



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú



La presente publicación ha sido elaborada gracias al apoyo de la Fundación Gordon & Betty Moore y la cooperación del Gobierno Alemán, a través del KfW, en el marco del Proyecto REDD+ MINAM, implementado por el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático del Ministerio del Ambiente del Perú.

© Ministerio del Ambiente

Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales
Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación
del Cambio Climático.

Av. Javier Prado Oeste 1440, San Isidro
Lima - Perú

1a edición: noviembre 2014

Tiraje: 1.000 ejemplares

ISBN: 978-612-4174-14-8

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-17177

Diseño de la carátula: Alicia Infante Takey

Cuidado de edición, diseño y diagramación: Alicia Infante Takey

Impreso en: Crea color SAC

Calle Mochica 136, Independencia.

Foto de portada: Archivo fotográfico EQUIPO UNO

Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú

Con el apoyo de:





Cordillera Azul (San Martín)-CIMA.



Bosques Secos (Piura).



Archivo fotográfico GREEN LIFE.

AUTORIDADES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE

Manuel Pulgar-Vidal Otálora
Ministro del Ambiente

Gabriel Quijandría Acosta
Vice Ministro del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

Gustavo Suárez de Freitas Calmet
Asesor del VMDERN y (e) Coordinador Ejecutivo del Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático

INTEGRANTES DEL EQUIPO TÉCNICO

Equipo Técnico MINAM

Natalia Málaga Durán | Renzo Giudice Granados | Christian Vargas Gonzales
Eduardo Jesús Rojas Báez | Brian Zutta Salazar | Berioska Quispe Estrada | Laura Secada Daly | Lucas Dourojeanni Álvarez | Fanny Leyva Curi

Asesoramiento Técnico - Científico

Oswaldo Carrillo¹ | Jörg Seifert-Granzin | Andy Lister² | Charles Scott² | James Westfall² | Craig Wayson³

AUTORES

Natalia Málaga Durán | Renzo Giudice Granados | Christian Vargas Gonzales | Eduardo Rojas Báez

COLABORADORES

Oswaldo Carrillo¹ | Charles Scott² | Andy Lister² | James Westfall² | Jörg Seifert-Granzin | Craig Wayson³ | Patricia Huerta⁴ | Alvaro Vallejo⁵ | Lucio Pedroni⁵ | Diego Navarrete⁵ | Steen Magunsen⁶ | Henning Weise

COORDINACIÓN

Gustavo Suárez de Freitas Calmet | Giovanna Orcotoma Escalante

¹ Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur-CONAFOR

² Servicio Forestal de Estados Unidos

³ Silvacarbone

⁴ Proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible en el Perú ante el Cambio Climático

⁵ Carbon Decisions International

⁶ Natural Resources Canada, Canadian Forest Service

AGRADECIMIENTOS

El Ministerio del Ambiente y Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático hacen un agradecimiento destacado a la Fundación Gordon & Betty Moore, a la cooperación del Gobierno Alemán y al KfW por el apoyo brindado a través del Proyecto REDD+ MINAM; así como a las siguientes instituciones que aportaron con su información primaria recopilada con mucho esfuerzo en campo y facilitaron el desarrollo del presente documento.

- Andes Biodiversity and Ecosystem Research Group - ABERG
- Asociación Ecosistemas Andinos - ECOAN
- Asociación para la Biodiversidad, Investigación y Desarrollo Ambiental en Ecosistemas Tropicales - ABIDA
- Asociación para la Conservación en la Cuenca Amazónica - ACCA
- Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral - AIDER
- Amazónicos por la Amazonía - AMPA
- Bosques Amazónicos - BAM
- Carnegie Institution for Science
- Carbon Decisions International
- Centro de Conservación, Investigación y Manejo de Áreas Naturales - CIMA
- Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta - CEDISA
- Conservación Internacional Perú - CI
- CREES Foundation
- Desarrollo Rural Sustentable - DRIS
- Department of Ecology and Natural Resource Management Norwegian University of Life Sciences - NMBU
- Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural - Ministerio del Ambiente
- Fundación Amazonía Viva
- GREENOXX Global Environmental Program
- Gobiernos Regionales
- Helvetas
- Institute of Silviculture, Technische Universität München
- Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana - IIAP
- Jardín Botánico de Missouri, Oxapampa - JBM
- Nature Services Peru
- Proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible en el Perú ante el Cambio Climático
- Proyecto de Fortalecimiento REDD+ y cooperación Sur-Sur - CONAFOR
- Programa de Monitoreo de la Biodiversidad en Camisea
- Pur Project
- Pontificia Nacional Católica del Perú - PUCP
- Rainforest Alliance con el apoyo de USAID
- Red Amazónica de Inventarios Forestales - RAINFOR
- Russel E. Train Education for Nature
- School of Geography and the Environment, University of Oxford, UK
- School of Geography, University of Leeds, UK
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SERNANP
- Servicio Forestal de Estados Unidos
- Silvacarbon
- The Nature Conservancy
- Universidad Nacional Agraria la Molina - UNALM
- Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC
- Universidad Nacional de la Amazonía Peruana - UNAP
- University of Edinburgh - School of Geosciences
- World Agroforestry Centre - ICRAF
- WWF





CONTENIDO

Indice de tablas	11
Indice de ilustraciones	13
Lista de acrónimos	15
Presentación	17
1. Antecedentes	19
2. Objetivos del estudio	21
2.1. Objetivo General	21
2.2. Objetivos Específicos	21
3. Alcance	22
4. Metodología de trabajo	24
4.1. Equipos y Programas	24
4.2. Definición del dominio para el cálculo de existencias de carbono en bosques	24
4.2.1. Diagnóstico de información disponible	24
4.2.2. Descripción de las ecozonas	29
4.2.3. Actualización de las áreas con cobertura boscosa	31
4.3. Estimación de las densidades de carbono	33
4.3.1. Reservorios considerados	33
4.3.2. Recolección y procesamiento de información sobre biomasa aérea	33
4.3.3. Control de calidad	36
4.3.4. Estimación de densidad de carbono por parcela	38
4.3.5. Estimación de densidades de carbono por ecozona	41
4.3.6. Análisis de incertidumbres	45
5. Resultados	49
5.1. Temporalidad de la información	49
5.2. Control de calidad de los datos	49
5.3. Existencias de carbono en biomasa aérea e incertidumbres	52
6. Discusión	55
7. Conclusiones y recomendaciones	57
Glosario	58
Bibliografía	61



INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Descripción de los niveles metodológicos para factores de emisión	22
Tabla 2:	Reservorios de carbono	23
Tabla 3:	Distribución de parcelas en las coberturas reagrupadas del Mapa de Cobertura Vegetal	27
Tabla 4:	Descripción de las Ecozonas del INF	30
Tabla 5:	Área de Bosque Húmedo Amazónico por Ecozona	33
Tabla 6:	Instituciones que proporcionaron información de inventarios forestales y de carbono	35
Tabla 7:	Ecuaciones alométricas empleadas para el cálculo de contenido de carbono en biomasa arriba del suelo en bosque	40
Tabla 8:	Parcelas incluidas por ecozona	50
Tabla 9:	Cuadro comparativo de densidades de carbono según estimador-expresado en biomasa	52
Tabla 10:	Resultados de Biomasa Arbórea Arriba del Suelo por Ecozona	53



Huallaga, Cordillera Azul (San Martín)-CIMA.

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:	Distribución de las parcelas recopiladas en el Mapa de Ecozonas	28
Ilustración 2:	Recorte de Bosques Húmedos Amazónico para el año 2011	32
Ilustración 3:	Relación de la varianza de los datos con respecto a la unidad de medida de las parcelas-Ecozona de Selva Baja	42
Ilustración 4:	Relación de la varianza de los datos con respecto a la unidad de medida de las parcelas-Ecozona de Selva Alta Accesible	42
Ilustración 5:	Relación de la varianza de los datos con respecto a la unidad de medida de las parcelas-Ecozona de Selva Alta de Dificil Acceso	43
Ilustración 6:	Causales de exclusión de parcelas	50
Ilustración 7:	Mapa de ecozonas y localización de las parcelas luego del control de calidad	51
Ilustración 8:	Distribución de la biomasa arbórea arriba del suelo por ecozona expresado en unidades de carbono	54



LISTA DE ACRÓNIMOS

BURs	Biennial Update Report
CDC-UNALM	Centro de Datos para la Conservación-Universidad Nacional Agraria La Molina
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	Conferencia de las Partes
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DA	Datos de actividad
DAP	Diámetro a la altura del pecho
DGCCDRH	Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos del Ministerio del Ambiente
DEGVFPN	Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural del Ministerio del Ambiente
FE	Factores de emisión
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INF	Inventario Nacional Forestal
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MRV	Medición, Reporte y Verificación
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
NREF	Nivel de referencia de emisiones forestales
NRF	Nivel de referencia forestal
REDD+	Reducción Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques; la conservación de las reservas de carbono forestal, la gestión sostenible de los bosques y el incremento de las reservas forestales de carbono
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
TIER	Nivel Metodológico
USCUSS	Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura



PRESENTACIÓN

El presente documento describe la metodología seguida y los resultados del primer esfuerzo realizado en el Perú, a escala nacional, referido a la estimación de existencias de carbono en los bosques del Perú a partir de datos de campo. La importancia de este estudio se enmarca en la meta planteada por el MINAM de conservar los bosques primarios como un aporte a la mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible. La información generada representa una evolución en el nivel de precisión y representatividad en el terreno sobre la biomasa arriba del suelo, insumo indispensable para los futuros Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (Comunicaciones Nacionales). Además, contribuye con el mecanismo de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques; la conservación de las reservas de carbono forestal; la gestión sostenible de los bosques y el incremento de las reservas forestales de carbono (REDD+) y el nivel de referencia forestal para REDD+ en el Perú. Siendo la coherencia uno de los principios destacados por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, se promueve que todos los reportes de emisiones utilicen la misma información para asegurar así una única contabilidad de emisiones y la integridad ambiental de los reportes.

Las existencias de carbono obtenidas bajo el presente estudio han sido estimadas sobre la base de inventarios forestales y de carbono desarrollados por instituciones gubernamentales y no gubernamentales, a nivel nacional e internacional, con incidencia en los bosques del Perú, que acogieron el llamado del MINAM de compartir sus datos. Esto revela la disposición de muchas organizaciones para trabajar en forma coordinada con el MINAM y contribuir en la gestión sostenible de los bosques. El MINAM expresa su reconocimiento a todas las instituciones e individuos que contribuyeron con su información y experiencia.

Se entiende que este estudio es una primera aproximación al análisis de carbono a nivel nacional y se encuentra enmarcado en el enfoque escalonado que promueve la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). La meta es que la información que está siendo generada por el actual Inventario Nacional Forestal en el Perú (INF) sirva para mejorar e incorporar nuevos datos sobre existencias de carbono en el compartimiento de biomasa aérea y otros reservorios del bosque, con la finalidad de comprender con mayor certeza su dinámica.



