



APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN DE COLOMBIA PARA REDD+: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA



MinAmbiente
Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible





**APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES
Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN DE
COLOMBIA PARA REDD+: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES
DE EMISIÓN**

MEMORIA TÉCNICA

**Juan Fernando Phillips Bernal
Álvaro Javier Duque Montoya
Charles "Chip" Scott
Miguel Ángel Peña Hernández
Carol Andrea Franco Aguilera
Gustavo Galindo García
Edersson Cabrera Montenegro
Esteban Álvarez Dávila
Dairon Cárdenas López**



MinAmbiente
Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible





Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

A Roberto Franco y Daniel Matapi,
maestros y amigos



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN

Presidente de la República

GABRIEL VALLEJO LÓPEZ

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

PABLO VIEIRA SAMPER

Viceministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

OMAR FRANCO TORRES

Director General Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ

Subdirectora Ecosistemas e Información Ambiental (IDEAM)

EDITORES

Juan Fernando Phillips Bernal

Adriana Paola Barbosa Herrera

Edersson Cabrera Montenegro

Lina María Carreño Correa

Natalia Esperanza Córdoba Camacho

ARCHIVO FOTOGRÁFICO

Sebastián Ramírez Echeverry

DISEÑO

Juan Fernando Phillips Bernal

Diciembre de 2014, Colombia

CÍTESE COMO: Phillips, J.F., Duque, A.J., Scott, C., Peña, M.A., Franco, C.A., Galindo, G., Cabrera, E., Álvarez, E. & Cárdenas, D. 2014. Aportes técnicos del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono a la propuesta de preparación de Colombia para REDD+: datos de actividad y factores de emisión. Memoria técnica. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia. 45 pp.

CÍTESE DENTRO DE UN TEXTO COMO: Phillips et al. IDEAM 2014

2014, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total debe ser autorizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Este trabajo fue financiado por la Fundación Gordon y Betty Moore, proyecto "Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia", Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Patrimonio Natural, Fundación Gordon y Betty Moore.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS
AMBIENTALES
(IDEAM)

OMAR FRANCO TORRES
Director general

CLEMENTINA DEL PILAR GONZÁLEZ PULIDO
Secretaria general

CONSEJO DIRECTIVO

GABRIEL VALLEJO LÓPEZ
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

RAMÓN LEAL LEAL
Director ejecutivo
Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de
Desarrollo Sostenible

NATALIA ABELLO VIVES
Ministra de Transporte

PAULA MARCELA ARÍAS PULGARÍN
Directora general
Departamento Administrativo de Ciencia,
Tecnología e Innovación

SIMÓN GAVIRIA MUÑOZ
Director
Departamento Nacional de Planeación

MAURICIO PERFETTI DEL CORRAL
Director
Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DIRECTIVAS

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ
Subdirector de Hidrología

MAX ALBERTO TORO BUSTILLO
Subdirector de Estudios Ambientales (E)

MARÍA TERESA MARTÍNEZ GÓMEZ
Subdirectora de Meteorología

CHRISTIAN EUSCÁTEGUI COLLAZOS
Jefe de Oficina Servicio de Pronóstico y Alertas

LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA
Jefe de la Oficina de Informática

JAIRO CESAR FÚQUENE RAMOS
Jefe Oficina Asesora de Planeación

ADRIANA YASMÍN PORTILLO TRUJILLO
Jefe Oficina Asesoría Jurídica

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO
Jefe Oficina de Control Interno

JUAN JOSÉ POSADA URIBE
Coordinador Grupo Comunicaciones



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

AUTORES

Juan Fernando Phillips Bernal

Álvaro Javier Duque Montoya
Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

Charles "Chip" Scott
Servicio Forestal de los Estados Unidos

Miguel Ángel Peña Hernández

Carol Andrea Franco Aguilera

Gustavo Galindo García

Edersson Cabrera Montenegro

Esteban Álvarez Dávila
Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe

Dairon Cárdenas López
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI

COLABORADORES

Kenneth Roy Cabrera Torres
Edwin Iván Granados Vega
Sebastián Ramírez Echeverry
María Liseth Rodríguez Montenegro

COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN

Edersson Cabrera Montenegro
Coordinador general

Natalia Esperanza Córdoba Camacho
Asistente de coordinación

Juan Fernando Phillips Bernal
Líder temático componente Carbono

María Saralux Valbuena López
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

Adriana Paola Barbosa Herrera
Coordinadora Grupo de Bosques
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

Proyecto

"Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques
y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en Colombia"

Comité técnico

María Claudia García Dávila
Directora de Bosques, Biodiversidad y
Servicios Ecosistémicos
Ministerio de Ambiente y Desarrollo
Sostenible

Rodrigo Suárez Castaño
Director de Cambio Climático
Ministerio de Ambiente y Desarrollo
Sostenible

María Saralux Valbuena
López
Subdirectora Ecosistemas e Información
Ambiental
Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales

Max Alberto Toro Bustillo
Subdirector de Estudios Ambientales (E)
Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales

Paulina Arroyo
Oficial Programa Iniciativa Andes-Amazonas
Fundación Gordon y Betty Moore

Francisco Alberto Galán
Sarmiento
Director ejecutivo
Patrimonio Natural Fondo para la
Biodiversidad y Áreas Protegidas

Coordinación general

Edersson Cabrera Montenegro
Lina María Carreño Correa
Natalia Córdoba Camacho
Carlos Alberto Noguera Cruz

Equipo técnico Carbono

Juan Fernando Phillips Bernal
Miguel Ángel Peña Hernández

Equipo técnico Procesamiento Digital de Imágenes

Gustavo Galindo García
Oscar Javier Espejo Valero
Cristian Fabián Forero Castro
Carol Andrea Franco Aguilera
Paola Giraldo Rodríguez
Edwin Iván Granados Vega
Yoon Joo Lee
Santiago Palacios Noguera
Juan Pablo Ramírez
Juan Carlos Rubiano Rubiano
Cesar Augusto Valbuena Calderón
Lina Katherine Vergara Chaparro

Equipo técnico Componente Tecnológico

María Liseth Rodríguez Montenegro
Emilio José Barrios Cárdenas
Xavier Corredor Llano
Diego Steven Mejía Herrera
Nelly Nova Castro



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), agradece de manera especial a la Fundación Gordon y Betty Moore y a Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas, y a las siguientes entidades que contribuyeron al logro de esta publicación, por el apoyo e información:

INSTITUCIONES

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)
- Área Natural Única Los Estoraques
- Center for Tropical Forest Science (CTFS)
- Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Global (CARBONO & BOSQUES)
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ)
- Conservación Internacional - Colombia (CI - Colombia)
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACA)
- Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS)
- Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR)
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR)
- Corporación Autónoma Regional de la Guajira (CORPOGUAJIRA)
- Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (CORPORINOQUIA)
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE)
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS)
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO)
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER)
- Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS)
- Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE)
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA)
- Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE)
- Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC)
- Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA)
- Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR)
- Corporación Autónoma Regional del Guavio (CORPOGUAVIO)
- Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG)
- Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)
- Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA)
- Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB)
- Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA)
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)
- Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCO)
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB)
- Corporación para el Desarrollo Sostenible de La Mojana y El San Jorge (CORPOMONAJA)
- Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá (CORPOURABA)
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORLINA)



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de la Macarena (CORMACARENA)
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente Amazónico (CDA)
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONÍA)
- Dirección Territorial Amazonía (DTAM)
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS)
- Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF - Colombia)
- Fundación Puerto Rastrojo
- Fundación Tropenbos
- Herbario Amazónico Colombiano (COAH)
- Herbario Universidad de Antioquia (HUA)
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neuman (IIAP)
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR)
- ISAGEN S.A. E.S.P.
- Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe (JAU)
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC)
- Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN)
- Parque Nacional Natural Amacayacu
- Parque Nacional Natural Chingaza
- Parque Nacional Natural Farallones de Cali
- Proyecto Expedición Antioquia 2013, Sub-proyecto Diversidad, Dinámica y Productividad de los Bosques de Antioquia
- Santuario de Fauna y Flora Iguaque
- Santuario de Flora Orito Ingi Ande
- The Nature Conservancy (TNC - Colombia)
- Universidad de Los Andes - Departamento de Ciencias Biológicas
- Universidad del Tolima - Departamento de Ciencias Forestales
- Universidad Distrital - Pregrado en Ingeniería Forestal
- Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Ciencias Forestales
- Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales (ICN)

