAL FORESTAL Y
DE FAUNA SILVESTRE**

DICIEMBRE 2023

**ESTIMACIONES DE BIOMASA, CARBONO, FACTORES DE EMISIÓN E INCERTIDUMBRES
A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE**

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

Ministra de Desarrollo Agrario y Riego
Jennifer Lizetti Contreras Álvarez

Viceministro de Políticas y Supervisión de Desarrollo Agrario
Víctor Hugo Parra Puente

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego
Christian Alfredo Barrantes Bravo

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR)

Director Ejecutivo
Luis Alberto Gonzáles-Zúñiga Guzmán

Dirección General de Información y Ordenamiento
Forestal y de Fauna Silvestre
Directora General
Elvira Gómez Rivero

Dirección de Inventario y Valoración
Directora
Patricia Durán Montesinos

Equipo técnico
Edgar Alexs Arana Olivos

© Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR)
Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Oarrantia, Magdalena del Mar, Lima - Perú.
Teléfono: (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
informes@serfor.gob.pe
Lima, Perú. 2023

Referencia sugerida:

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2023). Estimaciones de biomasa, carbono, factores de emisión e incertidumbres a partir de los resultados del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre del Perú. Lima, Perú.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	PRESENTACIÓN, OBJETIVO Y ALCANCES	2
II.	METODOLOGÍA.....	3
2.1.	Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre	3
2.2.	Características y formas de las unidades muestrales	5
2.3.	Gestión de datos e información	9
2.4.	Parámetros considerados en los cálculos	9
2.5.	Selección de reservorios	9
2.6.	Ecuaciones alométricas	11
2.7.	Análisis de incertidumbre.....	13
III.	RESULTADOS.....	17
3.1.	Biomasa y carbono aéreo.....	17
3.2.	Biomasa y carbono radicular.....	18
3.3.	Necromasa	18
a.	Hojarasca.....	18
b.	Árboles muertos caídos.....	19
c.	Árboles muertos en pie	19
3.4.	Estimación de biomasa y carbono total, factores de emisión e incertidumbre	20
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
V.	BIBLIOGRAFIA.....	25

I. PRESENTACIÓN, OBJETIVO Y ALCANCES

Los bosques son extremadamente importantes para la mitigación del cambio climático. A través de la fotosíntesis, los árboles absorben dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y lo convierten en oxígeno. Así, los bosques actúan como sumideros de carbono, almacenando grandes cantidades de CO₂ en su biomasa, tanto aérea como del suelo.

Los bosques son los almacenes más importantes del mundo (Jandl, 2001), y son responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración. Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica (Leith & Whithacker, 1975). De éstos, el tipo bosque tropical domina claramente sobre los otros bosques del mundo (40% de área global de bosques representados). Por ello, el rol del bosque tropical predomina por sobre los demás bosques en el ciclo del carbono, basado en el flujo y volumen almacenado de carbono (Butcher *et al.*, 1998) y por tanto la gran importancia de su conservación como sumidero de carbono.

El objetivo principal de este informe es presentar las estimaciones del contenido de carbono, factores de emisión, así como las incertidumbres asociadas de la biomasa aérea, hojarasca, radicular y necromasa (árboles muertos caídos y en pie) en cada una de las ecozonas de los bosques del Perú.

Las estimaciones de contenido de carbono toman como insumo los datos recogidos en campo para las ecozonas Sierra, Hidromórfica, Costa, Selva Baja, Selva Alta Accesible y Selva Alta de Difícil Acceso, en el marco del desarrollo del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, ejecutado desde el año 2013 por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, a través de la Dirección de Inventario y Valoración.

II. METODOLOGÍA

2.1. Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

El INFFS es responsable de llevar a cabo el registro y medición de las características de los bosques en el territorio nacional. Para ello, se realiza la identificación de las especies presentes, así como la medición de árboles vivos, hojarasca y necromasa. Además, se lleva a cabo el registro de la fauna silvestre. Debido a la extensión de los bosques, se utilizan unidades muestrales para las mediciones de campo. Estas unidades son representativas de la población de interés que es la superficie del territorio nacional. El objetivo del INFFS es estimar los cambios en la cobertura y biomasa de los bosques en relación con otros usos de la tierra.

En el Perú, debido a las características particulares de los bosques, se han definido seis subpoblaciones de interés llamadas ecozonas. Cada ecozona tiene un diseño de muestreo adaptado a su variabilidad, extensión, accesibilidad y costos de evaluación. De esta manera, se logra obtener una muestra representativa de cada subpoblación y así estimar los cambios en la cobertura y biomasa de los bosques en cada ecozona.

Es importante destacar que el INFFS tiene un papel fundamental en la conservación y manejo sostenible de los bosques en el territorio nacional. Gracias a su labor, se puede obtener información valiosa sobre el estado actual de los bosques y su evolución en el tiempo, lo que permite tomar decisiones informadas para su protección y uso sostenible.

Nuestro país tiene una superficie de 128'521,559 hectáreas que corresponde al ámbito de todo el territorio nacional y esta misma se toma como el área de análisis del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. La metodología del INFFS identificó 1 916 unidades muestrales (UM) distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional distribuidos en 6 ecozonas (costa, sierra, selva baja, hidromórfica, selva alta accesible y selva alta difícil) agrupadas en 5 paneles. Un panel es una selección de unidades muestrales (UM) que comprende alrededor del 20% del total de la muestra que se distribuye en todo el país.

Cuadro 1 : Descripción de las ecozonas

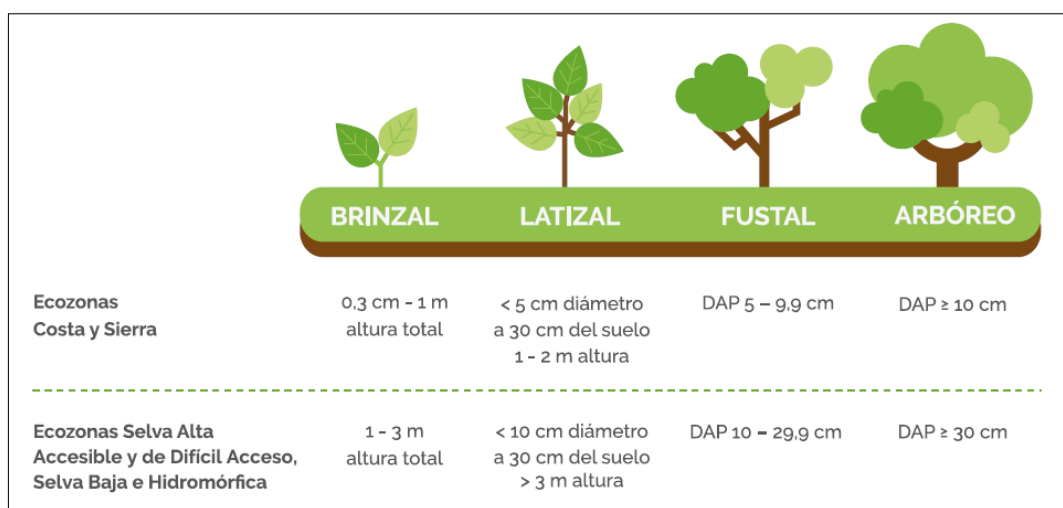
Ecozona	Características
Costa (CO)	Situada hasta 2000 msnm, predomina una cobertura vegetal arbórea rala tipo seco de porte bajo y ramificado; están ubicados en zona norte del Perú.
Sierra (SI)	Zona de los Andes que abarca desde 2000 msnm (zona de costa) hasta 6000 msnm. Baja en la zona oriental hasta los 3800 msnm. Presenta predominantemente una cobertura vegetal de pajonal altoandino y páramos. Su cobertura arbórea es diseminada de porte bajo de tipo relictos altos y mesoandinos homogéneos con fuertes intervenciones. Se complementa con los bosques secos de valles interandinos.