1. ANTECEDENTES

Como una de las acciones encaminadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero desde el sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS), el Ministerio de Ambiente (MINAM) viene trabajando en la preparación e implementación de las acciones para reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques, la conservación de las reservas de carbono forestal, la gestión sostenible de los bosques y el incremento de las reservas forestales de carbono (REDD+), todas ellas actividades propuestas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). De acuerdo a las últimas decisiones de la Conferencia de las Partes (COP), el nivel de referencia forestal o nivel de referencia de emisiones forestales así como la Medición, Reporte y Verificación (MRV) de emisiones por fuente y remociones por sumidero para REDD+, deberán ser consistentes, transparentes, exhaustivos y exactos. En relación con la coherencia, es importante que la información utilizada por el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, los Reportes Bienales Actualizados (BURs)¹ y los datos generados por el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB) para el Nivel de Referencia Forestal o Nivel de Referencia de Emisiones Forestal para REDD+ sean consistentes.

El Perú forma parte de la CMNUCC desde el año 1992, por lo que asume el compromiso de informar a las partes sobre las emisiones y remociones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En tanto, el MINAM, como autoridad nacional ambiental y punto focal de cambio climático, ha generado dos Comunicaciones Nacionales sobre Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), que incluyen datos de emisiones y remociones del sector USCUSS. Hasta el momento, dichas comunicaciones han basado sus reportes en factores de emisión por defecto, que figuran en

¹ Biennial Update Report.

las directrices revisadas en 1996 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)² que aplican a ecosistemas globales (MINAM, 2010).

Durante los últimos años, varias instituciones de carácter no gubernamental y privado, a nivel nacional e internacional, así como algunos gobiernos regionales y sectores, han desarrollado iniciativas de cuantificación de existencias de carbono en las diferentes regiones y tipos de bosque en el Perú. Estos esfuerzos, sin embargo, han sido dispersos y relativamente aislados hasta el momento, pues a la fecha no existió uno como el actualmente en ejecución Inventario Nacional Forestal (INF). Buenos ejemplos de iniciativas regionales son los casos de San Martín, Cusco y Madre de Dios, regiones en las cuales se han realizado avances coordinados de recopilación de información local sobre inventarios forestales y de carbono generada por diferentes instituciones y posteriormente traducidas en existencias de carbono a nivel regional.

Por otro lado, también existen estudios de carbono espacialmente explícitos a nivel global -pantropical, como el desarrollado por Saatchi *et. al* en el 2011 y Baccini *et. al* en el 2012; los cuales han sido construidos por sensores remotos y modelos desarrollados con información global. En los últimos años, el Instituto Carnegie ha venido desarrollando a su vez un análisis experimental sobre la geografía del carbono aéreo en la Amazonía peruana, en el marco del convenio MINAM-CARNEGIE; validando y calibrando su modelo con parcelas generadas en el territorio nacional, las cuales son incluidas en el presente estudio. El análisis espacial del carbono forestal es muy útil para comprender la ecología y distribución del carbono aéreo en la Amazonía peruana, permitiendo diferenciar la variación de los *stocks* de carbono en el bosque a una escala de una hectárea. El estudio reporta que los bosques con mayor contenido de carbono se ubican en las regiones de selva baja y sub-montaña del Amazonas (Asner *et. al*, 2014) , resultados que coinciden con los promedios de carbono a nivel de estrato que se describen en el presente documento. La Amazonía peruana, como muchas de estas investigaciones reflejan, constituye un potencial muy grande para el esfuerzo nacional e internacional de mitigación del cambio climático mediante la conservación de los bosques, el cual puede incrementarse aún más si consideramos también otros reservorios como el carbono orgánico del suelo y la necromasa, para los cuales se viene generando información representativa a escala nacional a través del INF.

El presente estudio representa la primera iniciativa en el Perú en generar estimados generales de existencias de carbono en bosques, a partir de información local de forma coherente, transparente, homogénea y oficial. Este trabajo se fundamenta en la necesidad de contar con información más ajustada con la realidad nacional que pueda ser insumo para REDD+, los Inventarios Nacionales de GEI y los recientemente aprobados por la CMNUCC Reportes Bienales Actualizados (BURs).

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. Objetivo General

El presente estudio tiene por objetivo proveer información sobre existencias de carbono de la biomasa aérea en los bosques naturales del Perú.

2.2. Objetivos Específicos

- Proveer información para calcular los factores de emisión para la categoría de bosques en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) a un nivel de reporte de mayor precisión al actualmente utilizado por el MINAM para el reservorio de biomasa arbórea arriba del suelo en bosques (TIER 2)³.
- Ser uno de los instrumentos que permitirá al MINAM contabilizar la reducción de emisiones de GEI y demostrar así el cumplimiento de los compromisos asumidos por el país respecto a la reducción de emisiones en la categoría de Uso del Suelo, Cambio del Suelo y Silvicultura (USCUSS).
- Brindar información para la gestión de los recursos naturales a través de la puesta en valor del servicio de regulación del clima, específicamente por el secuestro y almacenamiento de carbono por los bosques.

³ Actualmente, el Perú ha construido sus dos inventarios nacionales de GEI a un nivel de reporte TIER 1 que implica el uso de factores internacionales por defecto asignados por el IPCC para ecosistemas globales (Directrices revisadas en 1996). A través de este estudio, el Perú podrá reportar sus emisiones de GEI para el sector USCUSS con información local para el reservorio de biomasa aérea arbórea mejorando su nivel de precisión.

3. ALCANCE

El cálculo de emisiones por fuente y remociones por sumidero requiere al menos de dos insumos fundamentales definidos por las guías del IPCC:

$$\text{Emisiones (o remociones)} = \text{Datos de Actividad} \times \text{Factores de Emisión}$$

Según las guías metodológicas del IPCC (2006), un factor de emisión se refiere a un coeficiente que cuantifica las emisiones o absorciones de un gas por actividad unitaria. Para el caso de bosques en el sector Uso de Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) los factores de emisión para todas las actividades y categorías en REDD+ se representan en unidades de CO₂ equivalente por unidad de hectárea (tCO₂e/ha). Los factores de emisión suelen basarse en una muestra de datos de inventarios representativa, promediados para obtener una tasa de emisiones para un determinado reservorio, tipo de bosque y categoría de uso del suelo (Glosario, IPCC, 2006).

El IPCC hace referencia a tres niveles metodológicos (TIER) que escalan a medida que aumenta la complejidad metodológica y la disponibilidad de información como muestra la tabla a continuación.

TABLA 1
Descripción de los niveles metodológicos

TIER I	Uso de valores y ecuaciones de los parámetros por defecto publicados (ej. factores de emisión y cambio de existencias).
TIER II	Se emplea el mismo abordaje metodológico que el nivel 1 pero se aplican factores de emisión y de cambio de existencias de carbono que se basan en datos específicos del país o de la región en lo referido a las categorías principales de reservorios y usos del suelo.
TIER III	Se utilizan métodos de orden superior que vinculan más estrechamente la biomasa y la dinámica del suelo, incluidos modelos y sistemas de medición de inventarios desarrollados a medida para satisfacer las circunstancias nacionales que se repiten con el tiempo.

Fuente: Proyecto REDD+ MINAM, sobre la base de las guías del IPCC (Volumen 4, Capítulo 1, IPCC, 2006).

La información de existencias de carbono alcanza un nivel metodológico TIER II para el reservorio de biomasa arriba del suelo en bosques en el Perú y fue elaborada a partir de inventarios forestales y de carbono a nivel local. Si bien se buscó generar información en bosques para todos los reservorios de carbono descritos en la tabla 2, solo se contó con datos representativos a nivel nacional para reportar las existencias de biomasa arriba del suelo.

TABLA 2
Reservorios de carbono

Reservorios	
Biomasa viva	Biomasa aérea o arriba del suelo
	Biomasa subterránea
Materia orgánica muerta	Madera muerta en pie
	Madera muerta yacente
	Hojasca
Suelos	Materia orgánica del suelo
Productos de madera recolectada	

Fuente: Proyecto REDD+MINAM, sobre la base de las guías del IPCC, 2006.

Los resultados del presente estudio no representan factores de emisión en sí sino existencias de carbono para el reservorio indicado, dado que los factores de emisión refieren a cambios de existencias en las transiciones de diferentes categorías o usos de la tierra. Al tratarse de existencias de carbono para un momento determinado, los resultados son expresados en toneladas de carbono o biomasa por hectárea (tC/ha ó t/ha) y no en toneladas de CO₂ equivalente por hectárea (tCO₂e/ha). Su aplicación como factores de emisión dependerá de la información disponible sobre existencias de carbono en otros usos del suelo (si existiera un cambio); o en todo caso, si no se contase con datos, se asumiría la oxidación instantánea y la pérdida total de las reservas de carbono una vez sucedido el cambio.

Se debe tener en cuenta que las unidades de estimación para reportar las seis existencias de carbono que figuran en el presente documento están basadas en las seis subpoblaciones, también denominadas ecozonas, definidas por INF para su diseño de muestreo.

Finalmente, es importante recalcar que el presente estudio se plantea como una primera aproximación con datos nacionales sobre densidades de carbono para el reservorio de biomasa arbórea arriba del suelo. Se espera que dicha información sea mejorada y complementada una vez que el INF, que se encuentra en su segundo año de ejecución, cuente con su información completa y disponible. Este mide, entre sus diversas variables, datos para estimar la biomasa aérea, necromasa (madera muerta yacente y en pie) y carbono del suelo (en parcelas de estudios de especiales). Este proceso adaptativo se enmarca en el enfoque escalonado que plantea la CMNUCC (Decisión 12, COP 17), en el que se pueden mejorar los reportes en la medida que se genera información más completa, nuevas tecnologías y también metodologías. De esta manera, muchas de las propuestas trabajadas en el presente documento han sido conciliadas con el diseño del INF, precisamente con la finalidad de cumplir con el principio de coherencia en el tiempo que plantea el IPCC.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1. Equipos y Programas

La elaboración del estudio sobre existencias de carbono para el reservorio de biomasa aérea arbórea fue un trabajo de gabinete que no implicó el establecimiento o medición de parcelas de carbono. Se realizó sobre la base de las mediciones de carbono realizadas por diferentes instituciones (incluyendo el MINAM) proporcionadas al Proyecto REDD+ MINAM. Para la recolección de datos se utilizaron plantillas en formato Excel, las cuales facilitaron la recolección y homogenización de la información proveniente de diferentes instituciones.

Además de los datos de parcelas recolectadas, se contó también con un mapa de límites departamentales del Perú y el Mapa de localización de proyectos e iniciativas REDD+ potenciales en Perú, generado por el Proyecto REDD+ MINAM.

El procesamiento de los datos de inventario se desarrolló en la Herramienta de Cálculo de Parcelas y la Herramienta de Cálculo de Carbono, ambas en formato Excel desarrolladas por Carbon Decisions International. Estas herramientas permitieron la recolección, procesamiento, control de calidad de los datos y uso de toda la información recopilada, tal como se describe en las secciones siguientes.

El análisis de la información también implicó procesamiento espacial para observar la distribución de las parcelas y su pertenencia a las ecozonas identificadas. Este se realizó mediante el software ArcGIS v.10.1.

4.2. Definición de la unidad de estimación para el cálculo de existencias de carbono en bosques

4.2.1. Diagnóstico de información disponible

El contenido de carbono terrestre puede variar según el tipo de cobertura y puede estar influenciado por factores físicos (como precipitación, temperatura, topografía y otros); biológicos (composición de la vegetación, edad del bosque, etc.) así como por factores antropogénicos, como el grado de intervención del bosque (GOFC-GOLD, 2013).

Numerosos mapas de bosques o coberturas han sido desarrollados en el Perú con objetivos, técnicas y alcances diferentes. En el caso de la estimación de las existencias de carbono, es necesario que la agrupación de los bosques sea en función del contenido de carbono. Es decir, cada tipo de bosque utilizado debería representar diferencias significativas en términos de densidades de carbono con respecto al otro.