PERSONAS

- María Saralux Valbuena, IDEAM
- Adriana Paola Barbosa, IDEAM
- María Claudia García, MADS
- Joost F. Duivenvoorden PhD., Universiteit van Amsterdam
- Pablo Roberto Stevenson PhD., Universidad de Los Andes
- Patricio von Hildebrand, Fundación Puerto Rastrojo
- Helene Muller-Landau PhD., Smithsonian Tropical Research Institute
- María Cristina Peñuela PhD., Universidad Nacional de Colombia
- Juan Guillermo Saldarriaga PhD., Consultor
- Craig Wayson PhD., Programa SilvaCarbon

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y CONVENCIONES

≥:	Mayor o igual que
BA:	Biomasa aérea
DA:	Datos de actividad
°C:	Grados centígrados
ca.:	Alrededor, cerca de; del latín circa
CAR:	Corporación Autónoma Regional
cm:	Centímetro
CMNUCC:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CO ₂ :	Dióxido de Carbono
CO ₂ e:	Dióxido de Carbono equivalente
COP:	Conferencia de las Partes de la CMNUCC
ρ:	Densidad básica de la madera
D:	Diámetro normal medido a 1,30 cm del suelo
DEM:	Modelo de elevación digital
e.g.:	Por ejemplo; del latín exempli gratia
ECDBC:	Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono
ENOS:	Oscilación del sur "El Niño"
ENREDD+:	Estrategia Nacional para la Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación Forestal
et al.:	Y colaboradores; del latín et allí
ETM+:	Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus
exp:	Función exponencial
FE:	Factores de emisión
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
ha:	Hectárea
I.C.:	Intervalo de confianza
i.e.:	Esto es; del latín id est
IDEAM:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDW:	Interpolación inverso de la distancia
IFN:	Inventario Forestal Nacional
INGEI:	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC:	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
kg:	Kilogramo
ln:	Logaritmo neperiano
MADS:	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Mg:	Megagramo
mm:	Milímetro
MO:	Jardín Botánico de Missouri
MRV:	Monitoreo, Reporte y Verificación



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

m:	Metro
m.s.n.m.:	Metros sobre el nivel del mar
PDI:	Procesamiento digital de imágenes
Pg:	Petagramo
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
REL:	Niveles de Referencia de Emisiones
RL:	Niveles de Referencia de Bosques
R-PP:	Propuesta de Preparación para REDD+ de Colombia
SMBYC:	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
TM:	Landsat Thematic Mapper
USDA:	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
ZCIT:	Zona de confluencia intertropical



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PRESENTACIÓN	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
MÉTODOS	5
Área de estudio	5
Extensión del bosque y deforestación histórica	6
Estratificación del bosque	7
Compilación de los datos de campo	8
Preparación de los datos	8
Estimación de la biomasa aérea por tipo de bosque	9
Estimación de la biomasa total de los bosques	10
Emisiones netas de Dióxido de Carbono	11
RESULTADOS	11
Tipos de bosques y distribución de la biomasa aérea	11
Cambios en la cobertura boscosa	12
Reservas y emisiones netas	12
CONCLUSIONES	13
NOTAS Y REFERENCIAS	14



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

LISTADO DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estratificación de los bosques siguiendo la clasificación bioclimática propuesta por Holdridge et al. (1971), adaptada para Colombia por IDEAM (2005), en la cual la vegetación se estratifica utilizando como variable diagnóstica la evapotranspiración potencial, expresada en función del equilibrio entre la precipitación total y la temperatura media anual	28
Tabla 2. Estratificación de los bosques siguiendo la clasificación bioclimática de Caldas-Lang adaptada para Colombia por IDEAM (2005), en la cual la vegetación se estratifica en relación con la temperatura media anual y el cociente resultante de dividir la precipitación total anual por la temperatura media anual	29
Tabla 3. Estratificación de los bosques siguiendo la clasificación bioclimática propuesta por Martonne (1923), adaptada para Colombia por IDEAM (2005), en la cual la vegetación se estratifica empleando un índice de aridez que se calcula a partir de la precipitación total y temperatura media anual, la precipitación del mes más seco del año y la temperatura registrada en dicho mes	30
Tabla 4. Ecuaciones alométricas desarrolladas por Chave et al. (2005), Álvarez et al. (2012) y Chave et al. (2014), que fueron utilizadas para estimar la biomasa aérea para los bosques de Colombia	31



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

LISTADO DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución de las parcelas compiladas en el marco del proyecto "Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono, como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia" para estimar la biomasa aérea de los bosques del país	32
Figura 2. Distribución de la biomasa aérea empleando diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas	33
Figura 3. Extensión del bosque en Colombia y cambios acumulados ocurridos durante el periodo 1990-2013	34
Figura 4. Reservas para el año 2013, emisiones brutas y emisiones netas de CO ₂ e asociadas con el cambio en la extensión de las coberturas boscosas en Colombia durante el periodo 1990-2013, estimadas a partir de diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas	35



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

LISTADO DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de estratificación de Chave et al. (2005), estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas	36
Anexo 2. Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de estratificación de Holdridge, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas	37
Anexo 3. Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de estratificación de Caldas-Lang, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas	39
Anexo 4. Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de estratificación de Martonne, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas	41
Anexo 5. Biomasa aérea, reservas actuales, emisiones brutas y emisiones netas de CO ₂ e asociadas con el cambio en la extensión de las coberturas boscosas en Colombia durante el periodo 1990-2013, estimadas a partir de diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas	42



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

1

PRESENTACIÓN

2 Existe un creciente consenso que el aumento gradual de la temperatura global, además
3 de ser un fenómeno climático cíclico, es el resultado del incremento de la concentración
4 de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI) [1] en la atmósfera, debido en gran
5 parte a acciones antrópicas. A medida que pasan los años, crece el número de naciones,
6 entre ellas Colombia, que buscan implementar políticas encaminadas hacia la reducción
7 de emisiones de GEI, en especial, aquellas asociadas con el sector forestal [2]. Estas
8 iniciativas, en comparación con otras medidas de mitigación, parecen ser los mejores
9 mecanismos desde un punto de vista costo-efectivo para alcanzar dicho objetivo,
10 proporcionando de manera adicional, cobeneficios relacionados con el mantenimiento
11 de servicios ecosistémicos y la conservación de la biodiversidad [3].

12 En la decimoprimer Conferencia de las Partes (COP) [4], la Convención Marco de las
13 Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) reconoció la reducción de
14 emisiones de GEI relacionadas con la deforestación y degradación de bosques (REDD),
15 como un mecanismo válido para apoyar los esfuerzos de mitigación contra el
16 calentamiento global y el cambio climático. A partir de la COP 15 [5], el concepto de
17 REDD se amplió para incluir, además de la reducción de emisiones asociadas con estos
18 procesos, la conservación, el manejo sostenible de los bosques y el incremento de las
19 existencias forestales de Carbono (REDD+). La implementación de este mecanismo
20 contempla la creación de un sistema económico, todavía no definido, mediante el cual
21 las Partes (i.e. países) que no están incluidas en el Anexo I de la CMNUCC [6], podrán
22 recibir beneficios económicos por actuaciones verificables en donde se demuestre una
23 reducción de las emisiones y un incremento de los contenidos de Carbono en tierras de
24 vocación forestal. De esta manera, se busca premiar a las personas, comunidades y
25 naciones, dependiendo de los niveles de implementación y de los escenarios de
26 anidamiento, que reduzcan las emisiones de GEI, en especial de Dióxido de Carbono
27 (CO₂), asociadas con la deforestación y degradación de los bosques e incentiven, a la
28 vez, la implementación de medidas que permitan el incremento de las reservas de
29 Carbono forestal. Es por esto que se considera que REDD+ tiene el potencial de reducir
30 significativamente las emisiones a un bajo costo, dentro de un lapso corto de tiempo y, al
31 mismo tiempo, contribuir a la reducción de la pobreza y al desarrollo sostenible [7].