Ecozona	Características
Selva alta accesible (SAA)	Presenta un rango altitudinal desde 500 hasta 3800 msnm. Su fisiografía en ciertos rangos altitudinales facilita la construcción de infraestructura vial y la realización de otras actividades económicas. La cobertura arbórea presenta fustes rectos y copas amplias. Sin embargo, en las zonas altas la cobertura es de porte bajo achaparrado y pueden llegar hasta 10 m de altura, con fustes deformes y copas reducidas, además con la presencia de musgos y epífitas adheridas a los árboles.
Selva alta difícil acceso (SAD)	Predomina desde 500 hasta 3800 msnm. Esta unidad se recubre de superficies de relieve o presenta fisiografía generalmente montañosa de pendientes fuertes y muy disectadas por lo que, debido a su difícil acceso, mantienen un mejor estado de conservación.
Selva baja (SB)	Situado entre 100 a 500 msnm, la vegetación predominante es de porte arbóreo, pudiendo llegar hasta 40 m de altura, con fustes definidos y rectos, copas amplias y frondosas. Cubre una amplia variedad de unidades fisiográficas: complejos de orillares (llanuras meándricas), terrazas bajas, terrazas medias, terrazas altas, colinas bajas y colinas altas en forma aislada.
Hidromórfica (HI)	Conocida también como la formación geológica Ucamara (Ucayali-Marañón), está representada por los grandes humedales presentes en el Abanico del Pastaza, los humedales de la Reserva Nacional Pacaya Samiria y los humedales del río Tapiche.

Fuente: Memoria descriptiva del mapa de ecozonas del INFFS (SERFOR, MINAM y FAO. 2014)

Para el registro de la vegetación, se han establecido medidas referenciales de diámetro y alturas mínimas para cada estrato poblacional. De esta manera, se puede tener un mejor control y seguimiento del crecimiento y desarrollo de la vegetación en la UM. Es importante destacar que estas medidas varían de acuerdo con la ecozona en la que se encuentre la vegetación, ya que cada una tiene características y condiciones propias que influyen en el crecimiento de las especies vegetales.

Figura 1: Estratos de bosque evaluados para los individuos según ecozona



Fuente: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. 2020. Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Informe de resultados del Panel 1. Lima, Perú.

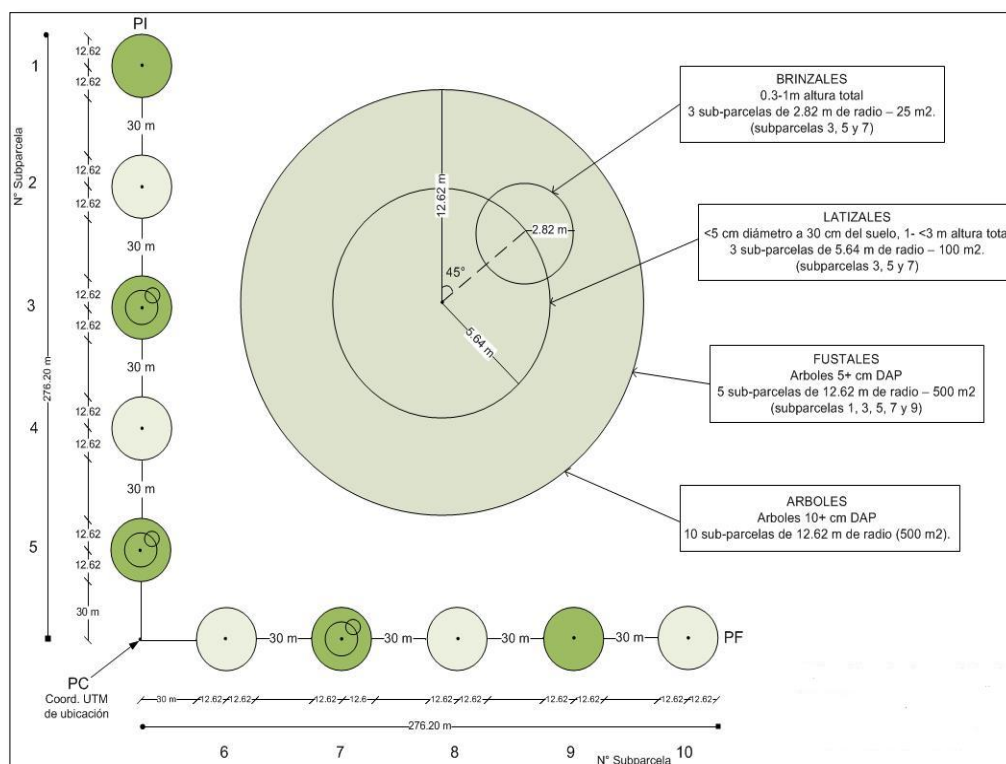
2.2. Características y formas de las unidades muestrales

El siguiente cuadro presenta las características, tales como forma, dimensiones, configuración, entre otros para las unidades muestrales de cada ecozona.

Cuadro 2 : Características y forma de las unidades muestrales del INFFS

Características	Ecozonas		
	Costa y Sierra	Selva Alta Accesible, Selva Alta de Difícil Acceso e Hidromórfica	Selva Baja
Forma de la UM	L	L	L
Superficie total de la UM (ha)	0.5	0.5	0.7
Longitud de los ejes N/E, N/S-E/O	276,2m c/u	276,2m c/u	385m/425m
N° Subparcelas (SP)	10	10	7
Forma Subparcelas	Circular	Circular	Rectangular
Distancia entre SP/UR	30m	30m	75 m
Dimensiones de la Subparcela	radio = 12,62m (0.05ha)	radio = 12,62m (0.05ha)	20mx50m (0.1ha)
Registro de árboles	En todas las SP se registran fustales con $DAP \geq 10\text{cm}$	En todas las SP se registran fustales con $DAP \geq 30\text{cm}$	En todas las UR se miden fustales con $DAP \geq 30\text{cm}$
Registro de fustales	En las SP impares se medirán los fustales de $10\text{cm} > DAP \geq 5\text{cm}$.	En las SP impares se medirán los fustales entre de $30\text{cm} > DAP \geq 10\text{cm}$.	En todas las UR pares se medirán fustales de $30\text{cm} > DAP \geq 10\text{cm}$.
Regeneración vegetal: Latizales	SP anidada de 5,64 m de radio en las SP 3,5 y 7; se medirán (conteo) a 30 cm del suelo latizales con $DAP < 5\text{ cm}$ y $2 \geq H \geq 1\text{m}$	SP anidada de 5,64 m de radio en las SP 3,5 y 7; se medirán latizales en crecimiento con $DAP < 10\text{ cm}$ y $H > 3\text{ m}$.	SP anidada de 10x10m en las UR pares de las parcelas 2,4, 6; se medirán latizales en crecimiento con $DAP < 10\text{ cm}$ y $H > 3\text{ m}$.
Regeneración vegetal: Brinzales	SP anidada de 2,8 m de radio a 45 grados del centro de las subparcelas 3, 5 y 7 se medirán (conteo) brinzales en con $1\text{m} > H > 0,3\text{ m}$.	SP anidada de 2,8 m de radio a 45 grados del centro de las subparcelas 3, 5 y 7 se medirán brinzales en crecimiento con $DAP < 10\text{ cm}$ y entre $3\text{m} > H > 1\text{ m}$.	SP anidada de 5x5m dentro de la SP de brinzales se medirán fustales en crecimiento con $DAP < 10\text{ cm}$ y entre $3\text{m} > H > 1\text{ m}$.