Una población, según Bechtold W.A. *et al.* (2005), es un área del territorio en la que el número de parcelas (muestra) y el área a ser muestreada son conocidos. Por ejemplo, la población de interés del INF es la superficie del territorio nacional. Sin embargo, por la complejidad ecosistémica y las condiciones de accesibilidad, el INF dividió la población en seis sub-poblaciones, en las que el número, área y la configuración de las parcelas de medición son diferentes. Esto se hizo con el objetivo de optimizar los costos de levantamiento de campo, los cuales dependen tanto de la variabilidad, como de las dificultades de acceso⁴. Para fines del presente estudio, una sub-población, unidad de estimación o estrato, resultan en términos equivalentes pues representan un área de medición conocida mediante el cual se busca reducir la variabilidad al interior de una unidad de estimación con la finalidad de que la diferencia entre ellas resulte significativa.

Con el fin de definir las unidades de estimación bajo las cuales se construyeron los estimados de existencias de carbono en el territorio nacional para la categoría de bosque, el Proyecto REDD+ MINAM evaluó cuatro propuestas de mapas existentes:

- Mapa de Ecozonas, elaborado por el INF.
- Mapa de Cobertura Vegetal del Perú, elaborado por la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural (DGEVFPN) del MINAM.
- Mapa de Ecoregiones, en sus dos niveles de detalle, biomas y ecoregiones, elaborado por el SERNANP con el apoyo del CDC-UNALM.
- Mapa de Sistemas Ecológicos, elaborado por Nature Serve.

⁴ Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal del Perú. Diseño de Muestreo. Proyecto "Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático en el Perú". Lima 2014. En prensa.



De esta manera, a inicios del año 2013, el Proyecto REDD+, a través del PNCB-MCC, convocó a un taller participativo con la finalidad de definir cuál de los mapas propuestos, sobre la base de la información disponible, representaba mejor el contenido de carbono a nivel nacional. Al taller acudieron especialistas de diversas instituciones, entre ellas representantes del MINAM, MINAGRI, gobiernos regionales de San Martín y Madre de Dios, centros de investigación y miembros de la sociedad civil, en particular aquellas instituciones que proporcionaron información sobre inventarios forestales.

Los participantes decidieron la pertinencia de un mapa sobre otro. Como resultado del taller, se propusieron dos alternativas para ser exploradas con mayor énfasis por el Proyecto REDD+ MINAM: el Mapa de Ecozonas, tal cual fue diseñado para el Inventario Forestal Nacional (sin modificaciones); y el Mapa de Cobertura Vegetal del Perú, con un ajuste en la agrupación de coberturas definido por el grupo evaluador. A continuación la tabla 3 resume el ajuste planteado por el grupo evaluador sobre el Mapa de Cobertura Vegetal y el número de parcelas, previo al proceso de control de calidad.

TABLA 3
Distribución de parcelas en las coberturas reagrupadas del Mapa de Cobertura Vegetal

Grupo	Cobertura Vegetal Agrupada	Parcelas iniciales
A	Bosque Relicto Mesoandino	9
	Bosque Relicto Mesoandino de Conífera	
	Bosque Relicto Altoandino	
B	Bosque Seco de Colina Alta	17
	Bosque Seco de Colina Baja	
	Bosque Seco de Montaña	
C	Bosque Seco de Pie de Monte	4
	Bosque Seco de Lomada	
D	Bosque Seco de Valle Interandino	0
	Algarrobal Ribereño	
E	Bosque Seco Tipo Sabana	90
F	Bosque Húmedo de Terraza Baja y Media	293
G	Bosque Húmedo de Terraza Alta	788
	Bosque Húmedo de Colina Alta	
	Bosque Húmedo de Colina Baja y Lomada	
	Bosque Húmedo de superficie Plana Inclinada	
H	Bosque Húmedo de Montaña	613
I	Aguajal	67
J	Manglar	0
K	Bosques inundables de aguas negras*	13
L	Otras coberturas diferentes de Bosque	64

* Esta cobertura provendría del mapa de Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica (Nature Serve). Sin embargo, su uso genera incompatibilidad en las áreas traslapadas.

Fuente: Grupo de trabajo sobre el Mapa de Cobertura Vegetal en el taller para definirla estratificación de carbono.


Finalmente, se definió el Mapa de Ecozonas como la unidad de estimación, bajo la cual reportarían las existencias de carbono a nivel nacional, con la finalidad de cumplir con el principio de coherencia que plantean tanto el IPCC como la CMNUCC en sus decisiones más recientes para niveles de referencia (COP 19, Decisión 13). Siendo el INF la fuente de información sobre existencias de carbono para el futuro, es coherente en el tiempo que, para el ejercicio actual de existencias de carbono a nivel nacional, se empleen las mismas unidades.

ILUSTRACIÓN 1

Distribución de las parcelas recopiladas en el Mapa de Ecozonas del INF



Fuente: Proyecto REDD+ MINAM, en base al Mapa de Ecozonas elaborado por el INF.



4.2.2. Descripción de las ecozonas

El Mapa de Ecozonas fue elaborado tomando como insumo los siguientes mapas con la finalidad de definir áreas con cierta homogeneidad en su fisiografía, cobertura vegetal, regiones naturales del Perú, humedales RAMSAR y accesibilidad:

- Mapa de regiones naturales del Perú, año 2000. OGATEIRN-INRENA.
- Mapa fisiográfico, año 2000. INRENA.
- Mapa de Cobertura Vegetal del Perú, año 2009. DGEVFPN-MINAM.
- Mapa de Complejo de Humedales del Abanico del Río Pastaza, año 2012. MINAM.
- Mapa de accesibilidad y desplazamiento del INF, año 2012. Proyecto INF.

De acuerdo con la información provista por el INF, a continuación se describen brevemente las seis ecozonas. Para mayor información sobre su elaboración consultar la Memoria Descriptiva del Mapa de Ecozonas.

TABLA 4
Descripción de las Ecozonas del INF

ECOZONA	DESCRIPCIÓN
Costa	Cubre una superficie aproximada de 15 024 309,50 ha (11,69% del país). Se ubica a lo largo del litoral peruano, predominantemente desértico, que va desde los cero (0) hasta los 2000 msnm. Presenta una cobertura vegetal arbórea rala tipo seco, de porte bajo y ramificado, en la zona norte entre los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad.
Sierra	Cubre una superficie aproximada de 35 270 134,85 ha (27,44% del país) También abarca de norte a sur del país: desde la sierra de los departamentos de Piura y Cajamarca, en el norte, y de Puno a Tacna, en el sur. Va desde los 2000 msnm en la zona occidental, llegando a la zona oriental hasta aproximadamente 3800 msnm, que es el límite de los bosques húmedos de selva. Presenta predominantemente una cobertura vegetal de pajonal altoandino y páramos. La cobertura arbórea diseminada de porte bajo es de tipo relicto alto y meso-andino homogéneo con fuertes intervenciones, complementada con los bosques secos de valles interandinos ubicados en los valles de los ríos Marañón en el norte y Apurímac en el sur.
Selva alta accesible	Cubre una superficie aproximada de 11 083 358,27 ha (8,62% del país). Incluye los departamentos de Amazonas y Cajamarca en el Norte, hasta Puno en el sur, y va desde los 500 msnm hasta los 3800 msnm límite con la sierra. Tiene relativamente buena accesibilidad por la actual infraestructura vial asfaltada, afirmada, vecinal o carrozables. Presenta cobertura arbórea de fuste recto y copas amplias en las zonas bajas, llegando a medir los árboles hasta 35 metros. En las partes altas, vegetación de porte bajo achaparrado, que pueden llegar hasta 10 metros de altura, con fustes deformes y copas reducidas con muchos musgos y epifitas adheridas a los árboles.
Selva alta de difícil acceso	Cubre una superficie aproximada de 11 333 202,60 ha (8,82% del país). A diferencia de la unidad anterior, esta se encuentra recubierta por relieves o fisiografías generalmente montañosas de fuertes pendientes y muy disectadas, por lo que mantienen una protección natural por su difícil acceso. Esto dificultó que se ejecutaran obras de infraestructura vial lo que a su vez permitió que se mantuviera una mejor cobertura natural. Muchas áreas de esta zona están declaradas como Areas Naturales Protegidas a cargo del SERNANP o de los gobiernos regionales. Sus características fisionómicas y florísticas son semejantes a la ecozona anterior. El análisis de proximidad según regiones fisiográficas y clase de acceso por regiones naturales para Selva Alta se describe en la Memoria Descriptiva del Mapa de Ecozonas, del INF.

Selva baja Es la más extensa de las Ecozonas con 47 140 848 ha (36,68 % del país). Se ubica en la zona oriental del país, cubriendo desde el departamento de Loreto en el norte hasta el departamento de Madre de Dios en el sur. Fluctúa desde aproximadamente 100 msnm en la frontera con Brasil y Colombia hasta los 500 msnm entre los departamentos de San Martín, Huánuco, y Cusco. La vegetación predominante es de porte arbóreo que puede llegar hasta 45 m de altura, con fustes definidos y rectos, copas amplias y frondosas. Cubre unidades fisiográficas de complejos de orillares denominados llanuras meándricas: terrazas bajas; terrazas medias; terrazas altas; colinas bajas y colinas altas en forma aislada. Tiene una amplia variabilidad de especies arbóreas: se calcula que hay más de 7000.

Zona Hidromórfica Esta zona, 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. Se ubica en el departamento de Loreto y cubre una superficie aproximada de 8 669 705,79 ha. (6,75% del país). Fisiográficamente se ubica en Terrazas aluviales cóncavas que, por efectos de la crecida de los ríos en temporada lluviosa, su formación edáfica arcillosa, y suelos de mal drenaje, se mantiene generalmente inundada. En consecuencia, principalmente se desarrolla vegetación que soporta estas limitaciones naturales, con gran predominancia de las palmeras de aguaje (*Mauritia flexuosa*), presentándose como un estrato homogéneo, por lo que se les denomina también a estas zonas como aguajales. En esta unidad también existen algunas áreas con cubierta herbácea arbustiva con presencia de especies de Aráceas y Poáceas.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego, Ministerio del Ambiente y FAO. 2014. Memoria descriptiva del mapa de Ecozonas. Lima: MINAG. En prensa.

4.2.3. Actualización de las áreas con cobertura boscosa

Dado que los resultados reportan datos de existencias de carbono únicamente sobre áreas boscosas fue necesario diferenciar áreas con cobertura de bosque sobre otro tipo de coberturas del suelo, según las herramientas más recientes disponibles.

Para realizar dicho ajuste, se empleó el Mapa de Bosque Húmedo Amazónico para el año 2011, generado por un esfuerzo conjunto entre el MINAM y MINAGRI, con el apoyo de la Universidad de Maryland. Dado que tanto el Mapa de Bosque Húmedo Amazónico como el de Ecozonas tomaron como insumo los límites del Mapa de Cobertura Vegetal del Perú, los límites de selva coinciden. Para el caso de las ecozonas de Costa y Sierra no fue posible hacer dicho recorte pues la información más cercana a una delimitación de bosque fue generada para el Mapa de Cobertura Vegetal del año 2009 y esta muestra el ámbito potencial de la cobertura en “lugar de la actual”.