32 Dentro de este contexto, la CMNUCC solicita a las Partes que deseen implementar REDD+,
33 la generación de los llamados Niveles de Referencia de Emisiones (REL) y/o de Bosques
34 (RL), que sirven como puntos de referencia para evaluar los logros alcanzados con REDD+
35 [8]. Aunque la diferencia entre REL y RL no siempre es clara [9], el REL se aplica, en
36 general, a las actividades que conducen a la generación de emisiones, es decir, la
37 deforestación y la degradación de tierras forestales (bajo REDD), mientras los RL incluyen
38 estos procesos, así como las actividades plus (e.g. conservación y aumento de reservas,
39 gestión sostenible), que pueden dar lugar a remociones de Carbono adicionales [10]. La
40 CMNUCC planteó que su construcción puede realizarse empleando un enfoque por pasos
41 (step-wise approach, en inglés), en donde los REL/RL propuestos de manera inicial pueden



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 ser modificados (o ajustados) a medida que se incorporen datos con menor
2 incertidumbre, se cuente con información más detallada o se incluyan otros
3 compartimientos adicionales, entre otros [11]. No obstante, es claro que en todos los casos
4 se debe contar con una estimación precisa de las emisiones y remociones de CO₂ (i.e.
5 factores de emisión, FE) asociadas con la deforestación, la regeneración y la
6 degradación de la cubierta forestal (i.e. datos de actividad, DA) [7].
- 7 En el marco de la elaboración de la Propuesta de Preparación para REDD+ (R-PP) de
8 Colombia [12], el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) identificó una serie
9 de necesidades, vacíos y preguntas que condicionan la implementación del mecanismo.
10 En relación con la creación de los REL/RL, algunos de los retos identificados se asocian, de
11 manera particular, con la generación de FE específicos para el país, la definición,
12 validación e implementación de un protocolo de teledetección que permita monitorear
13 los cambios en la extensión del bosque en el tiempo, la caracterización de los motores y
14 agentes de deforestación y degradación, entre otros. En este sentido, el proyecto
15 "Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como
16 soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia" busca contribuir al R-PP
17 generando un conjunto de FE y DA necesarios para estimar las reservas de Carbono y las
18 emisiones de CO₂, a partir de la identificación de un método de análisis que reduzca la
19 incertidumbre que rodea este tipo de ejercicios y que tenga en cuenta las características
20 de la información disponible para realizarla. A su vez, busca sentar las bases técnicas y
21 científicas que permitan fortalecer la capacidad institucional del país para apoyar
22 proyectos REDD+, que sean auditables por organismos internacionales, útiles en las
23 negociaciones que se deriven en los acuerdos internacionales (e.g. post Kioto) y que sigan
24 las recomendaciones realizadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático
25 (IPCC).
- 26 El trabajo "Aportes técnicos del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono a la
27 propuesta de preparación para REDD+ de Colombia: datos de actividad y factores de
28 emisión", incorpora las recomendaciones de la Orientación de las Buenas Prácticas del
29 IPCC [13, 14] y del Sourcebook de REDD [15], y fue elaborado a partir de análisis
30 estadísticos empleando información suministrada por instituciones gubernamentales y no
31 gubernamentales, e investigadores nacionales e internacionales. El ejercicio plantea la
32 necesidad de generar una metodología estandarizada que permita obtener estimaciones
33 comparables con otros estudios, nacionales e internacionales, que sirvan de referencia
34 para avanzar en la construcción del R-PP. Asimismo la información que se genere será de
35 especial utilidad en la implementación del mecanismo REDD+ en Colombia, la Estrategia
36 Nacional para la Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación
37 Forestal (ENREDD+), la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) y el
38 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI).
- 39 De esta manera se espera que el trabajo: (i) ayude a reducir la incertidumbre técnica y
40 científica que rodea las estimaciones de Carbono, al proponer métodos estandarizados
41 para su estimación a escala nacional, (ii) suministre las bases técnicas y científicas que
42 puedan ser replicables en varios proyectos auditables por organismos internacionales, y

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 (iii) permita obtener estimaciones nacionales con niveles más detallados, conforme con lo
2 establecido por el IPCC en su Orientación de las Buenas Prácticas.

3 INTRODUCCIÓN

4 El incremento de la temperatura global se ha atribuido al aumento de las emisiones de
5 GEI, en especial de CO₂ [3, 16, 17]. Los bosques tropicales ofrecen grandes oportunidades
6 de mitigación, ya que al actuar como sumideros pueden disminuir la concentración de
7 GEI en la atmósfera [18-22]. La deforestación y la degradación en el trópico contribuyen
8 con una tercera parte de las emisiones globales de GEI [23-26], representando la segunda
9 fuente más importante de GEI después de la combustión de combustibles fósiles [27]. Por
10 tanto, la implementación de mecanismos que propendan por la conservación, aumento y
11 gestión sostenible de las reservas de Carbono almacenadas en ellos (e.g. REDD, REDD+),
12 se considera como una opción costo-efectiva para mitigar el calentamiento global y el
13 cambio climático [3, 28-31].

14 La implementación de estas medidas de mitigación hace necesario cuantificar la
15 distribución del Carbono almacenado en los bosques y conocer su variación en el
16 espacio y a lo largo del tiempo [3, 32]. Sin embargo, la información disponible para
17 hacerlo aún es limitada [14, 33-37]. Esto, sumado a la necesidad de contar con métodos
18 fiables y prácticos que permitan su Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), se ha
19 convertido en uno de los puntos críticos para la implementación de estrategias de
20 reducción de GEI en países en vías de desarrollo [38, 39]. Es por esto que una mejor
21 comprensión de dichos cambios y las variables subyacentes que los determinan, es vital
22 con el fin de generar estimaciones fiables en el contexto de iniciativas de secuestro de
23 Carbono y mitigación del cambio climático [40, 41].

24 En los bosques, el Carbono se encuentra almacenado en la biomasa (aérea y
25 subterránea), la necromasa, la hojarasca y en el suelo [3, 15]. En proyectos REDD+ es
26 imperativo contar con una estimación de las reservas contenidas en la biomasa aérea
27 (BA) [3], aunque es recomendable realizar la estimación en los cuatro compartimientos
28 restantes, si se cuenta con los recursos económicos, técnicos y logísticos para ello [15, 38,
29 42, 43]. La BA puede cuantificarse en campo por medio de la cosecha directa de
30 especímenes; éste método genera cálculos con baja incertidumbre, pero acarrea una
31 alta demanda logística y grandes inversiones económicas. También puede ser estimada a
32 partir de modelos alométricos que utilicen variables dendrométricas (e.g. diámetro, altura)
33 medidas en campo [3]. No obstante estos dos métodos presentan limitaciones con el fin
34 de generar información en áreas geográficas extensas y remotas. Por este motivo, se
35 recomienda mapear su distribución integrando datos obtenidos en campo e información
36 derivada de sensores remotos [15, 44-46].