Las figuras 2, 3 y 4 grafican la configuración de las unidades muestrales para las ecozonas del INFFS. Existe 1 forma de UM para Costa y Sierra y otra para las ecozonas de selva alta e Hidromórfica, que difieren en las tallas mínimas de los estratos. En tanto que, la UM para la ecozona selva baja tiene un diseño distinto. Los procedimientos detallados para las mediciones, así como las fichas de registro de datos se encuentran disponibles en el Manual de Campo (accesible para descarga en el Módulo de Inventarios, temática INFFS, sección Publicaciones: <https://sniffs.serfor.gob.pe/inventarios/#/inicio>).

Figura 2: Configuración en campo de la unidad de muestreo de la ecozona costa y sierra

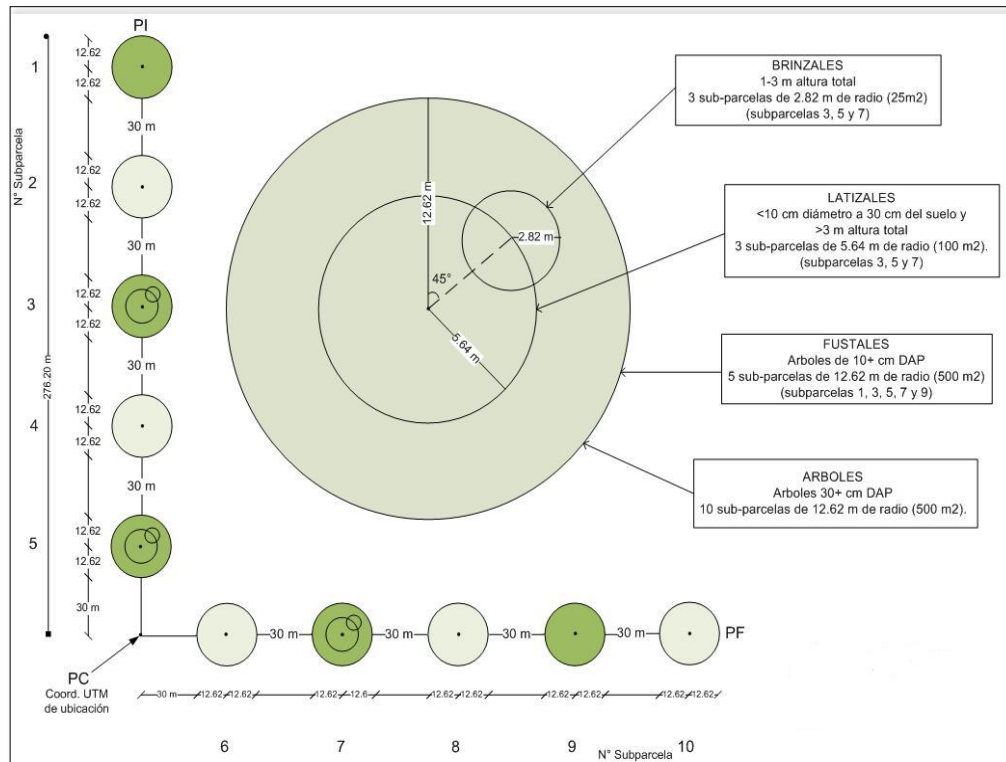
Fuente: SERFOR, 2019

La UM para las ecozonas Costa y Sierra consiste en un conglomerado en forma de "L", con un eje de longitud de 276.2 m en dirección Norte, y otro similar en dirección Este. La superficie total de la UM es de 5000 m² (0.5 ha), dividida en 10 SUM circulares de 12.62 metros de radio, equivalentes a 500 m² (0.05 ha), donde se miden los árboles mayores de 10 cm de DAP. En cada eje se ubican 5 SUM, distantes a 30 m entre sí (Figura precedente).

En las SUM 1, 3, 5, 7 y 9 se miden los fustales, que se definen como los individuos con tallas entre 5-9.99 cm DAP. En las subparcelas SUM 3, 5 y 7 se ubican las parcelas de dimensiones más pequeñas, donde se cuenta la regeneración natural, en términos de latizales y brinzales.

Los latizales son aquellos individuos en crecimiento con diámetro menor a 5 cm, medido a una altura con respecto al suelo de 30 cm y altura total entre 1 y 3 m, se cuentan en subparcelas (Sp-la) de 5.64 m de radio, equivalente a 100 m² (0.01 ha). Los brinzales son individuos con alturas entre 0.3 y 1 m que se cuentan en subparcelas (Sp-br) de 2.8 m de radio, equivalente a 25 m² (0.0025 ha).

Figura 3: Configuración en campo de la unidad de muestreo de la ecozona Hidromórfica, Selva Alta Accesible y Selva Alta de Difícil Acceso



Fuente: SERFOR, 2019

En el caso de las ecozonas de selva alta e hidromórfica, la UM es un conglomerado de subparcelas dispuestas en forma de “L”, con un eje de dirección Norte y 276.2 m de longitud y otro de dirección Este con longitud, conformada por 10 SUM con disposición similar a la UM de la ecozona Costa y Sierra, en los cuales se mide los individuos con tallas a partir de los 30 cm DAP.

En las SUM 1, 3, 5, 7 y 9 se miden los fustales, que son individuos de 10-29.9 cm DAP. La regeneración natural se cuenta en subparcelas anidadas dentro de las SUM 3, 5 y 7. Los latizales tiene para el caso DAP menor a 10 cm y una altura mayor de 3 m; los brinzales son aquellos individuos con alturas entre 1 y 2.99 m, según se muestra en la figura precedente.

8



La regeneración natural se mide en subparcelas anidadas en las UR2 de las SUM 2, 4 y 6. Los latizales son los individuos con DAP menor a 10 cm y una altura mayor de 3 m. Los brinzales se definen, al igual que para las ecozonas hidromórfica y selva alta, por tener alturas entre 1 y 2.99 m.