ILUSTRACIÓN 2

Recorte de Bosques Húmedos Amazónicos para el año 2011



Fuente: Vargas, C. et al. Protocolo de Clasificación de Pérdida de Cobertura en los Bosques Húmedos Amazónicos entre los años 2000 - 2011. Ministerio del Ambiente y Ministerio de Agricultura y Riego Lima - Perú. En prensa.

De esta manera, de acuerdo a lo anteriormente expuesto, la estratificación está dada por las unidades de bosque (según recorte del Mapa de Bosque Húmedo Amazónico) en cada una de las ecozonas definidas por el INF (Costa, Sierra, Selva Alta Accesible, Selva Alta de Dificil Acceso, Selva Baja y Zona Hidromórica). Los contenidos de carbono de otros reservorios y usos del suelo -como por ejemplo, árboles fuera del bosque- no se encuentra representada en el presente informe. La tabla a continuación describe las áreas de bosque por Ecozona, según la capa de Bosque Húmedo Amazónico para el año 2011:

TABLA 5
Área de Bosque Húmedo Amazónico por Ecozona en la Amazonía

Ecozona	Área Total (ha)	Área de Bosque Húmedo Amazónico (ha)
Selva Alta Accesible	11 161 404,59	6 821 618,86
Selva Alta de Difícil Acceso	11 422 213,90	10 687 054,95
Selva Baja	47 472 803,43	44 192 581,22
Zona Hidromórfica	8 730 755,75	7 910 305,65

Fuente: Pérdida de Cobertura en los Bosque Húmedo Amazónico entre los años 2000-2011. MINAM-MINAGRI

Se debe tener en cuenta que para el caso de Costa y Sierra no se contó con un mapa de cobertura boscosa para hacer el recorte respectivo de bosque. Por esta razón, en ambos casos, las unidades de estimación están dadas en su totalidad por el área que comprenden ambas ecozonas.

4.3. Estimación de las densidades de carbono

4.3.1. Reservorios considerados

Aunque la convocatoria para aportar datos realizada por el MINAM incluyó la colección de datos de todos los reservorios de carbono en ecosistemas forestales que figuran en la tabla 2 (biomasa arriba del suelo, biomasa subterránea, madera muerta en pie, madera muerta yacente, hojarasca, materia orgánica del suelo, productos de madera colectada), solo se contó con información representativa para el cálculo de existencias de carbono para el reservorio de biomasa arbórea arriba del suelo.

4.3.2. Recolección y procesamiento de información sobre biomasa aérea

El MINAM, a través del Programa Nacional de Conservación de Bosques (PNCB), realizó una convocatoria a las instituciones privadas, organismos gubernamentales y no gubernamentales, instituciones públicas y académicas para coleccionar datos sobre inventarios forestales o de carbono desarrollados en el país. La recopilación de información se dio, en un primer periodo, entre el 28 de diciembre del 2012 y 15 de



febrero del 2013, habiéndose enviado una comunicación a todas las instituciones identificadas con las instrucciones y plantillas en formato Excel para la recolección de los datos. Posteriormente, se extendió el plazo hasta fines de febrero para el intercambio y retroalimentación de las bases de datos y, dado que se contaba con serios vacíos de información para las ecozonas de Costa y Zona Hidromórfica, el periodo de recepción de información para ambos casos se extendió hasta febrero del 2014 con la finalidad de incorporar las parcelas medidas hasta la fecha por el INF.

En total, se colectó información de 1991 parcelas, la mayoría con información a nivel de individuo (árbol) aunque algunas de ellas también a nivel de parcela, junto con los protocolos de medición empleados por las instituciones. Durante la revisión y organización de la base de datos, en algunos casos se solicitó a las entidades aportantes aclaraciones adicionales sobre los datos o remisión de algunos faltantes. Todas las instituciones que gentilmente proporcionaron su información se encuentran destacadas en la parte inicial del presente documento, en la sección de agradecimientos y adicionalmente se describen a continuación para destacar el esfuerzo desarrollado en la recolección de información primaria en campo:

TABLA 6
Instituciones que proporcionaron información de inventarios forestales y de carbono

Andes Biodiversity and Ecosystem Research Group	ABERG
Asociación de Ecosistemas Andinos	ECOAN
Asociación para la Biodiversidad, Investigación y Desarrollo Ambiental en Ecosistemas Tropicales	ABIDA
Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica	ACCA
Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral	AIDER
Amazónicos por la Amazonía	AMPA
Bosques Amazónicos	BAM
Carnegie Institution for Science	CARNEGIE
Centro de Conservación, Investigación y Manejo de Áreas Naturales-Cordillera Azul	CIMA
Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta	CEDISA
Conservación Internacional Perú	CI
CREES Foundation	CREES
Desarrollo Rural Sustentable	DRIS
Department of Ecology and Natural Resource Management Norwegian University of Life Sciences	NUMB
GREENOXX Global Environmental Program	
Gobierno Regional de Amazonas	
Helvetas	
Institute of Silviculture, Technische Universität München	IS-TUMunich
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*	IIAP
Jardín Botánico de Missouri, Oxapampa*	JBM
Ministerio del Ambiente - Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural	DGEVFPN -MINAM
Proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible en el Perú ante el Cambio Climático	INF
Pontificia Universidad Católica del Perú*	PUCP
Programa de Monitoreo de la Biodiversidad en Camisea	
PUR PROJECT	
Rainforest Alliance	
School of Geography and the Environment, University of Oxford, UK*	ECI- Oxford
School of Geography, University of Leeds, UK *	
Servicio Nacional de Areas Naturales Protegidas	SERNANP
The Nature Conservancy	
University of Edinburgh-School of Geosciences	SG-UEDING
Universidad Nacional Agraria La Molina*	UNALM
Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco*	UNSAAC
Universidad Nacional de la Amazonía Peruana*	UNAP
Word Agroforestry Centre	ICRAF
World Wildlife Fund	WWF

* Estas instituciones son parte de la Red Amazónica de Inventario Forestales (RAINFOR) y los datos fueron recopilados usando ForestPlots.net

Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

Toda la información de inventarios suministrada a nivel de individuo fue procesada con la herramienta de cálculo de parcelas, para obtener los datos de biomasa y carbono a nivel de parcela, expresada por unidad de hectárea, para luego ser incorporada en la herramienta de cálculo de carbono que almacena, que organiza y calcula las existencias de carbono. Todas las parcelas fueron conciliadas en el sistema de coordenadas WGS 84, proyección UTM Zona 18 Sur.

4.3.3. Control de calidad

Al contar con información generada bajo distintas propuestas metodológicas fue necesario realizar un control de calidad de datos exhaustivo con el fin de incorporar o descartar algún registro o parcela del estudio. Si bien el estudio inició con 1991 parcelas, luego del proceso de control de calidad descrito se consideraron finalmente 1220 de ellas.

La revisión se basó principalmente en la coherencia de los datos recibidos y los fines del estudio, tanto de manera interna (información indispensable disponible -coordenadas, existencias de carbono, tamaño de parcelas, entre otros-, verificación de coordenadas, coherencia del tamaño de parcelas reportado versus el resto de parcelas aportadas).

Las siguientes fueron algunas de las causales para excluir parcelas de los cálculos de existencias de carbono:

4.3.3.1. Problemas de localización

La localización correcta de las parcelas es indispensable para determinar el estrato al que corresponde un determinado dato de contenido de carbono. En ese sentido, la ubicación de las parcelas fue cuidadosamente revisada, apoyada en herramientas como los límites departamentales del Perú y el Mapa temático elaborado por el Proyecto REDD+ donde se visualizan las iniciativas o proyectos REDD+ potenciales documentadas hasta el año 2012. En algunos casos, los errores pudieron ser subsanados (como registros de latitud y longitud invertidos, o proyecciones mal reportadas). En otros fue necesario descartar parcelas debido a evidentes errores de localización, repetición de coordenadas, incoherencia entre los datos de coordenadas y altitud. Los problemas encontrados fueron los siguientes:

- Coordenadas repetidas. En este caso se dejó solo una de las parcelas de cada grupo repetido, basando la decisión de cuál dejar en un análisis cuidadoso de la información disponible.

- Parcelas sin coordenadas. Se descartaron las parcelas.
- Incoherencia de datos. Coordenadas erróneas o evidentemente mal digitadas.
- Coordenadas fuera de la región del proyecto o del departamento del Perú. Estas parcelas fueron también descartadas.

4.3.3.2. Problemas metodológicos

- Parcelas con metodologías no compatibles con la herramienta de cálculo (por ejemplo, parcelas lineales). También se excluyeron aquellas parcelas cuya área de medición se repetía menos de 10 veces para las ecozonas de Selva Alta Accesible, Selva Alta de Difícil Acceso y Selva Baja. La justificación de este descarte se debe a los procedimientos de cálculo del estimador, descrito en secciones posteriores. Se agruparon las parcelas dentro de una misma ecozona en unidades con áreas iguales, aquí denominadas conjunto de unidades de medición (0,02 ha; 0,05 ha; 0,1 ha y así sucesivamente), con la finalidad de generar estimados por cada una de ellas. Todos aquellos conjuntos de unidades de medición que contaron con menos de 10 registros fueron descartados del proceso, con la finalidad de contar con estimadores estables sobre la media y la varianza (Westfall J. *et al.*, 2011).
- Definición incompatible de reservorios. Por ejemplo, datos a nivel de parcela con información sobre biomasa aérea arbórea y no arbórea – DAP < 10cm – o un solo árbol por parcela. En el caso de Costa y Sierra se tomaron diámetros a la altura de pecho a partir de 5cm, y para las demás ecozonas, a partir de 10cm. Esto es consistente con los protocolos y manuales de campo del INF.

4.3.3.3. Descarte por cobertura no boscosa

Como se mencionó en la sección 4.2.3., a la capa de parcelas recibidas por instituciones para el cálculo de existencias de carbono se le superpuso la capa de Bosque/No bosque mas reciente generada por el MINAM-MINAGRI para la Amazonía peruana (2011) con la finalidad de identificar y descartar aquellos registros que se encontraban en áreas sin cobertura boscosa. También, en este caso, se excluyeron las parcelas que el propio proyecto señaló que fueron tomadas en áreas no boscosas (por ejemplo, sistemas agroforestales o plantaciones).

- Recorte Bosque/No bosque de Bosque Húmedo Amazónico al 2011.
- La institución reportó que la parcela se encontraba en una cobertura

distinta a bosque.

4.3.3.4. Errores o faltantes en datos generales de las parcelas

- Parcelas sin área.
- Parcelas sin datos de existencias de carbono y sin datos para calcularlas.

4.3.3.5. Errores o faltantes en los datos específicos de los reservorios

- Aplicación incorrecta del protocolo de medición (por ejemplo, presencia de árboles de tamaño no permitido en subparcela o árboles que sobrepasan el rango de diámetro permitido por las ecuaciones alométricas empleadas [Chave, 2005] $5 \leq \text{DAP} \leq 156 \text{cm}$). No se descartó la parcela sino el individuo, a menos que, hubiera mas de un error en la misma parcela.
- Valores evidentemente erróneos (por ejemplo, 100 m de altura). En estos casos, no se descartó la parcela sino el individuo, a menos que se encontrara mas de un error en la misma parcela.

4.3.4. Estimación de contenidos de carbono por parcela

Adicionalmente al control de calidad realizado a los datos recolectados, es importante señalar algunos otros procedimientos que influyeron directamente en los cálculos de existencias de carbono por parcela.