37 Los mapas generados pueden ser utilizados para monitorear y evaluar los cambios de las
38 reservas de Carbono debidas a la deforestación y degradación de los bosques, así como
39 los efectos de las actividades plus [47-49]. Es por esto que su utilidad ha sido ampliamente
40 reconocida en el ámbito académico [24, 50-55] y por órganos internacionales

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 relacionados con el cambio climático (e.g. CMNUCC, IPCC). Sin embargo, esta
2 aproximación aún genera controversias, debido a la falta de datos confiables que
3 permitan calibrar y verificar los resultados obtenidos y a las discrepancias que surgen al
4 comparar los datos generados en campo con las predicciones que arrojan los modelos
5 desarrollados a partir de información satelital [56-58]. De ahí que sea necesario realizar
6 mejoras sustanciales a las metodologías existentes antes de utilizarlas de forma rutinaria a
7 escala regional, nacional o continental [59, 60]. Esta tarea es compleja si se tiene en
8 cuenta que la distribución de la BA no es homogénea en el espacio, en particular en los
9 bosques tropicales [61-63].

10 En este sentido, se ha propuesto utilizar métodos convencionales para estimar las reservas
11 de Carbono almacenadas en este compartimiento [64], empleando datos provenientes
12 de Inventarios Forestales Nacionales (IFN). No obstante, en países que no han
13 implementado este tipo de iniciativas (e.g. Colombia), se hace necesario integrar
14 información derivada de inventarios forestales, caracterizaciones vegetales o estudios
15 florísticos que abarquen una amplia gama de condiciones (e.g. paisajes, tipos de bosque,
16 etc.) [65]. Sin importar la procedencia de los datos, dichos métodos plantean la
17 necesidad de estimar la BA de los individuos (i.e. árboles) utilizando ecuaciones
18 alométricas, escalar los resultados a nivel de la unidad de análisis (i.e. parcela) y, de
19 manera posterior, utilizar esta información para estimarla BA del estrato o tipo de bosque
20 en el cual se realizó el muestreo [13, 14]. Por tanto, se requiere en primera instancia, elegir
21 un conjunto de ecuaciones alométricas, entre el amplio espectro disponible para el
22 pantrópico [66], que permita estimar la BA de manera precisa para el área de estudio.
23 Una vez se defina lo anterior, es necesario estratificar los bosques siguiendo una
24 clasificación (i.e. leyenda) que genere estimados confiables, minimice la incertidumbre y
25 faculte escalar las existencias de Carbono estimadas para un conjunto de parcelas
26 determinado, al tipo de bosque en donde estaban ubicadas [13, 14]. A grandes rasgos, la
27 estratificación se refiere a la división de cualquier paisaje heterogéneo en distintos estratos
28 con base en algún factor de agrupación común [15]. Para el caso particular de las
29 iniciativas REDD+, se recomienda emplear estratificaciones que utilicen variables
30 diagnósticas (e.g. régimen de precipitación, temperatura, tipo de suelo, topografía, etc.)
31 que se relacionen con las existencias de Carbono y sus variaciones en escalas locales y
32 regionales [15, 18, 67-72]. Sin embargo, la comprensión del papel que juegan estas
33 variables a nivel nacional aún es insipiente, especialmente en países como Colombia, en
34 donde existe una gran variedad de condiciones (e.g. climáticas, edáficas, etc.) y de tipos
35 de vegetación [73-79]. Esta situación es un inconveniente serio para la implementación de
36 REDD+, puesto que la CMNUCC exige a las Partes la construcción de REL/RL en dicha
37 escala de trabajo [8]. Además de los retos antes mencionados, el caso particular de
38 Colombia plantea un desafío adicional, dado que los datos disponibles para conducir la
39 estimación no provienen de estudios realizados bajo un protocolo estandarizado de
40 muestreo (e.g. las parcelas varían en tamaño). En este sentido, es crucial definir cómo
41 integrarlos de manera apropiada, identificando un método de análisis que considere las
42 particularidades de la información empleada y reduzca la incertidumbre asociada con la
43 estimación.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 En este contexto, el presente trabajo tiene como propósito generar un conjunto de FE y
2 DA necesarios para estimar las reservas de Carbono para el año 2013 y las emisiones netas
3 de CO₂ ocurridas durante el periodo 1990-2013, examinando el efecto que tiene el
4 método de integración de los datos, las ecuaciones alométricas y la estratificación
5 ambiental o definición de los tipos de bosque, sobre la estimación de la BA para los
6 bosques del país. Con esto el SMBYC busca proveer información que permita avanzar en
7 la comprensión de su funcionamiento, brindando a su vez información al R-PP, ENREDD+,
8 ECDBC y el INGEI de Colombia.

OBJETIVOS

Objetivo general

11 Generar un conjunto de FE y DA que sirvan de referencia para avanzar en la construcción
12 del R-PP y en la implementación del mecanismo REDD+ en Colombia, las estrategias
13 ENREDD+ y ECDBC, y el INGEI, empleando herramientas técnicas, metodológicas y
14 estándares que puedan ser replicables en un futuro en el marco de proyectos REDD y que
15 sirvan de referencia para avanzar en la construcción del R-PP.

Objetivos específicos

- 17 i) Desarrollar un método analítico que tenga en cuenta las características de la
18 información disponible para realizar la estimación de las reservas de Carbono
19 almacenadas en la BA y las emisiones netas de CO₂ en Colombia.
- 20 ii) Identificar un método analítico que permita integrar información generada bajo
21 diferentes protocolos de muestreo, que considere las particularidades de la
22 información y reduzca la incertidumbre asociada con la estimación.
- 23 iii) Definir la leyenda de estratificación que se empleará para realizar la estimación de las
24 reservas de Carbono a escala nacional, de manera que permita obtener resultados
25 confiables y con una baja incertidumbre asociada.
- 26 iv) Seleccionar los modelos alométricos que permitan estimar la BA de manera apropiada
27 y que responda al tipo de información que se dispone para estimar las reservas de
28 Carbono almacenadas en los bosques del país.
- 29 v) Estimar las reservas de Carbono almacenadas en la BA en los bosques de Colombia en
30 el año 2013 y las emisiones netas de CO₂ durante ocurridas durante el periodo 1990-
31 2013.

MÉTODOS

Área de estudio

34 Colombia se encuentra ubicada en la esquina noroeste de Suramérica, entre las latitudes
35 12° norte y 4° sur y entre los 67° y 79° de longitud oeste, con costas sobre el mar Caribe y el
36 océano Pacífico. El país tiene una superficie total soberana de 207.040.800 ha, de las

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 cuales 55% corresponde a su porción continental y 45% a sus dominios marítimos [80].
2 Comparte fronteras con Panamá, Venezuela, Brasil, Perú y Ecuador, y límites marítimos con
3 Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Jamaica, República Dominicana y Haití. Los bosques se
4 extienden sobre 52% de su territorio continental y representan aproximadamente 6% de las
5 coberturas boscosas de Suramérica [81]. Los paisajes dominantes en el país son colinas
6 (35%), montañas (26%), los valles y llanuras (20%); el restante 19% está representado por
7 piedemontes, mesetas y superficies aplanamiento [82]. Las condiciones climáticas son
8 diversas. De acuerdo con IDEAM [83], 91% de Colombia presenta un clima cálido (> 24°C),
9 5% un clima templado (18-24°C) y 2% clima frío (12-18°C). El restante 4%, tiene un clima
10 muy frío (6-12°C), extremadamente frío (1,5-6°C) o se encuentra bajo condiciones
11 glaciales (<1,5°C). La distribución de la precipitación no es homogénea y fluctúa gracias a
12 la topografía accidentada del país u otros meso y macro-factores (e.g. ZCIT, dipolos,
13 ENOS, etc.). No obstante, se observa que, en general, tanto la parte norte del país como
14 en los Andes el régimen de precipitación es bimodal, mientras que al este de los Andes el
15 régimen es monomodal y al oeste no existe una estacionalidad marcada, con ligeras
16 diferencias entre la precipitación a nivel mensual [83].