2.3. Gestión de datos e información

Se utilizó la herramienta Open Foris Collect¹ para la digitalización de los datos recogidos en campo por las brigadas comisionadas. Después de un riguroso proceso de control de calidad y análisis de consistencia, se realizaron los cálculos correspondientes a nivel de ecozona mediante el aplicativo Evalidator (construido sobre la plataforma de MS Access). De esta manera, se logró una gestión eficiente y precisa de los datos recopilados en campo.

2.4. Parámetros considerados en los cálculos

Para los cálculos se tomaron en consideración los siguientes datos de campo:

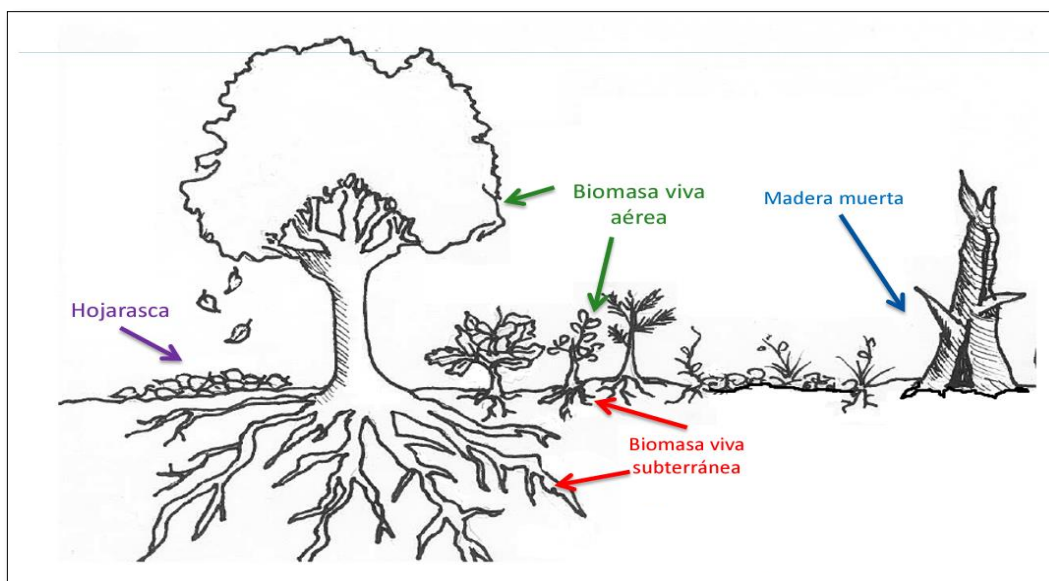
- a) **Dimensiones del espécimen:** diámetros y alturas, según corresponda al hábito.
- b) **Hábito:** Para el presente reporte se considera a los individuos cuyo hábito corresponde a árboles, palmeras y lianas.
- c) **Estado del árbol:** Los cálculos se realizaron para aquellos individuos cuyo estado corresponde a vivos, árbol muerto en pie, árboles muertos caídos y tocones.
- d) **Panel:** Para el presente reporte se han considerado los datos que corresponden a las parcelas del panel 1 y 2, ubicadas en las ecozonas sierra, costa, selva baja, selva alta accesible, selva alta de difícil acceso e hidromórfica del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS).
- e) **Factor de conversión de biomasa a carbono:** Para convertir las unidades de biomasa a carbono se utilizó un factor de conversión, recomendado por el IPCC (2006), que indica que para cualquier estructura vegetal el 0.47 del peso seco (biomasa o necromasa) es carbono.

2.5. Selección de reservorios

El carbono de los ecosistemas terrestres está almacenado en sus diferentes componentes, comúnmente llamados depósitos o reservorios, los cuales se muestran en la figura 5.

¹ <https://openforis.org/tools/collect/>

Figura 5: Diferentes tipos de reservorios de carbono



Fuente: https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/Module%202.3%20Lecture-SP-08_05_15_final.pdf

El siguiente cuadro describe los reservorios que serán considerados para el cálculo de contenidos de biomasa y carbono:

Cuadro 3 : Reservorios de considerados en las estimaciones del INFFS

Tipo de reservorio		Descripción
Biomasa viva	Biomasa arriba del suelo (aérea)	Toda la biomasa de vegetación viva, tanto leñosa como herbácea, sobre el suelo, incluidos tallos, tocones, ramas, corteza, semillas, flores y hojas.
	Biomasa subterránea o radicular	Biomasa de raíces vivas mayores a 2 mm de diámetro. Raíces de menos de 2 mm de diámetro son excluidas debido a la dificultad de distinguirlas empíricamente de la materia orgánica del suelo.
Necromasa	Madera muerta en pie	Toda la necromasa de los árboles muertos que continúan en pie y tocones muertos de más de 10 cm de diámetro.
	Hojas caídas	Toda la necromasa arriba del suelo (hojas, flores, corteza, ramas, troncos y cáscaras de frutos) que, no está incluida en madera muerta (en pie o yacente), por encima o dentro del suelo mineral u orgánico. Incluye los detritos y el humus.
	Madera Muerta yacente	Son los restos yacentes de la madera tendida en la superficie, cuyo diámetro debe superar los 10cm sobre el transepto de evaluación.

Fuente: Adaptación de las definiciones de los depósitos de carbono utilizados en AFOLU, IPCC (2006).

2.6. Ecuaciones alométricas

a. Ecuaciones alométricas para los cálculos de biomasa aérea

La ecuación utilizada para los cálculos de biomasa aérea para el INFFS es la formulada por Chave *et al.* (2014):

$$AGB = \text{Exp} [-1.803 - 0.976E + 0.976\ln(\rho) + 2.673\ln(DAP) - 0.0299[\ln(DAP)]^2]$$

Donde:

- AGB : Biomasa aérea (en kg)
- ρ : Densidad de madera (g/cm³)
- DAP : Diámetro a la altura del pecho (en centímetros)
- E : índice de estrés ambiental

El factor “E” es un índice de estrés ambiental construido a partir de variables bioclimáticas (variabilidad de la temperatura, precipitación y la intensidad de la sequía). Se utilizaron las coordenadas geográficas a nivel de subunidades de muestreo para asociar el valor del estrés ambiental a cada registro.

b. Ecuaciones alométricas para los cálculos de biomasa aérea de palmeras

A diferencia de las especies arbóreas, las palmeras muestran un patrón de crecimiento y propiedades internas muy diferentes, por lo tanto, la relación altura-diámetro que suelen asumir los modelos para especies arbóreas es muy pobre. Estimar la biomasa a partir de modelos pantropicales puede, entonces, arrastrar altos niveles de incertidumbre (MINAM 2021).

La biomasa de palmeras leñosas se estima comúnmente con modelos de árboles dicotiledóneos, lo que deja una incertidumbre sustancial en cuanto a su verdadera biomasa y productividad (R. Goodman *et al.* 2013). Por su parte, R. Goodman *et al.* (2013), desarrolló un estudio con datos de campo para nueve especies de palmeras de tierra firme y bosques inundables cuyos resultados serán utilizados para la estimación de biomasa de las palmeras registradas en el INFFS.