En aquellos casos en que las instituciones proporcionaron datos a nivel de individuo (árbol), se procedió a calcular el contenido de carbono en biomasa arriba del suelo utilizando con la Herramienta de cálculo de parcelas, configurada con las ecuaciones alométricas de Chave *et al.* (2005). Al momento en el que los cálculos fueron realizados (segundo periodo del año 2013) no se contaba con información de ecuaciones alométricas nacionales para las seis ecozonas empleadas en esta investigación. En tal sentido, el proyecto REDD+ MINAM impulsó un trabajo conjunto con el PNCBMCC, la Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos (DGCCDRH) y la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural (DGEVFPN), y del INF, con la finalidad de definir las ecuaciones alométricas y factores que se seleccionarían para el cálculo de contenido de carbono por parcela para los fines del presente estudio. La decisión se basó en el



Cordillera Azul (San Martín)-CIMA.

conocimiento de las condiciones del terreno y los patrones climáticos planteados por Chave (2005) en su publicación, además de publicaciones de investigadores que trabajan en la Amazonía peruana. Las ecuaciones empleadas se presentan en la Tabla 6. Uno de los objetivos fue garantizar que estas sean utilizadas tanto para la elaboración de las existencias de carbono en bosques para este primer estudio, así como por el Inventario Forestal Nacional, siendo así que los resultados de ambas iniciativas sean compatibles en el futuro (en caso que no se desarrollen ecuaciones alométricas nacionales en los próximos años).

TABLA 7 Ecuaciones alométricas empleadas para el cálculo de contenido de carbono en biomasa arriba del suelo en bosque			
Ecuación / Factor	Alcance	Región	Referencia
$0,112 \times (\rho * dap^2 * ht)^{0,916}$	Costa y Sierra	Dry forest	Chave <i>et al.</i> (2005)
$\rho * \text{Exp}(-1,239 + 1,980 * \text{Ln}(dap) + 0,207 * \text{Ln}(dap)^2 - 0,0281 * \text{Ln}(dap)^3)$	Selva Alta y Zona Hidromórfica	Wet forest	Chave <i>et al.</i> (2005)
$\rho * \text{Exp}(-1,499 + 2,148 * \text{Ln}(dap) + 0,207 * \text{Ln}(dap)^2 - 0,0281 * \text{Ln}(dap)^3)$	Selva Baja	Moist forest	Chave <i>et al.</i> (2005)
$6,666 + 12,826 * ht^{0,5} * \text{Ln}(ht)$	Palmas de Alto Porte ($ht > 11m$)		Pearson <i>et al.</i> (2005)
$23,487 + 41,851 * \text{Ln}(ht)^2$	Palmas de Bajo Porte ($ht \leq 11m$)		Pearson <i>et al.</i> (2005)
	Lianas		Putz F.E. (1983)
0,49	Fracción de carbono		IPCC, 2006
0,64	Densidad de madera por defecto		

Dónde:

ρ = densidad de la madera

dap = diámetro a la altura de pecho

ht = altura del árbol

En cuanto a la densidad de la madera, en los casos en que las instituciones brindaron la información a nivel de árbol, la densidad que se consideró fue la indicada por la institución. Sin embargo, en aquellos casos en que las instituciones no la reportaron se tomó como referencia las densidades de algunas maderas tropicales, considerando una lista de densidades de madera de 1418 especies tropicales tomadas de Baker *et al.* 2004, Barbosa y Fearnside 2004; CTFT 1989; Fearnside 1997 y Brown 1992. En los casos en que no se encontró el valor de densidad de la madera para un individuo en las tablas indicadas, se aplicó un valor de 0,64, que es el promedio de las densidades de la madera para todas las especies reportadas para América del listado mencionado.

A todas las parcelas se les asignó un código único de identificación en la herramienta de cálculo de parcelas con la finalidad de que pueda ser identificada en todo el proceso de cálculo y posteriormente ingresadas en la herramienta de cálculo de carbono. Uno de los principales beneficios del uso de ambas herramientas es que permiten registrar y almacenar toda la información relacionada con todas las parcelas (seleccionadas o no) en un mismo documento de Excel, lo cual respalda el principio de transparencia del IPCC.

Antes de proceder con los cálculos de existencia de carbono, a cada parcela se le asignó la ecozona correspondiente según las coordenadas de cada una de ellas. Posteriormente, se diferenció si la parcela sería incluida o no dentro de los cálculos de existencias de carbono. Para ello, se consideraron las causales descritas en la sección anterior sobre control de calidad.

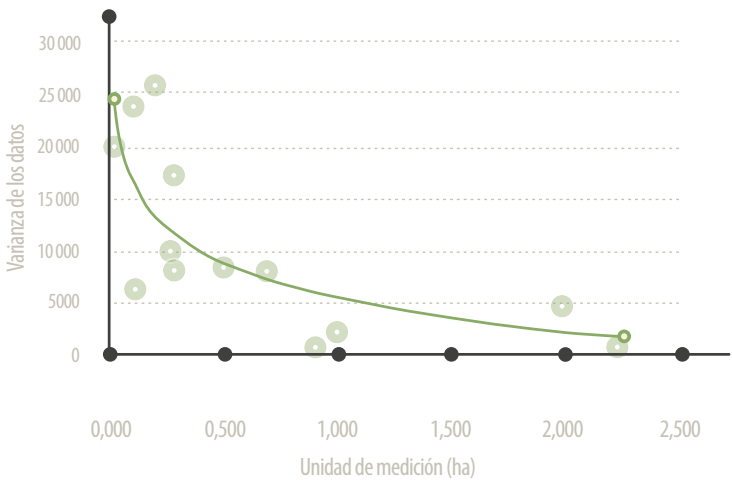
4.3.5. Estimación de densidades de carbono por ecozona

Uno de los principales retos de generar estimaciones de carbono con parcelas medidas bajo diferentes protocolos metodológicos fue justamente contar con unidades de medición sumamente variables. Parcelas mas pequeñas pueden registrar una variabilidad mas alta en sus estimados de carbono por árboles extraordinarios muestreados, o carencia de ellos, una vez que la unidad es expandida a la hectárea (unidad de reporte), por cuanto no es de esperarse que todas las hipotéticas parcelas de dicho tamaño posibles de localizar en una hectárea tuvieran árboles de ese tipo. No resulta justificable, por ningún motivo, eliminar parcelas con contenidos de carbono muy altos o bajos para estabilizar la varianza de los datos. Por esta razón se aplicó una ponderación basada en la varianza de la media para calcular cada ecozona (Thomas y Rennie, 1987), en lugar de la media aritmética.

Esta propuesta se basa en un análisis previo de los datos de las ecozonas de Selva Alta de Difícil Acceso, Selva Alta Accesible y Selva Baja; las cuales contaban con más una unidad de medición con varios registros. Se analizó el efecto inversamente proporcional: mientras más pequeñas las parcelas la varianza de sus datos se incrementa.

ILUSTRACIÓN 3

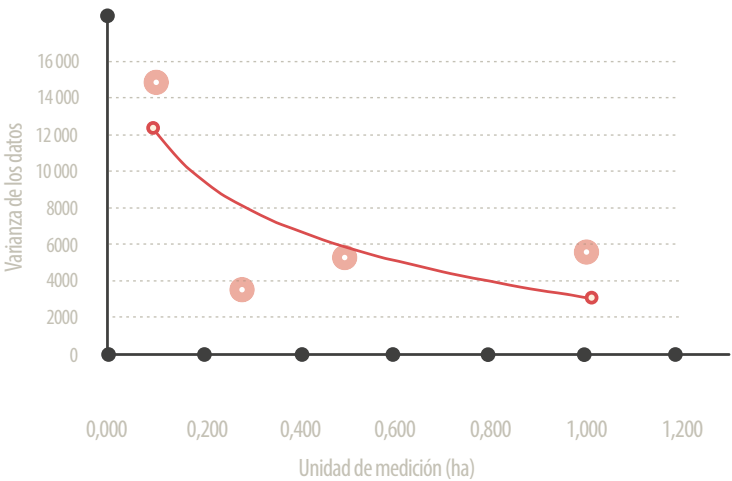
Relación de la varianza de los datos con respecto a la unidad de medida de las parcelas - Ecozona de Selva Baja



Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

ILUSTRACIÓN 4

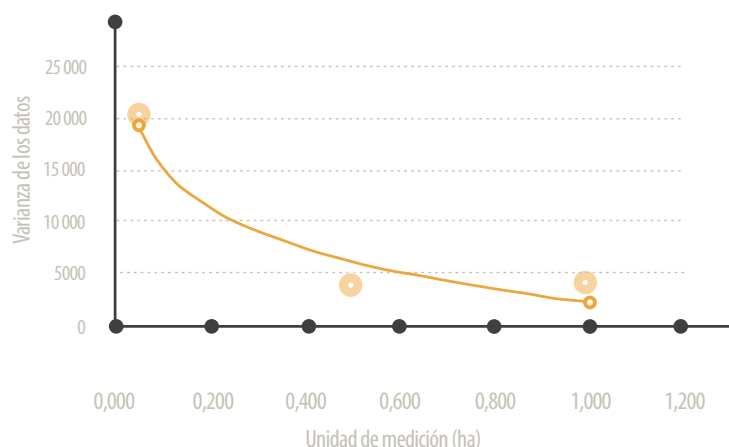
Relación de la varianza de los datos con respecto a la unidad de medida de las parcelas - Ecozona de Selva Alta Accesible



Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

ILUSTRACIÓN 5

Relación de la varianza de los datos con respecto a la unidad de medida de las parcelas - Ecozona de Selva Alta de Difícil Acceso



Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

El IPCC, en sus directrices del año 2006 para INGEI, no muestra un análisis profundo sobre la definición del mejor estimador que represente los datos con los que cuenta un país para el cálculo de sus existencias de carbono en un TIER II, dado que se asume que los datos de carbono provienen de inventarios forestales. En vista de que la propuesta actual no se basa en un inventario nacional forestal, en el que todas las parcelas cuentan con el mismo diseño de muestreo y protocolo metodológico, y habiendo demostrado que la tendencia de la varianza de los datos se ve afectada por el tamaño de la muestra, se optó por no representar los cálculos basados en el promedio aritmético para las ecozonas de Selva Alta Accesible, Selva Baja y Selva Alta de Difícil Acceso. Se prefirió emplear un factor de ponderación basado en la varianza de la media⁵. Como se muestra en la sección de resultados mas adelante, para las tres ecozonas indicadas la media aritmética sobreestima el contenido de carbono, de ello se desprende la propuesta del ajuste.