17 **Extensión del bosque y deforestación histórica**

18 En las últimas cinco décadas, y especialmente desde el lanzamiento del primer satélite del
19 programa Landsat, se han desarrollado múltiples opciones de productos de sensores
20 remotos aplicados en general a la observación de la Tierra y en particular al monitoreo de
21 las áreas boscosas [84-96]. Asimismo, los avances informáticos han conducido a la
22 generación de nuevas herramientas tecnológicas (software y hardware), conllevado a
23 una amplia diseminación en el uso de imágenes de sensores remotos para dicho
24 propósito, especialmente a nivel nacional. En este contexto, el SMBYC del IDEAM
25 desarrolló un protocolo para la generación información sobre la distribución, extensión y
26 cambios en la cobertura boscosa en Colombia [97], a partir del procesamiento digital de
27 imágenes (PDI) Landsat (TM y ETM+), con una resolución espacial de 30 m, conforme a
28 una escala espacial 1:100.000, empleando procesos altamente automatizados y técnicas
29 tradicionales de PDI. El protocolo incluye, en términos generales, la selección, adquisición
30 y descarga de las imágenes [98], su corrección geométrica, radiométrica y atmosférica,
31 su almacenamiento e integración para generar, de manera posterior, un compuesto (i.e.
32 mosaico) nacional lo más libre de nubes posible para el año de referencia. A partir de la
33 aplicación de dicho protocolo se obtuvo el mapa de cobertura boscosa para el año 2013
34 y los mapas de cambios de esta cobertura en el territorio continental del país para los
35 periodos 1990-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2012 y 2012-2013. La tasa de deforestación
36 (R) se calculó utilizando la siguiente expresión reportada en Puyravaud [99]:

$$37 \quad R = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1} \quad (\text{Eq.1})$$

38 En donde, t_1 y t_2 representan el año inicial y final del periodo de referencia, A_1 y A_2 el área
39 de bosque inicial y final (expresada en ha), respectivamente.

40

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 Estratificación del bosque

2 A la fecha, una de las leyendas de estratificación más utilizadas para estimar la BA en
3 bosques tropicales emplea la precipitación como única variable diagnóstica. Ésta
4 leyenda, propuesta por Chave et al. [36], se basa en el número de meses secos por año,
5 siendo un mes seco en el cual la evapotranspiración total excede la precipitación.
6 Siguiendo esta clasificación los principales tipos de bosques definidos son: i) seco (S):
7 bosques que experimentan cinco o más meses al año con déficit hídrico; en el trópico,
8 por lo general, lo anterior ocurre en lugares donde la precipitación anual total es inferior a
9 1.500 mm; ii) húmedos (H): representados por bosques estacionales que tienen un déficit
10 de agua entre uno y cuatro meses consecutivos al año; por lo general esta condición se
11 produce en lugares donde la precipitación anual total varía entre 1.500 mm y 3.500 mm; y
12 iii) pluviales (P): bosques no estacionales que tienen un déficit máximo de un mes al año;
13 por lo general se produce en lugares en donde la precipitación total anual excede 3.500
14 mm. No obstante, un considerable número de trabajos [100-107] han examinado la
15 distribución de la BA y su relación con parámetros meteorológicos que covarían con la
16 altitud (e.g. temperatura, radiación solar, presión atmosférica, radiación UV-B) y otros
17 factores climáticos (e.g. humedad, precipitación, estacionalidad) que responden a
18 variaciones regionales o locales (e.g. orografía, vientos) [108-110]. Éstos proponen que la
19 reducción de la temperatura del aire, sumado a alteraciones en la disponibilidad de
20 nutrientes y la composición química del suelo, puede afectar las tasas de crecimiento de
21 los árboles y la estructura de la vegetación [110, 111], conduciendo a una disminución en
22 la BA. Es por esto que se espera que la inclusión de dichas variables diagnósticas, en
23 conjunto con la precipitación, permita estimar de manera más apropiada la BA y las
24 reservas de Carbono almacenadas en los bosques. Teniendo en cuenta lo anterior, en el
25 presente estudio se consideraron tres leyendas adicionales para estratificar los bosques de
26 Colombia. La primera sigue la clasificación bioclimática de Holdridge et al. [112], en la
27 cual la vegetación se estratifica utilizando como variable diagnóstica la
28 evapotranspiración potencial, expresada en función del equilibrio entre la precipitación y
29 la temperatura anual (Tabla 1). En la segunda, de acuerdo con lo planteado en la
30 clasificación de Caldas-Lang [113, 114], la vegetación se estratifica en relación con la
31 temperatura media anual y el cociente (i.e. factor Lang) resultante de dividir la
32 precipitación total anual por la temperatura media anual (Tabla 2). La última, propuesta
33 por Emmanuel de Martonne [115], se conduce empleando un índice de aridez [116] que
34 se calcula a partir de la precipitación total y temperatura media anual, la precipitación
35 del mes más seco del año y la temperatura registrada en dicho mes (Tabla 3). Las últimas
36 tres leyendas, adaptadas para Colombia por IDEAM [83], se seleccionaron dado que son
37 ampliamente utilizadas en estudios florísticos, silviculturales y en evaluaciones ambientales
38 a nivel nacional e internacional. Los mapas de estratificación se generaron a partir de los
39 promedios climatológicos de la normal climatológica 1981-2010 reportada por IDEAM
40 [117] y el modelo de elevación digital (DEM) de 30 m de la NASA (misión SRTM). En la
41 construcción de las salidas cartográficas para la temperatura media mensual y anual se
42 siguió a Díaz-Almanza [118], mientras que la precipitación mensual y anual para se utilizó

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 una interpolación utilizando método del inverso de la distancia (IDW) siguiendo a IDEAM
2 [83].

3 **Compilación de los datos de campo**

4 Los datos empleados para estimar las reservas de Carbono almacenadas en la BA,
5 provinieron del establecimiento de 4.981 parcelas en bosques de Colombia entre 1990 y
6 2014 (Figura 1). El tamaño de las parcela varió entre 0,02 ha y 1,50 ha. El área total
7 muestreada fue ca. 1.190 ha. Aunque la información utilizada en el presente estudio se
8 generó utilizando diferentes protocolos de muestreo, corresponde al conjunto más grande
9 y representativo disponible en la actualidad para estimar la BA de los bosques del país. Los
10 datos fueron compilados en el repositorio del SMBYC del IDEAM, en donde se
11 almacenaron en tablas separadas los atributos propios de las parcelas y los individuos. Se
12 utilizó la aplicación en línea i Plant Collaborative [119] para realizar la estandarización de
13 la nomenclatura taxonómica [120]. Dicha herramienta permite la verificación simultánea
14 de hasta 5.000 nombres científicos, bajo el sistema de clasificación APG III (APG 2009),
15 utilizando datos de referencia provenientes del Jardín Botánico de Missouri (MO), del
16 Global Compositae Checklist y del catálogo de plantas del Departamento de Agricultura
17 de los Estados Unidos (USDA). El repositorio incluye 583.612 registros de individuos con
18 diámetro normal (D) mayor o igual a 10 cm, 4.065 especies, 990 géneros y 183 familias de
19 plantas. A cada registro se le asignó la densidad básica de la madera (ρ) de la especie a
20 la que pertenece, a partir de datos disponibles en la literatura científica [121, 122]. En los
21 casos en los cuales no fue posible aplicar el procedimiento anterior, se utilizó la ρ del
22 género o familia. A los individuos sin identificación botánica se les asignó el promedio de
23 la ρ de todas las especies registradas en la parcela.