Cuadro 4 : Ecuaciones alométricas para palmeras

Género	Ecuaciones alométricas
Astrocaryum	$AGB = 21.302 * H$
Attalea	$\ln(AGB) = 3.2579 + 1.1249 * \ln(H+1)$
Euterpe	$AGB = -108.81 + 13.589 * H$
Iriarteia	$\ln(AGB) = -3.483 + 0.94371 * \ln(D^2H)$
Mauritia	$\ln(AGB) = 2.4647 + 1.3777 * \ln(H)$
Mauritiella	$AGB = 2.8662 * H$
Oenocarpus	$\ln(AGB) = 4.5496 + 0.1387 * H$
Socratea	$\ln(AGB) = -3.7965 + 1.0029 * \ln(D^2H)$
Others	$\ln(AGB) = -3.3488 + 2.7483 * \ln(D)$

Fuente: Amazon palm biomass and allometry. Goodman et al. (2013),

Donde: AGB : Biomasa aérea (en kg)
D : Diámetro a la altura del pecho (en centímetros)
H : Altura de fuste

c. Estimaciones de biomasa radicular

Para estimar la biomasa radicular se empleó la ecuación propuesta por Mokany *et al.* (2016):

$$BGB = 0.489 * AGB^{0.89}$$

Donde: BGB: Biomasa abajo del suelo
AGB: Biomasa Arriba del suelo

d. Estimaciones de necromasa de la hojarasca

Para estimar la necromasa de la hojarasca se empleó la ecuación propuesta por Freitas *et al.* (2006):

$$Bh = Pft * \left(\frac{Psm}{Pfm} \right)$$

Donde: Bh: Necromasa de la hojarasca (Kg)
Psm: Peso seco de la muestra colectada (Kg)
Pfm: Peso fresco de la muestra colectada (Kg)
Pft: Peso fresco total por parcela (Kg)

e. Estimaciones de necromasa de madera muerta yacente

Para estimar la necromasa de la madera muerta yacente, se empleó la ecuación propuesta por Warren y Olsen (1964):

$$Biomasa = \pi^2 * \frac{(D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2)}{8 * L} * Gd$$

Donde:

Gd : Grado de descomposición
D : Diámetro a la altura del pecho (centímetros)
L : Longitud total del transecto (m)

f. Conversiones de biomasa a carbono

Para estimar el contenido de carbono de diferentes reservorios a partir de cálculos de biomasa se utilizó el factor de conversión propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Según el IPCC, el 0.47 del peso seco de la biomasa o necromasa es carbono en cualquier estructura vegetal. Este factor de conversión es utilizado para calcular la cantidad de carbono almacenado en los bosques y otros ecosistemas naturales, así como en cultivos y otras plantaciones. Esta información es importante para medir y monitorear las emisiones de gases de efecto invernadero y diseñar estrategias para mitigar el cambio climático.

2.7. Análisis de incertidumbre

Uno de los principales desafíos al trabajar con datos es asegurarse que sean representativos y precisos. Debido a ello, el análisis de incertidumbres se enfoca en gran medida en representar los errores aleatorios en la estimación de la media.

La incertidumbre es un concepto fundamental en la medición de los contenidos de carbono, ya que permite conocer el grado de confiabilidad de los resultados obtenidos. En este sentido, la estimación de la incertidumbre por ecozona se ha realizado considerando las particularidades de cada una de ellas. El análisis de incertidumbres constituye un medio para priorizar los esfuerzos nacionales destinados a reducir la incertidumbre de los inventarios en el futuro y para guiar las decisiones sobre la elección metodológica (IPCC 2006).

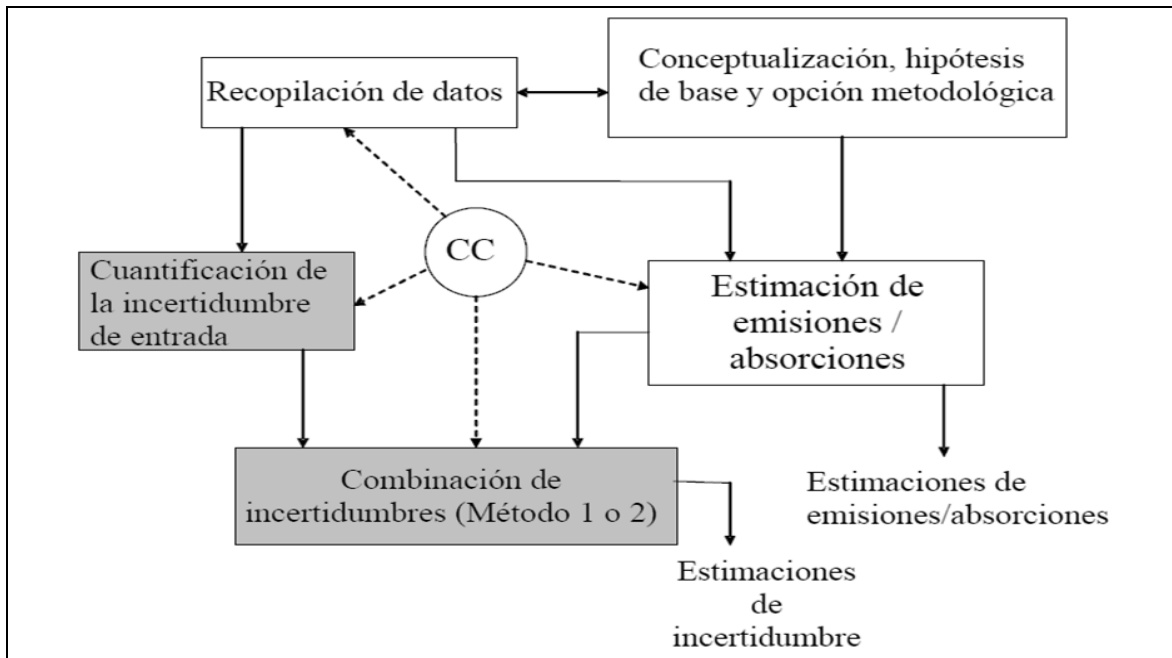
Como se menciona en las guías del IPCC del 2006, es recomendable trabajar con un nivel de confianza del 95% para la cuantificación de errores aleatorios. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los errores sistemáticos o sesgos también pueden afectar los resultados y deben ser minimizados en la medida de lo posible.

El procedimiento de análisis de incertidumbres parte con la recopilación de datos de calidad y la aplicación de diferentes metodologías para la estimación de los contenidos de biomasa, carbono y factores de emisión. Una vez obtenidos estos resultados, se procede a estimar los niveles de incertidumbre para los diferentes reservorios, tales como la biomasa aérea, radicular, hojarasca o necromasa. Seguidamente, para la combinación de las incertidumbres se usan dos métodos alternativos de cálculo que derivan en resultados de incertidumbres generales para los diferentes reservorios. Estos métodos permiten una mayor precisión en la estimación de los niveles de incertidumbre y, por lo tanto, una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

La precisión en la estimación de los niveles de incertidumbre permite una mejor comprensión de los procesos involucrados en los diferentes reservorios y, por lo tanto, una mayor eficacia en la implementación de medidas para su conservación y manejo sostenible.