5 Thomas y Rennie. 1987. Combining Inventory Data for Improved Estimates of Forest Resources.

En efecto, tal como sugirió el equipo asesor, el mejor peso de ponderación debería haber estado basado en la fracción del área de bosque que representa cada conjunto de unidades de medición (parcelas de un mismo tamaño por ecozona) sobre el área total de bosque de cada ecozona, como muestra la siguiente ecuación. Sin embargo, no fue posible calcular el área que representa cada unidad de medición pues no necesariamente cada conjunto de parcelas representaba un tipo de bosque en particular. El tamaño de parcela no está directamente relacionado con un tipo de bosque.

$$W_{ij} = \frac{\text{Área representada de una unidad de medición } i \text{ en el estrato } j}{\text{Área total de bosque del estrato } j} = \frac{AR_{ij}}{AT_j}$$

Dónde:

W_{ij} = peso de ponderación del área de la medición i en el estrato j

De este modo, se trabajó bajo la propuesta de Thomas y Rennie, 1987, en la que se sugiere que en muchos casos, el uso de la media aritmética puede ser limitado y que es posible obtener estimadores insesgados de dos inventarios independientes, con medias y varianzas conocidas. Thomas y Rennie rescatan la propuesta de Cochran y Porter (1953), quienes definen que si la varianza es conocida, el mejor estimador de la media para las tres ecozonas arriba indicadas sería:

$$\bar{x}'_j = \sum \frac{\bar{x}_i w_{ij}}{w}$$

Dónde:

\bar{x}'_j = media ponderada de la ecozona j (expresada en biomasa o carbono por hectárea)

$$w_{ij} = \frac{1}{S^2_{ij}}$$

$$w = \sum_{i=1}^j w_{ij}$$

$$S^2_{ij} = \text{Varianza de la media } \bar{x} = \frac{S^2_{ij}}{n}$$

S^2_{ij} = Varianza de los datos de un conjunto de unidades de medición i para la ecozona j

\bar{x}_i = Media aritmética del conjunto de unidades de medición i

Esta propuesta fue discutida y retroalimentada en una reunión con asesores técnicos del Servicio Forestal de Estados Unidos y la CONAFOR de México, quienes apoyaron la propuesta reconociendo que podría ser aplicada bajo las condiciones de la investigación asumiendo los siguientes supuestos:

- Cada conjunto de unidades de medición o tamaños de parcela (i) dentro de una ecozona (j) es independiente.
- Los estimados no son enteramente representativos de las ecozonas pues el diseño de muestreo no fue aleatorio, por lo que se tienen zonas (donde se focalizan la mayoría de las parcelas) mejor representadas que otras. Sin embargo, al no contar con información exhaustiva para todo el territorio nacional por parte del INF, los estimadores utilizados para este primer ejercicio resultan consistentes para las ecozonas arriba indicadas.

Para el caso de Costa, Sierra y Zona Hidromórfica no fue posible aplicar el procedimiento arriba indicado sobre el uso de una media ponderada en función de la varianza, dado que sólo se contó con una unidad de medición (áreas uniformes de parcelas) con al menos 10 registros. Por ello, el mejor estimador para estas tres ecozonas fue la media aritmética.

4.3.6. Análisis de incertidumbres

El IPCC, en sus guías del 2006, plantea como buena práctica trabajar con un nivel de confianza de 95% para la cuantificación de los errores aleatorios. El IPCC asume que los errores sistemáticos o sesgos -por ejemplo, representatividad de los datos- son reducidos al máximo de las posibilidades para que el análisis de las incertidumbres se focalice principalmente en representar los errores aleatorios respecto a la estimación de la media, es decir, aquellos errores que tienen que ver con la precisión entre los registros⁶.

Siguiendo la propuesta de Cochran y Porter (1953) para las ecozonas de Selva Alta de Difícil Acceso, Accesible y Selva Baja, el cálculo de la varianza se define como:

$$var(\bar{x}_j) = \frac{1}{w} \left[1 + \frac{4}{w^2} \sum_{i=1}^j \frac{1}{(n_i-1)} (w_i \{w-w_i\}) \right]$$

6 IPCC. Directrices del IPCC del 2006. Volumen 1, Sección 3.

$var(x'_j) = \text{Varianza estimada de la media para la ecozona } j$

(Selva Alta Accesible, Selva Alta de Dificil Acceso y Selva Baja)

$n_i - 1 = \text{grados de libertad para cada conjunto de unidades de medición } j$

w y w_1 se encuentran indicados en la sección anterior.

Las ecuaciones empleadas para el cálculo el Error Estándar, Intervalo de Confianza e Incertidumbre para cada una de las ecozonas definidas se muestran a continuación. En general, para calcular el error estándar en las ecozonas de Selva Alta (Difícil y Accesible) y Selva Baja se siguió la propuesta de Chochran & Porter (1953) porque se contó con conjuntos de unidades de medición de diferentes áreas considerados como inventarios independientes para el cálculo de la varianza. Para el caso de las ecozonas de Costa, Sierra y Zona Hidromórfica se aplicó la ecuación estándar, ya que el estimador utilizado fue la media aritmética.

$$S_{\bar{x}j} = \sqrt{\frac{S^2}{n_{ij}}} = \frac{s_j}{\sqrt{n_{ij}}}$$

$$S'_{\bar{x}j} = \sqrt{var(x'_j)}$$

$$IC = \bar{x}_j \pm z_{\alpha/2} S_{\bar{x}j}$$

$$\%U_j = \frac{1/2 * (95\% \text{ de la amplitud del intervalo de confianza})}{(\bar{x}_j)} * 100$$

Dónde:

$S_{\bar{x}j} = \text{Error estándar para la ecozona } j \text{ (Costa, Sierra y Zona Hidromórfica)}$

$S^2 = \text{Varianza de los datos para la ecozona } j \text{ (Costa, Sierra y Zona Hidromórfica)}$

$s_j = \text{Desviación estándar de los datos en la ecozona } j \text{ (Costa, Sierra y Zona Hidromórfica)}$

$n = \text{número de registros en la unidad de medición } i \text{ en el estrato (Costa, Sierra y Zona Hidromórfica)}$

$S'_{\bar{x}j} = \text{Error estándar de la media para la ecozona de Selva Alta Accesible, Selva Alta de Dificil Acceso y Selva Baja}$

$U_j = \text{Incertidumbre en la ecozona } j \text{ (general)}$

Adicionalmente, es importante mencionar que si bien la CMNUCC recomienda, en sus decisiones, que se utilicen las guías más recientes del IPCC para REDD+, estas no fueron diseñadas para niveles de referencia forestales, sino específicamente para el reporte de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Efectivamente el cálculo de incertidumbre se entiende como un proceso indispensable dentro de las mediciones de emisiones y remociones de GEI, cálculo de factores de emisión, datos de actividad, propagación del error en los niveles de referencia forestales o niveles de referencia de emisiones forestal, su implicancia en REDD+ radica básicamente en el proceso de negociación tomando en consideración la propuesta de usar datos conservadores.

El Estándar VCS Jurisdiccional y Anidado hace algunas recomendaciones más claras para el manejo de incertidumbres⁷. En sus guías de requerimientos plantea que en aquellos casos en que la incertidumbre es mayor al 30%, cuando se trabaja con un nivel de confianza del 95%, es necesario hacer un ajuste por incertidumbre al estimado sobre la base de un factor de corrección. Este debe ser descontado del estimado, una vez aplicado en niveles de referencia para REDD+ y sumado para fines del monitoreo. Este enfoque no ha sido aplicado al presente estudio; sin embargo, resulta interesante rescatar las propuestas existentes para la aplicación de los resultados y sus incertidumbres en el mecanismo REDD+.

7 VCS. Jurisdictional and Nested REDD+ (JNR) Requirements. 2012.



5. RESULTADOS

5.1. Temporalidad de la información

Para el cálculo de existencias de carbono en el reservorio de biomasa aérea en los bosques del Perú se consideraron todas aquellas parcelas proporcionadas por las instituciones indicadas en la sección anterior cuya mediación en campo fue registrada a partir del año 2005.

Adicionalmente, se evaluó la cobertura al año 2011 sobre la base del Mapa de Cobertura de Bosques Húmedos Amazónicos del año 2011, desarrollado por el MINAM y MINAGRI para todas las ecozonas de Selva y Zona Hidromórfica. En tal sentido, si se asumiera un momento dado para las existencias de carbono podría asumirse el año 2011 debido al recorte de bosque dentro del proceso del control de calidad.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que las existencias de carbono presentadas en el documento podrán ser aplicadas a fechas diferentes (por ejemplo, al inicio o al final de un nivel de referencia forestal para REDD+). Se considera entonces que los límites y la extensión de los bosques son cambiantes a lo largo del tiempo, mientras que las densidades de carbono asignadas a dichos tipos de bosque se consideran constantes, al menos mientras estos resultados de existencias de carbono permanezcan vigentes.

5.2. Control de calidad de los datos

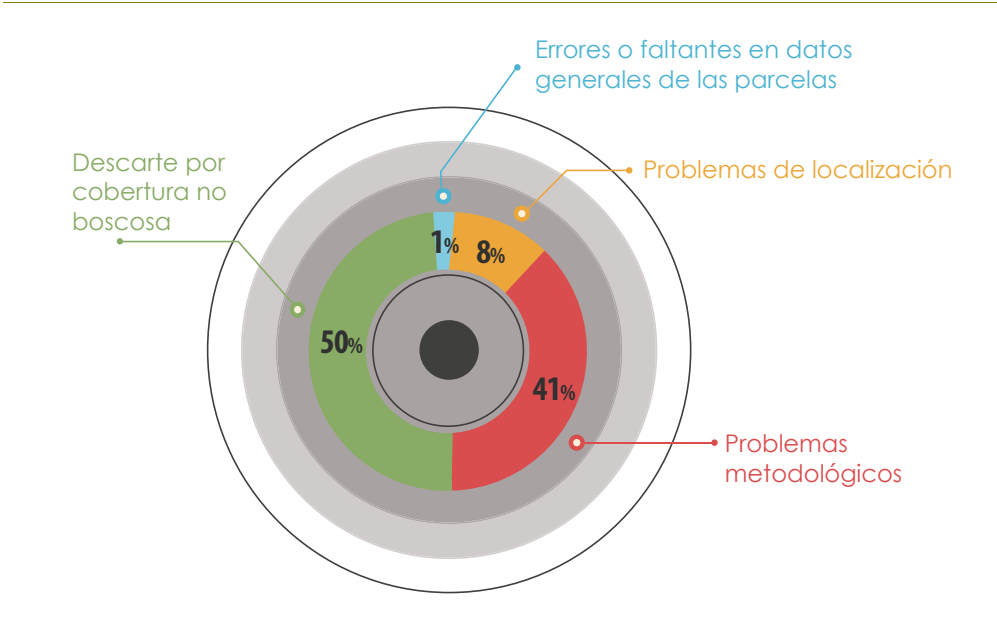
Tras el proceso de control de calidad, de las 1991 inicialmente recibidas por las instituciones indicadas en secciones anteriores, fueron finalmente 1220 las seleccionadas luego del proceso de control de calidad descrito en la metodología. La tabla 7, a continuación, muestra un resumen de las parcelas inicialmente recibidas y las seleccionadas por cada ecozona. La ilustración 6 por su parte prioriza las causales de exclusión de parcelas según la justificación descrita en la sección 4.3.3.

TABLA 8
Parcelas incluidas por ecozona

	Número de parcelas Previo control de calidad	Número de parcelas Post control de calidad
Costa	112	31
Sierra	51	24
Selva Alta de Difícil Acceso	456	193
Selva Alta Accesible	293	132
Selva Baja	1035	827
Zona Hidromórfica	13	13
Unidad no asignada por problemas de localización	30	0
TOTAL	1991	1220

Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

ILUSTRACIÓN 6
Causales de exclusión de parcelas



Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

ILUSTRACIÓN 7

Mapa de ecozonas del INF y localización de las parcelas luego del control de calidad



Fuente: Proyecto REDD+ MINAM, sobre la base al Mapa de Ecozonas elaborado por el INF.

La ilustración 7 muestra además la capa del Mapa de Ecozonas generado por el INF, superpuesto con las parcelas finales seleccionadas.