24 **Preparación de los datos**

25 Se estimó la BA de cada árbol (expresada en kg) utilizando tres conjuntos de ecuaciones
26 alométricas (Tabla 4) en donde la BA se expresa en función del D y la ρ [123]. Éstos fueron
27 desarrollados por Chave et al. [36] (en adelante Chave I), Álvarez et al. [124] (en adelante
28 Álvarez) y Chave et al. [125] (en adelante Chave II). Los modelos Chave I fueron
29 construidos a partir de datos de 2.410 árboles ($D \geq 5$ cm) cosechados en bosques
30 tropicales alrededor del mundo (no incluye datos provenientes de Colombia), mientras
31 que los de Álvarez se generaron con información de 631 árboles ($D \geq 10$ cm) cosechados
32 en Colombia. Éstos últimos permiten estimar de manera más exacta la BA en bosques del
33 país, que cuando se emplean los modelos pantropicales comúnmente utilizados en este
34 tipo de estudios [124]. El modelo Chave II emplea datos de 4.004 árboles ($D \geq 5$ cm)
35 cosechados en 58 sitios de estudio (África, el sudeste de Asia, Australia y América Latina,
36 entre ellos Colombia) e incluye un parámetro relacionado con el estrés climático (E), que
37 varía en función de la temperatura, el déficit hídrico y la estacionalidad de precipitación.
38 Las ecuaciones se asignaron en función del tipo de bosque (i.e. estrato) en el cual está
39 ubicada la parcela; lo anterior se realizó por medio de una interpolación con los mapas
40 de estratificación generados en el presente estudio. Cuando no se contó con un modelo
41 alométrico específico para un tipo de bosque dado, la asignación se llevó a cabo de

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

1 acuerdo con lo propuesto por Yepes et al. [126]. La BA de cada parcela se obtuvo de la
2 sumatoria de la BA de los individuos registrados en ella, excluyendo palmas, lianas y
3 helechos (i.e. hábitos no-arbóreos). El valor se escaló a megagramos por hectárea
4 (Mg/ha). Al excluir de la estimación los individuos no-arbóreos, se encontró que la BA de
5 180 parcelas (correspondientes a ca. 27 ha muestreadas) disminuyó significativamente (\geq
6 20%). Se analizó la distribución diamétrica de los individuos registrados en cada parcela y
7 se halló que de ellas, 167 (ca. 14 ha) presentan distribuciones anómalas al compararlas
8 con otras ubicadas en el mismo tipo de bosque. En estos lugares, por lo general, no se
9 registraron individuos en categorías inferiores (i.e. 10-30 cm), mientras que en otros están
10 ausentes en clases intermedias (i.e. 30-60 cm). Es posible que el aprovechamiento
11 prolongado del bosque conduzca a la aparición de este tipo de distribuciones truncadas
12 o discontinuas [127-131]. No obstante, es posible que también puedan deberse a errores
13 en la toma de datos. Por último, se encontró que en 398 parcelas (ca. 67 ha) la diferencia
14 absoluta entre la altitud reportada y la interpolada era mayor o igual a 100 m.s.n.m. Por
15 principio de precaución, se excluyó la información proveniente de estas 687 parcelas en
16 la estimación de la BA para los bosques en los cuales estaban ubicadas. Por tanto, los
17 análisis se realizaron con datos generados a partir del establecimiento de un total de 4.294
18 parcelas, que representan 1.089 ha muestreadas.

19 Estimación de la biomasa aérea por tipo de bosque

20 Las variaciones en el tamaño de la parcela y el tamaño de la muestra pueden conducir a
21 diferentes niveles de incertidumbre en la estimación de la biomasa [132, 133]. Por tanto,
22 en el presente estudio la BA para cada tipo de bosque se estimó empleando tres
23 aproximaciones diferentes. En la primera, la BA se estimó como la media aritmética de las
24 parcelas establecidas en el tipo de bosque h . En la segunda, se empleó un ponderador
25 por el inverso de la varianza [134], en donde la BA para el bosque h (\bar{y}_h) se calculó de la
26 siguiente manera:

$$27 \quad \bar{y}_h = \frac{\sum w_i \bar{y}_i}{w_h} \quad (\text{Eq.2})$$

28 En donde, $w_i = 1/\text{var}(\bar{y}_i)$, $\text{var}(\bar{y}_i) = \frac{(\sum y_{ij}^2) - n_i \bar{y}_i^2}{n_i(n_i - 1)}$, y $w_h = \sum w_i$. La varianza asociada a \bar{y}_h se
29 obtuvo así:

$$30 \quad \text{var}(\bar{y}_h) = \frac{1}{w_h} \left[1 + \frac{4}{w_h^2} \sum \frac{1}{n_i} (w_i \{w_h - w_i\}) \right] \quad (\text{Eq.3})$$

31 En donde, n_i es el número de parcelas de tamaño i establecidas en el bosque h . En todos
32 los casos se requirió un mínimo de tres parcelas de tamaño i y diez parcelas por tipo de
33 bosque para calcular la varianza [135]. El intervalo de confianza ($IC_{\bar{y}_h}$) de la media
34 ponderada se calculó como sigue:

$$35 \quad IC_{\bar{y}_h} = \bar{y}_h \pm \sqrt{\text{var}(\bar{y}_h)} t_{0,05,n_h-1} \quad (\text{Eq.4})$$

36 En donde, n_h es el número de parcelas establecido en el bosque h . El error de muestreo
37 (SE_h) se obtuvo de la siguiente manera:

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

$$1 \quad SE_h = 100 \frac{\sqrt{\text{var}(\bar{y}_h)}}{\bar{y}_h} \quad (\text{Eq.5})$$

2 Se empleó esta ponderación dentro de cada tipo de bosque h , para penalizar los valores
3 promedios asociados a un tamaño de parcela determinado que mostraran una alta
4 incertidumbre independiente del tamaño de la muestra.

5 En la tercera, se empleó un estimador de razón (sampled area ratio, en inglés) [136] en el
6 cual el peso asignado a \bar{y}_f depende directamente del área muestreada con el tamaño
7 de parcela i en relación con el área total de la muestra en el bosque h , penalizando de
8 esta manera los valores promedios resultantes de bajas intensidades de muestreo. En esta
9 aproximación \bar{y}_h se calculó así:

$$10 \quad \bar{y}_h = \sum \frac{a_i \bar{y}_i}{a_h} \quad (\text{Eq.6})$$

11 En donde a_i es el área (expresada en ha) muestreada con las parcelas de tamaño i , y a_h
12 es el área total muestreada en el bosque h . La varianza asociada al promedio ponderado
13 se obtuvo así:

$$14 \quad \text{var}(\bar{y}_h) = \sum \left(\frac{a_i}{a_h} \right)^2 \text{var}(\bar{y}_i) \quad (\text{Eq.7})$$

15 $IC_{\bar{y}_h}$ y SE_h se calcularon empleando las ecuaciones Eq.4 y Eq.5, respectivamente.

16 Estimación de la biomasa total de los bosques

17 La BA promedio para los bosques de Colombia se estimó de la siguiente manera:

$$18 \quad \bar{y}_f = \sum \frac{A_h \bar{y}_h}{A_f} \quad (\text{Eq.8})$$

19 En donde A_h es el área que ocupa el bosque h en el país (expresada en ha), y A_f es la
20 extensión total del bosque para el año 2013. La varianza asociada a \bar{y}_f , el intervalo de
21 confianza y el error de muestreo se calcularon así:

$$22 \quad \text{var}(\bar{y}_f) = \sum \left(\frac{A_h}{A_f} \right)^2 \text{var}(\bar{y}_h) \quad (\text{Eq.9})$$

$$23 \quad IC_{\bar{y}_f} = \bar{y}_f \pm \sqrt{\frac{\text{var}(\bar{y}_f)}{(h-1)}} t_{0,05,h-2} \quad (\text{Eq.10})$$

$$24 \quad SE_f = 100 \frac{\sqrt{\frac{\text{var}(\bar{y}_f)}{(h-1)}}}{\bar{y}_h} \quad (\text{Eq.11})$$

25 Finalmente, la BA total potencial de los bosques del país se estimó como sigue:

$$26 \quad \hat{y}_f = A_f \bar{y}_f = \sum A_h \bar{y}_h \quad (\text{Eq.12})$$

27 Mientras que la varianza y el intervalo de confianza se calcularon de la siguiente forma:

$$28 \quad \text{var}(\hat{y}_f) = A_f^2 \text{var}(\bar{y}_f) \quad (\text{Eq.13})$$

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

1
$$IC_{\hat{y}_f} = \hat{y}_f \pm \sqrt{\frac{\text{var}(\hat{y}_f)}{(n-1)}} t_{0,05,n-2} \quad (\text{Eq.14})$$

2 Para calcular los contenidos de Carbono almacenados en los bosques de Colombia, se
3 utilizó el factor de 0,47 con relación a la BA, mientras que para evaluar la cantidad de
4 CO₂e almacenado en la BA, se multiplicó la cantidad de Carbono por un factor de 3,67
5 [13, 14].