El esquema presentado en la figura 6 muestra la estructura general del análisis de incertidumbre:

Figura 6. Estructura general del análisis de incertidumbre



Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 3: Incertidumbres

Para lograr una buena precisión y confianza en los resultados, es importante reducir los errores sistemáticos y trabajar con un nivel de confianza del 95% para la cuantificación de errores aleatorios, tal como lo recomienda la Guía del IPCC. Además, es fundamental asegurarse de que los datos sean representativos y precisos para evitar errores en la estimación de la media.

En la estimación de la incertidumbre de los Factores de Emisión (FE) por ecozona, se han utilizado diversas fuentes de datos para estimar la varianza (S^2) correspondiente. Una vez obtenida la varianza, se procedió a calcular la desviación estándar (D.S.), los intervalos de confianza (I.C.) y la incertidumbre para cada ecozona (U%).

Para la estimación de la varianza se han utilizado diversas fuentes de datos, tales como mediciones in situ, modelos matemáticos y estadísticos, y datos obtenidos de estudios previos. La combinación de estas fuentes permite obtener una estimación más precisa y confiable de la varianza. La ecuación 1 se aplicó a cada ecozona.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}]^2}{(n-1)} \quad (1)$$

Donde:

S^2 = Varianza

Desviación estándar (D.S.) = $\sqrt{S^2}$

Luego de estimada la varianza, se procedió a calcular la desviación estándar (D.S.), que es una medida de dispersión que indica cuánto se alejan los valores del promedio. La desviación estándar es una medida importante en la estimación de la incertidumbre, ya que permite conocer el grado de variabilidad de los resultados.

Además de la desviación estándar, se calcularon los intervalos de confianza (I.C.), que representan un rango de valores dentro del cual se espera que se encuentre el verdadero valor del estimador con un cierto nivel de confianza. Los intervalos de confianza son una medida importante para evaluar la precisión de los resultados y para realizar comparaciones entre distintas ecozonas.

El cálculo de intervalos de confianza se realiza considerando la siguiente ecuación:

$$I.C. = \chi \pm (Z\alpha * D.S.) \quad (2)$$

Donde:

- I.C. = Intervalo de confianza al 95%
- χ = Media del estimador
- $Z\alpha$ = Valor de Z un nivel de confianza esperado, para este trabajo se utilizó un nivel de confianza del 95%
- D.S. = Desviación estándar

La incertidumbre, expresada en porcentaje, se estima a partir de los datos, empleando la siguiente ecuación:

$$U(\%) = \frac{I.C.}{\chi} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

- U(%) = Incertidumbre expresada en porcentaje
- χ = Media del estimador
- I.C. = Valor del límite inferior o superior del intervalo de confianza

Finalmente, se estimó la incertidumbre para cada ecozona (U%), que es una medida que indica el grado de confiabilidad de los resultados obtenidos y su valor depende tanto de la varianza como del nivel de confianza seleccionado.

En conclusión, la estimación de la incertidumbre de los estimadores por ecozona es un proceso complejo que requiere la combinación de diversas fuentes de datos y la consideración de las particularidades de cada ecozona. La estimación de la incertidumbre es fundamental para conocer el grado de confiabilidad de los resultados obtenidos y para realizar comparaciones entre distintas ecozonas.

Combinación de incertidumbres

Una vez determinadas las incertidumbres de cada una de las categorías, se los puede combinar para lograr estimaciones de incertidumbre para todo el inventario incluyendo los diferentes reservorios.

La Guía IPCC 2006 expone dos métodos para la estimación de las incertidumbres combinadas: el Método 1 utiliza las ecuaciones simples de propagación de errores, mientras que el Método 2 utiliza la técnica de Monte Carlo. Para el presente informe se utilizó el método 1, que permite estimar la incertidumbre en las categorías individuales, en todo el inventario, y en las tendencias entre un año de interés y el año de base.

La ecuación de propagación del error arroja dos reglas convenientes para combinar las incertidumbres no correlacionadas bajo la suma y la multiplicación.

- En los casos en los que se deben combinar las cantidades inciertas por suma o resta, la desviación estándar de la suma es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que se suman con las desviaciones estándar, todas expresadas en términos absolutos (esta regla es exacta para las variables no correlacionadas).
- Tomando esta interpretación, se puede derivar una ecuación simple (Ecuación 4) para la incertidumbre de la suma, expresada en términos porcentuales (IPCC 2006):

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|} \quad (4)$$

Donde:

U_{total} = Incertidumbre combinada
 x_i y U_i = Las cantidades inciertas y el porcentaje de incertidumbres asociado, respectivamente

La ecuación 4 genera un mejor resultado en función de la incertidumbre de cada depósito y el aporte de cada depósito al valor total de carbono.

III. RESULTADOS

Este apartado nos proporciona información valiosa sobre el contenido de biomasa y carbono aéreo, radicular y necromasa en las seis ecozonas del país. Estos resultados pueden ser utilizados en diversos estudios que nos ayuden a comprender el papel de los bosques frente al cambio climático. La cantidad de biomasa y carbono varía según la especie, clase diamétrica y rangos de altura. Asimismo, es importante tener en cuenta que estos valores son promedios y pueden variar según las condiciones específicas de cada área.

3.1. Biomasa y carbono aéreo

En promedio, se muestra que el contenido de biomasa aérea por hectárea toma valores que van desde las 17.2 t/ha en la ecozona costa, hasta los 237.11 t/ha de la ecozona Selva Baja. El contenido de biomasa por hectárea para la ecozona Sierra alcanza 45.43 t/ha, mientras que en la selva alta el contenido de biomasa es de 87.54 y 134.43 toneladas por hectárea para Selva Alta Accesible y Selva Alta difícil, respectivamente.

Estos datos son importantes para entender la cantidad de materia orgánica presente en cada ecozona y su contribución al ciclo del carbono. Además, pueden ser utilizados en estudios sobre la biodiversidad y el impacto de actividades humanas en el medio ambiente.

Cuadro 5: Biomasa y carbono aéreo por ecozona

Ecozona	Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Incertidumbre (U%)
CO	43	17.20	8.08	2.21	3.63	12.54	55.1%
SI	48	45.53	21.40	3.25	14.85	27.95	30.6%
SAA	48	87.54	41.14	7.98	25.10	57.19	39.0%
SAD	11	134.43	63.18	11.60	37.34	89.02	40.9%
HI	32	186.22	87.52	7.08	73.08	101.97	16.5%
SB	201	237.11	111.44	5.43	100.74	122.14	9.6%

CO: Costa / SI: Sierra / SAA: Selva alta accesible / SAD: Selva alta de difícil acceso / HI: Hidromórfica / SB Selva baja

3.2. Biomasa y carbono radicular

De acuerdo con las directrices del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS, la biomasa radicular comprende toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen raíces finas de menos de 2mm de diámetro ya que con frecuencia no se pueden distinguir empíricamente de la materia orgánica del suelo o mantillo (IPCC, 2006).

Para las estimaciones de este depósito de carbono se utilizaron modelos vástago/raíz que son una función de la biomasa aérea para la estimación de biomasa de las raíces de árboles (Mokany et al. 2006) y de palmeras (Cairns et al. 1997). (NREF 2022).