5.3. Existencias de carbono en biomasa aérea e incertidumbres

Los resultados de existencias de carbono para el reservorio de biomasa aérea en bosques de las ecozonas de Selva Alta Accesible, Selva Alta Difícil y Selva Baja fueron calculados sobre la base de una medida ponderada en función de la varianza de la media, tal como se describe en la sección 4.3.5. Dichas ecozonas cuentan respectivamente con 4, 3 y 10 conjunto de unidades de medición o tamaños de parcela diferentes respectivamente. La relación inversamente proporcional entre la varianza de los datos y el tamaño de las parcelas –descrita en la sección 4.3.5.– definió el uso de una media ponderada en función de la varianza para estas tres unidades de estimación. En el caso de Costa, Sierra y Zona Hidromórfica fue la media aritmética el estimador seleccionado para el cálculo de las existencias de carbono, como se describe en la sección de metodología.

La tabla 8 muestra las existencias de carbono por ecoregión, comparando los resultados en los casos de Selva Alta Accesible, Selva Alta Difícil y Selva Baja calculados mediante una media aritmética y una media ponderada en función de la varianza. Es importante notar que los resultados obtenidos con la media aritmética son, para los tres casos, mas altos a los de la media ponderada.

TABLA 9
Cuadro comparativo de densidades de carbono según
estimador-expresado en biomasa

Ecozona	Media Aritmética (t /ha)	Media ponderada (t /ha)
Costa	17,09	-
Sierra ajustado	63,93	-
Selva Alta Accesible	186,08	172,53
Selva Alta de Difícil Acceso	234,59	200,11
Selva Baja	244,38	238,24
Zona Hidromórfica	118,26	-

Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

Los resultados en biomasa y carbono para el reservorio de biomasa arbórea arriba del suelo expresado en unidades de biomasa y carbono, junto con su intervalo de confianza y estimación de incertidumbres, se muestran en la tabla y figuras a continuación. Se debe tener en cuenta que el nivel de confianza empleado fue de 95%, tal como lo sugiere el IPCC.

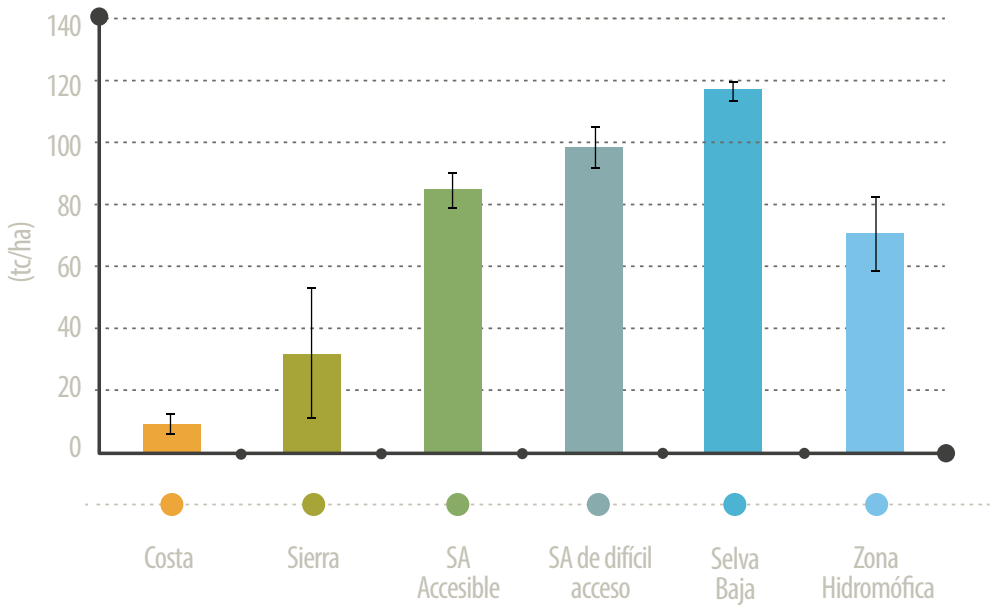
TABLA 10
Resultados de Biomasa Arbórea Arriba del Suelo por Ecozona

Ecozona	Estimado (t / ha)	Estimado (tC / ha)	Límite Inferior (tC/ha)	Límite Superior (tC/ha)	Incertidumbre (%)
Costa	17,09	8,37	5,28	11,47	36,93
Sierra	63,96	31,34	10,08	52,60	67,83
Selva Alta Accesible	172,53	84,54	78,84	90,24	6,74
Selva Alta de Díficil Acceso	200,11	98,06	91,70	104,41	6,48
Selva Baja	238,24	116,74	113,65	119,82	2,64
Zona Hidromórfica	143,39	70,26	57,95	82,58	17,53

Fuente: Proyecto REDD+ MINAM.

ILUSTRACIÓN 8

Distribución de la biomasa arbórea arriba del suelo por Ecozona expresado en unidades de carbono



FUENTE: Proyecto REDD+ MINAM.

6. DISCUSIÓN

Este primer ejercicio del cálculo de existencias de carbono para el reservorio de biomasa arbórea arriba del suelo con información nacional revela estimados adecuados para cuatro de las seis unidades de estimación definidas por el INF: Selva Alta Accesible, Selva Alta de Difícil Acceso, Selva Baja y Zona Hidromórfica. Los resultados tanto de Costa como de Sierra manejan incertidumbres altas, por encima del 30%, lo cual refleja que los datos recopilados en este estudio no son enteramente representativos del área de estudio y deberán ser complementados en el futuro con datos adicionales de campo basado en un muestreo más completo.

En principio, la poca existencia de datos en Costa y Sierra resulta explicable, pues ocurre en lugares donde la presencia de bosques es en menor proporción y donde no hay tantas iniciativas concretas de actividades REDD+ o programas de investigación sobre ecosistemas forestales que pudieran aportar datos de existencias de carbono. Si bien el INF ya inició en el año 2013 la medición de sus parcelas en la subpoblación de Costa, aún se ha abarcado solo el 20% de dicha subpoblación por la configuración de muestreo panelizada que maneja el INF. En efecto, la ecozona de Costa y la Zona Hidromórfica contaron principalmente y, en el segundo caso, exclusivamente, con datos del INF y dado que dicho inventario cuenta con un diseño panelizado y post-es-tratificado; la varianza debió ser calculada mediante la fórmula que plantea Bechtold W.A. *et al.* (2005) para un diseño panelizado. Sin embargo, con fines del presente estudio, se asume que la distribución de las parcelas sigue un diseño aleatorio simple (al igual que los demás estratos), por lo que se espera que la varianza pueda cambiar una vez que el INF cuente con información más completa para la Costa, la Zona Hidromórfica y las demás ecozonas.

De esta manera, es parte de la visión del Proyecto REDD+ y PNCBMCC que la información de existencias de carbono en el futuro, incluyendo reservorios adicionales como el de necromasa y posiblemente suelo, sea proporcionada en su totalidad por el INF multipropósito y posiblemente por otras iniciativas REDD+ o programas de investigación que sigan el mismo protocolo metodológico para el levantamiento de información en campo que el INF. Por este motivo se espera que la información se ajuste y mejore en el futuro.

Si bien los valores de incertidumbres para las Ecozonas Selva Alta Accesible, Selva Alta de Difícil Acceso, Selva Baja y Zona Hidromórfica reflejan ser relativamente bajos, es importante precisar que estos resultados demuestran la precisión de los datos mas no necesariamente la exactitud de éstos con respecto al terreno. Esto se debe a la

naturaleza misma del estudio, que ha recopilado información disponible en el país que no necesariamente ha sido muestreada bajo un diseño robusto. Es decir, los resultados obtenidos son altamente representativos para las zonas muestreadas; sin embargo, como la distribución de las parcelas lo demuestra, existen algunas zonas con menor densidad de aquellas. Para éstas áreas es importante anticipar que las incertidumbres calculadas pueden incrementarse. Sin embargo, no será posible corroborar dicho supuesto hasta que se genere información adicional y mas completa por parte del INF. En efecto, este trabajo progresivo se enmarca bajo la propuesta del enfoque escalonado o “Stepwise Approach” planteado por la CMNUCC según la cual cada país va mejorando sus mediciones con el desarrollo e incorporación de mejores datos, tecnologías y metodologías. Sin duda es preferible tener estos resultados, que son definitivamente mas cercanos a la realidad del país, que continuar reportando sobre la base de las existencias y los factores globales por defecto que figuran en las guías del IPCC.

Los resultados de contenido de carbono para las ecozonas de Selva Alta Accesible y la Zona Hidromórfica revelan un cierto traslape en sus intervalos de confianza, de lo cual se podría desprender que no hay diferencias significativas entre ambos estratos. Sin embargo, es de esperarse que a medida que se vaya incluyendo información sobre reservorios adicionales (como por ejemplo, el de carbono orgánico del suelo) y se incorporen diferentes fuentes de incertidumbres, las diferencias sean cada vez mas evidentes. Un estudio del IIAP (García, 2012) revela que el contenido de carbono orgánico del suelo en aguajales de zonas bajas inundables (estructura semejante al de la Zona Hidromórfica) es bastante alto (197,86 tC/ha) en los primeros 50 cm de profundidad que consideró el estudio con respecto a zonas mas altas donde se presenta mayor pérdida y erosión del suelo. De esta manera, se mantienen las seis ecozonas planteadas en esta primera propuesta tomando en consideración los planes del INF de incluir reservorios adicionales en futuros reportes.

Adicionalmente, mediante este primer diagnóstico de la información de carbono forestal disponible a nivel nacional se han identificado algunos vacíos adicionales que deberían ser priorizados en los próximos años para contar con información más completa, exacta y consistente. Hay poco trabajo realizado con respecto a la generación de ecuaciones alométricas representativas a las ecozonas seleccionadas, o incluso a nivel de individuos u ecosistemas forestales, que cuenten con un rango de aplicabilidad adecuado y con límites de confianza de estimación de los parámetros. Otras carencias son la falta de datos de densidad básica de la madera para muchas de las especies presentes en los bosques del Perú; la ausencia de datos sobre existencias de carbono en otros reservorios diferentes al de biomasa arbórea y la falta de datos de existencias de carbono en usos del suelo diferentes de bosque.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de existencias de carbono en el reservorio de biomasa aérea arbórea resuelven las necesidades de estimación para las áreas boscosas mas importantes en términos de actividades REDD+ del Perú. Además, representan un insumo significativo para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del país al contar con datos de existencias que se ajustan a la realidad nacional.

La metodología seguida para el cálculo de las existencias, sobre todo para las ecozonas de Selva Alta Accesible, Selva Alta de Dificil Acceso y Selva Baja, es lo suficientemente flexible como para representar estimaciones basadas en inventarios forestales y de carbono con diferentes diseños de muestreo que hayan sido reportadas como bosque, según el mapa disponible para los bosques húmedos amazónicos al año 2011. La presente propuesta representa una aproximación importante en la distribución de carbono para el reservorio de biomasa aérea arbórea a nivel nacional, construida a partir de la información disponible actualmente en el país. Estos resultados deberán seguir mejorando en el futuro en la medida que se cuente con registros más completos por parte del INF. De este modo se contará no solo con información más exacta sobre el reservorio de biomasa aérea arbórea sino también con existencias de carbono para reservorios adicionales.

Para la construcción de los estimadores de las tres ecozonas arriba indicadas se incluyeron datos contruidos por diferentes diseños de muestreo, los cuales fueron considerados como inventarios independientes y representativos de dichas ecozonas. Ciertamente, dado que los estimados no se encuentran basados en un inventario forestal nacional los resultados resultan más representativos para aquellas zonas en la que la densidad de muestreo se encuentra mejor distribuida. De allí la importancia de continuar generando información de carbono de forma coherente y comparable como parte del INF.