6 Emisiones netas de Dióxido de Carbono

7 Las emisiones netas de CO₂e en Colombia durante los periodos de referencia,
8 corresponden a la diferencia (i.e. resta) entre las emisiones brutas de CO₂e relacionadas
9 con la deforestación y las remociones de CO₂e asociadas con la regeneración del
10 bosque [137]. Éstas a su vez, se obtuvieron al multiplicar el área que cambió en cada
11 estrato durante el periodo de análisis, resultado de la pérdida o la recuperación de las
12 coberturas boscosas, por el promedio ponderado de CO₂e estimado para el respectivo
13 tipo de bosque. Se asignó el promedio ponderado nacional a aquellos boques para los
14 cuales no se contaba con un valor de referencia. Debido a la falta de información, no se
15 incluyó en los cálculos la fracción de biomasa oxidada, descompuesta y quemada. Los FE
16 generados en el presente estudio, no consideran el CO₂e potencialmente almacenado
17 en los tipos de cobertura del suelo (i.e. coberturas no-boscosas) a los cuales cambió el
18 bosque o de los cuales éste se regeneró.

19 RESULTADOS

20 Tipos de bosques y distribución de la biomasa aérea

21 La BA de los tipos de bosque varía de acuerdo con las ecuaciones alométricas que se
22 utilicen para realizar la estimación (ver Anexos). En general, se observa que el uso de los
23 modelos pantropicales Chave I y Chave II acarrea una sobrestimación de la BA de los
24 bosques de Colombia y conduce, en adición, a un aumento de la incertidumbre (i.e.
25 intervalo de confianza), cosa nada deseable en este tipo de ejercicios. Algo similar
26 también se evidenció cuando se evaluó el efecto que tiene el método de integración de
27 los datos en la estimación. En este sentido, los resultados muestran que la BA de los
28 bosques tiende a ser menor cuando se utiliza la ponderación por el inverso de la varianza,
29 que al emplear las dos aproximaciones restantes. Asimismo, su uso conlleva a una
30 marcada disminución de la incertidumbre frente a lo que se obtiene al utilizar el promedio
31 aritmético (sin ponderación).

32 No obstante, las diferencias son sutiles respecto a los resultados que se desprenden al usar
33 el estimador de razón. Los errores de muestreo en todos casos son bajos (<20%), en
34 particular al utilizar las ponderaciones. En cuanto a la distribución de la BA, los patrones
35 obtenidos son relativamente similares bajo las tres aproximaciones utilizadas para calcular
36 el promedio por tipo de bosque, aunque se evidencian cambios en el comportamiento y
37 en la magnitud en algunos de los estratos considerados (Figura 2). Se observa que al

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 estratificar los bosques siguiendo la propuesta de Chave et al. [36] y Martonne [115], la BA
2 tiende a aumentar de manera concomitante con la precipitación, lo cual concuerda con
3 lo reportado en otros estudios realizados en bosques tropicales [100-111]. Aun así, al
4 considerar las leyendas de Holdridge et al. [112] y Caldas-Lang [113, 114] la BA se
5 distribuye de manera bimodal, lo que puede responder a variaciones climáticas a lo largo
6 del gradiente altitudinal, que pueden limitar la fotosíntesis, la transpiración, la absorción de
7 nutrientes, y otros procesos funcionales de los bosques, que determinan su arquitectura y
8 estructura [138, 139].

9 Asimismo, es posible que dicho patrón también esté relacionado con la dominancia de
10 especies que alcanzan grandes tamaños y que poseen a su vez altas densidades de
11 madera. La dominancia del roble de tierra fría (*Quercus humboldtii*), familias como las
12 Lauráceas, algunas Lecythidáceas del género *Eschweilera*, Podocarpáceas,
13 Magnoliáceas y Juglandáceas (e.g. *Juglans neotropica*), entre otros, permitirían explicar
14 los valores de BA registrados en los bosques de montaña [140]. Por esta razón, es necesario
15 continuar con investigaciones posteriores, que permitan comprender con mayor precisión
16 cómo inciden los factores climáticos (e.g. temperatura y precipitación) y edáficos en el
17 comportamiento y la distribución espacial de la BA en Colombia.

18 Cambios en la cobertura boscosa

19 La aplicación del protocolo de PDI muestra que en 2013 el bosque se extendía sobre ca.
20 591.34.663 ha, cubriendo 52% del territorio continental de Colombia, distribuido
21 principalmente (86%) en zonas bajas (< 800 m.s.n.m.) en donde la temperatura media
22 anual supera los 24°C. Asimismo permitió establecer que entre 1990-2013 se perdieron en
23 el país ca. 6.095.312 ha de bosque (Figura 3), que representan una deforestación anual de
24 265.014 ha/año, con un periodo (2000-2005) de alta deforestación (315.597 ha/año), dos
25 (1990-2000 y 2005-2010) en donde permaneció estable (265.441 ha/año y 281.969 ha/año,
26 respectivamente) y dos periodos (2010-2012 y 2013-2013) en donde la pérdida de
27 coberturas boscosas decreció apreciablemente (166.070 ha/año y 120.934 ha/año,
28 respectivamente). La tasa de deforestación registrada entre 1990-2013 ($R = 0,40\%$)
29 evidencia que Colombia no puede considerarse como un país con baja deforestación, ya
30 que supera el umbral propuesto en el mecanismo REDD [141].

31 De igual manera, se observa que durante los 23 años de análisis se regeneraron en
32 Colombia ca. 1.209.079 ha (52.569 ha/año) de bosque, de las cuales 30% se recuperaron
33 entre 1990-2000 (36.310 ha/año), 38% entre 2000-2005 (91.541 ha/año) y 32% entre 2005-
34 2010 (77.371 ha/año). En el periodo 2010-2012 se regeneraron 1.202 ha (601 ha/año) y 213
35 ha entre 2012-2013. El cambio neto (pérdida neta) entre 1990-2013 ascendió a 4.886.233
36 ha (212.445 ha/año).

37 Reservas y emisiones netas

38 El promedio nacional de Carbono almacenado en la BA de los bosques en Colombia
39 varió entre 79,1 Mg C/ha y 168,9 Mg C/ha. Los resultados obtenidos muestran que las
40 reservas de Carbono oscilan entre 4,7 Pg C y 10,0 Pg C, que representan un potencial que

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 varía entre 17,1 Pg CO₂e y 36,6 Pg CO₂e que no han sido emitidos a la atmósfera. Los
2 valores generados en el presente estudio se encuentran dentro del rango reportado por
3 Gibbs et al. [38] y son similares a los estimados por Cardona et al. [142] y Anaya et al. [143]
4 para bosques de Colombia.