Cuadro 6: Biomasa y carbono radicular por ecozona

Ecozona	Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Incertidumbre (U%)
CO	43	6.15	2.89	0.79	1.30	4.48	55.1%
SI	48	14.63	6.88	1.05	4.77	8.98	30.6%
SAA	48	26.17	12.30	2.38	7.50	17.10	39.0%
SAD	11	38.34	18.02	3.31	10.65	25.39	40.9%
HI	32	51.24	24.08	1.95	20.11	28.06	16.5%
SB	201	63.54	29.86	1.45	27.00	32.73	9.6%

CO: Costa / SI: Sierra / SAA: Selva alta accesible / SAD: Selva alta de difícil acceso / HI: Hidromórfica / SB Selva baja

3.3. Necromasa

a. Hojarasca

El contenido de biomasa y carbono contenido en este reservorio oscila entre 1.04 toneladas de biomasa en la ecozona Sierra y 4.35 toneladas de biomasa en la ecozona Hidromórfica. La ecozona Costa almacena en promedio 1.42 toneladas de biomasa por hectárea, mientras que las ecozonas de Selva Alta Difícil y Selva Alta Accesible almacenan 3.03 y 2.60 toneladas de biomasa. Los bosques ubicados en la ecozona Selva Baja, contienen en promedio 2.75 toneladas de biomasa por hectárea.

Cuadro 7: Necromasa y carbono de hojarasca por ecozona

Ecozona	Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Incertidumbre (U%)
Costa	18	1.42	0.67	0.13	0.40	0.94	19.0%
Sierra	3	1.04	0.49	0.22	-0.48	1.45	92.7%
SAA	38	2.60	1.22	0.17	0.88	1.57	13.3%

Ecozona	Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Incertidumbre (U%)
SAD	7	3.03	1.43	0.38	0.50	2.35	30.5%
HI	6	4.35	2.04	0.47	0.84	3.24	27.6%
SB	150	2.75	1.29	0.07	1.15	1.44	5.3%

CO: Costa / SI: Sierra / SAA: Selva alta accesible / SAD: Selva alta de difícil acceso / HI: Hidromórfica / SB Selva baja

b. Árboles muertos caídos

Esta categoría de reservorio que incluye la biomasa de los árboles muertos caídos da cuenta de los contenidos de biomasa y carbono almacenado en las diferentes ecozonas. Así, la ecozona Selva Baja contiene el valor más alto de biomasa por hectárea, con 12.02 toneladas, equivalente a 5.65 toneladas de Carbono por hectárea), mientras que la Selva Alta Difícil almacena 5.29 toneladas de biomasa por hectárea o 2.48 toneladas de Carbono. En las ecozonas de Costa y Sierra no se ha recogido información para este reservorio.

Cuadro 8: Biomasa y carbono de árboles muertos caídos por ecozona

Ecozona	Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Incertidumbre (U%)
SAA	35	4.59	2.16	1.18	1.03	3.29	52.3%
SAD	8	5.29	2.48	1.59	0.71	4.25	71.3%
HI	17	3.26	1.53	0.90	0.64	2.43	58.4%
SB	201	12.02	5.65	0.79	4.92	6.38	12.9%

SAA: Selva alta accesible / SAD: Selva alta de difícil acceso / HI: Hidromórfica / SB Selva baja

c. Árboles muertos en pie

El análisis de los datos para esta categoría muestra que el aporte de biomasa y carbono no es significativo. Los cálculos dieron como resultado valores promedio que van de 0.002 a 0.006 toneladas de biomasa.

Cuadro 9: Biomasa y carbono en árboles muertos en pie por ecozona

Ecozona	Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Incertidumbre (U%)
SAA	42	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	38.5%
SAD	10	0.006	0.003	0.001	0.000	0.006	99.3%
HI	30	0.006	0.003	0.000	0.001	0.004	52.6%
SB	183	0.006	0.003	0.000	0.003	0.003	9.3%

SAA: Selva alta accesible / SAD: Selva alta de difícil acceso / HI: Hidromórfica / SB Selva baja

3.4. Estimación de biomasa y carbono total, factores de emisión e incertidumbre

Una vez que se han calculado los contenidos de carbono de cada depósito, se procede a su suma para obtener el contenido total de carbono de cada ecozona. Con esta información, se calcularon los factores de emisión. Para el cálculo del factor de emisión, se asume la pérdida total de carbono por oxidación después de un evento de deforestación, por lo que se convierte a dióxido de carbono por la fracción de 44/12, que es la proporción molecular entre el carbono y el CO₂. (NREF 2023).

Los factores de emisión forestal son valores que se utilizan para estimar la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten o se retiran de la atmósfera debido a los cambios en la gestión forestal. Estos factores de emisión se refieren a la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que se emiten o se retiran por unidad de área de bosque, se expresa a través de Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq).

El CO₂ equivalente es una medida utilizada para expresar la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por una actividad en términos de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que tendría el mismo efecto en el calentamiento global. Debido a que diferentes gases de efecto invernadero tienen diferentes potencias de calentamiento global, es necesario convertir las emisiones de otros gases a su equivalente en CO₂ para poder compararlas. Por ejemplo, una tonelada de metano (CH₄) tiene un potencial de calentamiento global 28 veces mayor que una tonelada de CO₂, por lo que se dice que una emisión de 1 tonelada de metano equivale a 28 toneladas de CO₂.

Las incertidumbres de cada depósito de carbono fueron combinadas mediante un proceso que permitió calcular la incertidumbre total. Para nuestro caso, implicó combinar las incertidumbres de cada depósito que nos permitió evaluar la confiabilidad de los cálculos.

La combinación de las incertidumbres de los componentes de los depósitos por ecozona se realizó utilizando el enfoque 1 de propagación del error y cálculo de incertidumbres del IPCC (2006), debido a que genera un mejor resultado en función de la incertidumbre de cada depósito y el aporte de cada depósito al valor total de carbono.

Los cuadros 10 a 15 presentan el contenido de biomasa, carbono, factor de emisión e incertidumbre para cada reservorio, por ecozona:

Cuadro 10: Biomasa y carbono total, ecozona Costa

Depósitos		Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error Estándar	Factor de Emisión (FE) CO _{2eq}	Incertidumbre (U%)	Contribución relativa (%)
Biomasa viva	Biomasa aérea (AGB)	43	17.20	8.08	2.21	29.64	55.10%	69.44%
	Biomasa radicular (BGB)	43	6.15	2.89	0.79	10.60	55.10%	24.83%
Materia orgánica muerta	Hojarasca	18	1.42	0.67	0.13	2.44	18.97%	5.73%
Total			24.77	11.64		42.69	40.65%	100.00%

Cuadro 11: Biomasa y carbono total, ecozona Sierra

Depósitos		Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error Estándar	Factor de Emisión (FE) CO _{2eq}	Incertidumbre (U%)	Contribución relativa (%)
Biomasa viva	Biomasa aérea (AGB)	48	45.53	21.40	3.25	78.46	30.60%	74.40%
	Biomasa radicular (BGB)	48	14.63	6.88	1.05	25.21	30.60%	23.90%
Materia orgánica muerta	Hojarasca	3	1.04	0.49	0.22	1.79	92.71%	1.70%
Total			61.20	28.76		105.46	23.96%	100.00%