Adicionalmente, se recomienda priorizar estudios a nivel nacional sobre densidad básica de la madera y existencias de carbono en usos diferente de bosque, que hasta el momento no son cubiertos por el INF con la finalidad de alcanzar niveles metodológicos (TIER) mayores y mayor exhaustividad en las mediciones y reportes de emisiones y remociones de GEI. Del mismo modo, resulta oportuno evaluar e incorporar diferentes fuentes de error e incertidumbre en las estimaciones y reportes de existencias de carbono en el futuro.

GLOSARIO

Biomasa	Masa total de materia viva de un componente o reservorio que suele expresarse como peso seco.
Datos de Actividad	Datos relativos a la magnitud de una actividad humana que produce emisiones o absorciones y que tiene lugar durante un periodo dado. En el sector USCUS los datos de actividad se refieren a superficies de la cobertura forestal, pérdida, manejo forestal, entre otros.
Emisiones	Liberación de gases de efecto invernadero y/o de sus precursores en la atmósfera, en una zona y por un periodo determinado.
Exactitud	Acuerdo entre el valor real y el promedio de observaciones o estimaciones medidas reiteradas de una variable. Las estimaciones no son sobrestimadas ni subestimadas y las incertidumbres asociadas son reducidas en la medida de lo posible.
Factor de Emisión	Coefficiente que cuantifica las emisiones o absorciones de un gas por actividad unitaria. Los factores de emisión suelen basarse en una muestra de datos de medición, promediada para elaborar un índice representativo de emisión para un nivel de actividad dado, de acuerdo con un cierto conjunto de condiciones de funcionamiento.
Fuente	Todo proceso o actividad que libere a la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o precursor de un gas de efecto invernadero.
Incertidumbre	Falta de conocimiento del valor verdadero de una variable que puede describirse como una función de la densidad de probabilidad que caracteriza el rango y la probabilidad de los valores posibles.
Medición	Para REDD+ se traduce en mediciones de la superficie de bosques y de los cambios en la superficie de bosques (DA) y reservas de carbono en los bosques y cambios en las reservas de carbono en los bosques (FE).*
Precisión	Acuerdo entre mediciones reiteradas de la misma variable.
Reporte	Implica la disponibilidad y recopilación de los datos y estadísticas nacionales para informar según un formato de inventario de GEI o Reporte Bienal Actualizado (BURs, por sus siglas en inglés).*
Reservorio	Componente o componentes del sistema climático en el cual almacenan un gas de efecto invernadero o un precursor de un gas de efecto invernadero.
Secuestro/ Remoción	Proceso que consiste en almacenar carbono en un depósito.
Sumidero	Cualquier proceso, actividad o mecanismo que retira de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o un precursor de gases de efecto invernadero.

Verificación	Se refiere al proceso de verificación independiente para comprobar la precisión y confiabilidad de la información proporcionada o de los procedimientos utilizados para generar información sobre las reducciones de emisiones de GEI. **
--------------	---

* ONU-REDD, 2013.

** MINAM, 2011. Guía Práctica para Desarrolladores de Proyectos MDL.

Fuente: Directrices del IPCC del 2006 para Inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Glosario.



8. BIBLIOGRAFÍA

Asner, G.P., D.E. Knapp, R.E. Martin, R. Tupayachi, C.B. Anderson, J. Mascaro, F. Sinca, K.D. Chadwick, S. Sousan, M. Higgins, W. Farfan, M.R. Silman, W.A. Llactayo, A.F. Neyra.

2014 *The Carbon Geography of Perú*. Minuteman Press, Berkeley, CA. 64 pp.

Baccini, A., Goetz, S.J., Walker, W.S., Laporte, N.T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P.S.A., Dubayah, R., Friedl, M.A., Samanta, S. and Houghton R.A.
2012 Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved y carbon-density maps. *Nature Climate Change* 2, 182–185 doi:10.1038/nclimate1354

Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D.A., Patiño, S., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M. and Martínez, R.V.
2004 Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10: 545-562.

Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M.
2004 Wood density of trees in open savannas of the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 199: 115-123.

Bechtold, William A.; Patterson, Paul L.; [Editors]
2005 *The enhanced forest inventory and analysis program - national sampling design and estimation procedures*. Gen. Tech. Rep. SRS-80. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 85 p.

Cairns, M.A.; Brown, S.; Helmer, E.H.; Baumgardner, G.A.
1997 Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia* 111: 1-11.

C. Vargas Gonzáles, E. Rojas Baez, D. Castillo Soto, V. Espinoza Mendoza, A. Calderón-Urquiza Carbonel, R. Giudice Granados, N. Malaga Durán.
2014 *Protocolo de Clasificación de Pérdida de Cobertura en los Bosques Húmedos Amazónicos entre los años 2000-2011*. Ministerio del Ambiente y Ministerio de Agricultura y Riego Lima-Perú. En prensa.

Chave, J., C. Andalo, S. Brown, A. Cairns, J.Q. Chambers, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera Y T. Yamakura.

2005 Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99

Fearnside, P.M.

1997 Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 90: 59-87.

Freese, Frank

1967 Elementary statistical methods for foresters. *Agriculture Handbook* 317. United States Department of Agriculture. Forest Service. 91pp.

Freitas, Luis; Otárola, Erasmo; del Castillo, Dennis; Linares, Carlos; Martínez, Percy, Malca, Gustavo

2006 *Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria*. Loreto, Perú. Documento Técnico No. 29. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. 65pp.

García, D., Honorio, E., Del Castillo, D.

2012 *Determinación del stock de Carbono en Aguajales de la Cuenca del río Aguaytía*. Ucayali, Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Vol. 21 N°1-2 2012:153-160.

GOFC-GOLD

2013 *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and deforestation*. GOFC-GOLD Report version COP18-1, (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

2003 *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japón. 595pp.

Lara, Carlos E

2007 *Memorias: pasantía en plantaciones forestales de Tectona grandis Linn F. en Ecuador*. Trabajo de grado presentado para optar por el título de ingeniero forestal. Universidad nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ciencias Forestales. 76pp.

Lopez-Gonzalez, G., Lewis, S.L., Burkitt, M. and Phillips, O.L.

2009 ForestPlots.net. Database. www.forestplots.net.

Lopez-Gonzalez, G., Lewis, S.L., Burkitt, M. and Phillips, O.L.

2011 ForestPlots.net: a web and reasearch tool to manage and analyse tropical forest plot data. *Journal of Vegetation Science* 22:n 610-613. doi: 10.1111/j.1654-1103.2001.01312.x

Ministerio de Agricultura y Riego, Ministerio del Ambiente y FAO

2014 *Memoria descriptiva del mapa de Ecozonas*. Lima. MINAG. En prensa.

Ministerio del Ambiente

2010 *Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2010*.

Ministerio del Ambiente

2011 *Guía Práctica para Desarrolladores de Proyectos MDL*. Lima, 134pp.

Ministerio del Ambiente

2012 *Mapa de Cobertura Vegetal del Perú*. 76pp.

IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change)

2006 *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Volumen 1 (Orientación general y generación de informes)*. Eds S Eggleston; L Buendía; K Miwa; T Ngara y K Tanabe.

IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change)

2006 *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Volumen 4 (Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra)*. Editores S Eggleston; L Buendía; K Miwa; T Ngara; K Tanabe. IGES, Hayama, JP. 679p.

Josse, C., G. Navarro, F. Encarnación, A. Tovar, P. Comer, W. Ferreira, F. Rodríguez, J. Saito, J. Sanjurjo, J. Dyson, E. Rubin de Celis, R. Zárate, J. Chang, M. Ahuite, C. Vargas, F. Paredes, W. Castro, J. Maco, and F. Arreátegui.

2007 *Digital Ecological Systems Map of the Amazon Basin of Peru and Bolivia*. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.

ONU-REDD+

2013 *Sistemas Nacionales de Monitoreo de los Bosques: monitoreo y medicación, reporte y verificación (M y MRV) en el contexto de actividades REDD+*. 27pp.

Pearson, T; Brown, S; Ravindranath, N.

2005 *Integrating carbon benefit estimates into GEF projects*. United Nations Development Programme, Global Environment Facility. 64pp.

Phillips J.F., Duque A.J., Yepes A.P., Cabrera K.R., García M.C., Navarrete D.A., Álvarez E., Cárdenas D.

2011 *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales -IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 68 pp.

Proyecto “Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático en el Perú”

2014 Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal del Perú- Diseño de Muestreo. Documento elaborado conjuntamente entre el Ministerio de Agricultura y Riego y el Ministerio del Ambiente con la participación activa de los Gobiernos Regionales y el apoyo técnico de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Iniciativa Peruana del Sector Forestal del Programa de Cooperación del Servicio Forestal de Estados Unidos de América, Lima.

Putz, F.E.

1983 *Liana biomass and leaf area of a “Tierra Firme” forest in the Río Negro basin*. Venezuela. Biotropica 15(3): 185-189.

Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. and Lugo, A.E.

1992 *Wood densities of tropical tree species*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, New Orleans, LA.

Saatchi, S., Harris, N.L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E., Salas, W., Zutta, B., Buermann, W., Lewis, S., Hagen, S. Petrova, S., White, L., Silman, M. & Morel, A.

2011 Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. PNAS 108: 9899–9904.

Schreuder, Hans T.; Ernst, Richard; Ramirez-Maldonado, Hugo.

2004 *Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-126. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 111 pp.

Thomas, C. y Rennie J.

1987 Combining Inventory Data for Improved Estimates of Forest Resources. *Southern Journal of Applied Forestry* SJAF 11: 168-171pp.

Triola, Mario F.

2004 *Estadística. Pearson Educación*. Novena Edición. 872pp.

UNFCCC

2014 Guidelines and procedures for the technical assessment of submissions from Parties on proposed forest reference emission levels and/ or forest reference levels. FCCC/CP/2013/Add.1. Available at: <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf#page=34>

VCS

2012 Jurisdictional and Nested REDD+ (JNR) Requirements Version 3.0.

Westfall, J., Patterson P. y Coulston J.

2011 Post-stratified estimation: within-strata and total sample size recommendations. *Can. J. For. Res.* Vol. 41. 1130-1139pp.

Esta publicación se terminó de imprimir
en los talleres de Creacolor S.A.C.
RUC: 20563509261
Calle Mochicas 136 Independencia Lima - Perú.

La carátula fue impresa en papel Cyclus Print Matt de 300
grs. y los interiores en papel Cyclus Print Matt de 115 grs.
100% reciclados con la tipografía Century Gothic



La información generada en el presente documento constituye un instrumento que contribuye con la gestión y conservación de los bosques del Perú. Significa una evolución en el nivel de precisión y representatividad en el terreno sobre el reservorio de biomasa arriba del suelo a escala nacional; insumo indispensable para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, las actividades REDD+ y el nivel de referencia forestal y/o nivel de emisiones de referencia forestal para REDD+ en el Perú. Los resultados, si bien representan una primera aproximación al análisis de carbono a nivel nacional, se mejorarán una vez que los datos del Inventario Nacional Forestal se encuentren disponibles.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Ministerio del Ambiente

Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático

Av. Dos de Mayo 1545- 5to piso, San Isidro-Lima

(511) 611 6000 anexo 1669-1672

www.minam.gob.pe

www.bosques.gob.pe