Cuadro 12: Biomasa y carbono total, ecozona Selva Baja

Depósitos		Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error Estándar	Factor de Emisión (FE) CO _{2eq}	Incertidumbre (U%)	Contribución relativa (%)
Biomasa viva	Biomasa aérea (AGB)	201	237.11	111.44	5.43	408.62	9.6%	75.17%
	Biomasa radicular (BGB)	201	63.54	29.86	1.45	109.49	9.6%	20.14%
Materia orgánica muerta	Madera muerta yacente	201	12.02	5.65	0.79	20.72	12.9%	3.81%
	Madera muerta en pie	183	0.01	0.00	0.00	0.01	9.3%	0.002%
	Hojarasca	150	2.75	1.29	0.07	4.74	5.3%	0.87%
Total			315.43	148.25		543.59	7.5%	100.00%

Cuadro 13: Biomasa y carbono total, ecozona Selva Alta Accesible

Depósitos		Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error Estándar	Factor de Emisión (FE) CO _{2eq}	Incertidumbre (U%)	Contribución relativa (%)
Biomasa viva	Biomasa aérea (AGB)	48	87.54	41.14	7.98	150.86	39.0%	72.40%
	Biomasa radicular (BGB)	48	26.17	12.30	2.38	45.11	39.0%	21.65%
Materia orgánica muerta	Madera muerta yacente	35	4.59	2.16	1.18	7.91	52.3%	3.80%
	Madera muerta en pie	42	0.00	0.00	0.00	0.00	38.5%	0.002%
	Hojarasca	38	2.60	1.22	0.17	4.48	13.3%	2.15%
Total			120.90	56.83		208.36	29.5%	100.00%

Cuadro 14: Biomasa y carbono total, ecozona Selva Alta de difícil acceso

Depósitos		Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error Estándar	Factor de Emisión (FE) CO _{2eq}	Incertidumbre (U%)	Contribución relativa (%)
Biomasa viva	Biomasa aérea (AGB)	11	134.43	63.18	11.60	231.66	40.9%	74.23%
	Biomasa radicular (BGB)	11	38.34	18.02	3.31	66.07	40.9%	21.17%
Materia orgánica muerta	Madera muerta yacente	8	5.29	2.48	1.59	9.11	71.3%	2.92%
	Madera muerta en pie	10	0.01	0.00	0.00	0.01	99.3%	0.003%
	Hojarasca	7	3.03	1.43	0.38	5.23	30.5%	1.67%
Total			181.09	85.11		312.08	31.6%	100.00%

Cuadro 15: Biomasa y carbono total, ecozona Hidromórfica

Depósitos		Nro. de UM	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Error Estándar	Factor de Emisión (FE) CO _{2eq}	Incertidumbre (U%)	Contribución relativa (%)
Biomasa viva	Biomasa aérea (AGB)	32	186.22	87.52	7.08	320.92	16.5%	75.98%
	Biomasa radicular (BGB)	32	51.24	24.08	1.95	88.31	16.5%	20.91%
Materia orgánica muerta	Madera muerta yacente	17	3.26	1.53	0.90	5.62	58.4%	1.33%
	Madera muerta en pie	30	0.01	0.00	0.00	0.01	52.6%	0.002%
	Hojarasca	6	4.35	2.04	0.47	7.49	27.6%	1.77%
Total			245.08	115.19		422.36	13.0%	100.00%

El cuadro 16 presenta el resumen del contenido de biomasa, carbono, factor de emisión e incertidumbre combinada para las ecozonas:

Cuadro 16: contenido de biomasa, carbono, factor de emisión e incertidumbre por ecozonas

Ecozona	Biomasa (t/Ha)	Carbono (tC/Ha)	Factor de Emisión (FE) CO ₂ eq	Incertidumbre combinada (U%)
CO	24.77	11.64	42.69	40.65%
SI	61.20	28.76	105.46	23.96%
SAA	120.90	56.83	208.36	29.54%
SAD	181.09	85.11	312.08	31.64%
HI	245.08	115.19	422.36	13.04%
SB	315.43	148.25	543.59	7.49%

CO: Costa / SI: Sierra / SAA: Selva alta accesible / SAD: Selva alta de difícil acceso / HI: Hidromórfica / SB Selva baja

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La estimación de los contenidos de carbono, factores de conversión y sus respectivas incertidumbres ha requerido de un proceso complejo, que ha partido de la sistematización de los datos de campo y consolidación en una base de datos; asimismo se ha realizado la elección de ecuaciones alométricas considerando las características especiales que se ajusten a los datos recogidos en campo. Seguidamente, se han realizado los cálculos de indicadores de biomasa, carbono e incertidumbres por tipo de reservorio y ecozona.

Los resultados obtenidos representan un importante insumo para la construcción de los Reportes Anuales de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) del sector UTCUTS², Inventarios anuales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI)³, así como, el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF)⁴.

Tal como era de esperar, los mayores volúmenes de carbono se encuentran almacenados en la ecozona Selva Baja, seguida las ecozonas de selva alta e hidromórfica, mientras que las ecozonas de costa y sierra muestran volúmenes de carbono inferiores.

En relación al aporte del carbono por tipo de reservorio, para las 6 ecozonas analizadas se tiene que la biomasa aérea, representa en promedio el 73.6% del contenido total de carbono, mientras que el carbono almacenado en raíces representa el 22.1% del total. Solo el 4.3% del carbono total corresponde a árboles muertos caídos, muertos en pie y hojarasca.

Los niveles de incertidumbre, que nos brindan una referencia acerca de la confiabilidad de los cálculos, muestran una relación directa frente al número de unidades muestrales utilizadas para los cálculos. En este sentido es importante precisar que los niveles de incertidumbre tenderán a disminuir a medida que se vaya incorporando nuevos datos de campo.

² <https://infocarbono.minam.gob.pe/reportes-sectoriales/utcuts-2019/>

³ <https://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2019/>

⁴ https://redd.unfccc.int/files/nref_peru_281122_final__2_.pdf

V. BIBLIOGRAFIA

- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* (2014) 20, 3177–3190, doi: 10.1111/gcb.12629
- Freitas, L. et al. Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto – Perú. Documento Técnico Nº 29-IIAP 2006.
- IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change). (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. Forest Land. Disponible en: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf.
- Ministerio del Ambiente (2022). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. https://redd.unfccc.int/files/nref_peru_281122_final__2_.pdf
- Mokany K, Raison RJ, Prukushkin AS (2016). Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR. (2019). Informe del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – INFFS Panel I. Dirección de Inventario y Valoración. Lima. 346 p. Disponible en: https://sniffs.serfor.gob.pe/inventarios/gestor/api/public/api/serfor/files/8767177466_05.informe_del_inventario_nacional_forestal_2.pdf
- Warren, W.G. and Olsen, P.F. (1964) A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science* 10: 267-276 y Van Wagner, C.E. (1968). The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science* 14: 20-26.