5 Por otra parte, se observa que las emisiones brutas entre 1990-2013 variaron entre 1,9 Pg
6 CO₂e y 3,5 Pg CO₂e, mientras que por efectos de la regeneración natural se removieron
7 entre 0,4 Pg CO₂e y 0,7 Pg CO₂e, lo cual conduce a que las emisiones netas oscilen entre
8 1,5 Pg CO₂e y 2,8 Pg CO₂e (Anexo 5). Como se observa en la (Figura 6), al emplear la
9 leyenda de Chave et al. [36] se generan estimados para el promedio nacional, las
10 reservas actuales, las emisiones brutas y netas con una alta incertidumbre asociada, sin
11 importar el conjunto de ecuaciones alométricas empleadas para estimar la BA o el
12 método de integración de los datos. En el caso de la clasificación de Martonne [115] los
13 resultados muestran que la incertidumbre asociada al promedio nacional y las reservas
14 actuales varía de acuerdo con la aproximación utilizada para integrar los datos, siendo
15 baja cuando se utiliza la aproximación de la media aritmética, moderada al emplear la
16 ponderación por el inverso de la varianza y alta al usar el estimador de razón. Con las
17 estratificaciones de Holdridge et al. [112] y Caldas-Lang [113, 114] se obtiene una alta
18 certidumbre para las estimaciones realizadas, aunque solo con la ponderación por el
19 inverso de la varianza los valores obtenidos son menores y por ende más conservadores.

CONCLUSIONES

21 El IPCC ha sido enfático en señalar la importancia de determinar una línea base sobre las
22 reservas y emisiones de Carbono que cumpla con dos requisitos principales, que sea
23 conservadora y que tenga una baja incertidumbre asociada. Lo anterior es relevante
24 cuando se quiere acceder a beneficios económicos que se desprendan de la
25 implementación del mecanismo REDD. No obstante, hay que recordar que lo anterior es
26 una recomendación, ya que los REL/RL que adopten las naciones responderán a
27 decisiones políticas internas, la cuales posiblemente buscarán aumentar la remuneración
28 que se obtenga por las acciones verificables que conduzcan a la reducción de emisiones
29 de CO₂.

30 En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio para los diferentes tipos de
31 bosque y para el bosque a escala nacional, ponen de manifiesto la bondad de emplear
32 las ponderaciones para estimar la BA y las emisiones, ya que conduce a una disminución
33 de la incertidumbre. Sin embargo, al comparar las dos aproximaciones, queda claro que
34 el inverso de la varianza es un método que genera estimaciones mucho más
35 conservadoras, puesto que da mayor peso y credibilidad a los conjuntos de datos que
36 presenten menor variabilidad. En general, se observa que la variabilidad aumenta con el
37 uso de datos generados a partir del establecimiento de parcelas pequeñas. Lo anterior
38 concuerda con los resultados obtenidos por Yepes et al. (en prep.), en donde a partir de
39 modelaciones se encontró que la media e incertidumbre asociada con las estimaciones
40 tiende a disminuir a medida que aumenta el tamaño de la parcela.

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 No obstante, es importante tener en cuenta que aunque este patrón podría variar según
2 las características espaciales de la distribución de los lugares de muestreo, en el presente
3 estudio fue el patrón determinante teórica y empíricamente. En cuanto a las
4 estratificaciones, se observa que los resultados más consistentes se obtuvieron al utilizar las
5 leyendas de Holdridge et al. [112] y Caldas-Lang [113, 114]. Sin embargo, teniendo en
6 cuenta que la primera es una clasificación ampliamente utilizada en estudios nacionales
7 e internacionales, puede ser favorable su adopción para conducir la estimación de la BA
8 y las emisiones en Colombia, dado que la metodología que se utilice debe facilitar la
9 interpretación y entendimiento de los resultados cuando estos sean auditados por
10 terceros. A su vez, al emplear esta clasificación es posible que los resultados obtenidos
11 para Colombia puedan en un futuro servir de valores de referencia para las estimaciones
12 Tier 1 que realicen otros países tropicales.

13 Finalmente, frente a uso de los diferentes conjuntos de ecuaciones alométricas, es claro
14 que los modelos de Álvarez son los más apropiados para realizar la estimación de la BA,
15 no solo porque generan estimaciones conservadoras, con baja incertidumbre asociada,
16 sino también porque fueron desarrollados con árboles cosechados únicamente en
17 Colombia. Esto último es importante, ya que los modelos pantropicales de Chave incluyen
18 información proveniente de África, el sudeste de Asia y Australia, cosa favorable en
19 estimaciones globales, pero que puede inducir a errores de estimación y distorsionar los
20 patrones de distribución de la BA en escalas regionales o nacionales. En síntesis, se
21 observa que la adopción de un método de estimación que utilice la ponderación por el
22 inverso de la varianza, la estratificación de Holdridge et al. [112] y los modelos de Álvarez
23 satisface los requerimientos propuestos por el IPCC [14] y pueden servir para generar un
24 conjunto de FE que sirvan de referencia para avanzar en la construcción del R-PP y en la
25 implementación del mecanismo REDD+ en Colombia, las estrategias ENREDD+ y ECDBC, y
26 el INGEI. Aún así, es claro que la decisión sobre cuál de las aproximaciones adoptará el
27 país, hasta que pueda actualizar su REL/RL con datos provenientes de la puesta en
28 marcha del IFN, provendrá del ámbito político y responderá a las posiciones adoptadas
29 en negociaciones bilaterales y otros aspectos que escapen del contorno técnico del
30 SMBYC.

31 NOTAS Y REFERENCIAS

32 [1] Entre éstos, el Dióxido de Carbono, el Metano y el Óxido Nitroso, son los que influyen de
33 manera determinante en el calentamiento de la superficie terrestre. En adición, son los
34 gases que interactúan con la biósfera terrestre, que pueden tener en ella su fuente o
35 sumidero. La expresión sumidero se refiere a la existencia de un flujo neto desde la
36 atmósfera al sistema terrestre, mientras que la expresión fuente significa un flujo desde el
37 sistema hacia la atmósfera.

38 [2] Las emisiones de GEI del sector forestal no provienen únicamente de actividades
39 relacionadas con el aprovechamiento forestal, sino que en buena medida se deben a
40 procesos asociados con la transformación de tierras con vocación forestal (i.e.
41 deforestación) hacia otros tipos de usos del suelo, destinados, en gran parte, al desarrollo



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 de actividades extractivas (e.g. minería), de actividades agropecuarias o de proyectos
2 de infraestructura.
- 3 [3] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007. Climate change: the
4 physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New
5 York, NY, USA. 1075 pp.
- 6 [4] Montreal (Canadá), 2005.
- 7 [5] Copenhague (Dinamarca), 2009.
- 8 [6] Las Partes que están en el Anexo I se consideran países industrializados. Éstos acceden
9 a reducir sus emisiones por debajo de las realizadas en 1990. Si no pueden llevarlo a cabo,
10 deben comprar créditos de emisión o invertir en medidas de conservación en otros países.
- 11 [7] MERIDIAN INSTITUTE. 2011. Guidelines for REDD+ Reference Levels. Principles and
12 Recommendations. Meridian Institute.
- 13 [8] CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO
14 (CMNUCC). 2011. Draft decision on guidance on systems for providing information on how
15 safeguards are addressed and respected and modalities relating to forest reference
16 emission levels and forest reference levels as referred to in decision 1/CP.16, appendix I
17 COP 17 decisions.
- 18 [9] PLUGGE, D. 2012. Capabilities and deficiencies of terrestrial forest inventory systems in
19 the assessment of forest degradation in the scope of REDD+. PhD. dissertation. Universität
20 Hamburg. 104 pp.
- 21 [10] CONRAD, K. 2009. PNG Views on Reference Emission Levels and Reference Levels,
22 Bonn. Expert Meeting on Methodological Issues relating to Reference Emission Levels and
23 Reference Levels.
- 24 [11] HEROLD, M., VERCHOT, L., ANGELSEN, A., MANIATIS, D. & BAUCH, S. 2012. A step-wise
25 framework for setting REDD+ forest reference emission levels and forest reference levels.
26 InfoBrief (CIFOR) 52: 1-8.
- 27 [12] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS). 2013. Propuesta de
28 Preparación para REDD+ (R-PP) de Colombia, versión 8,0. 30 de Septiembre de 2013.
29 Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF), Programa de Colaboración
30 de las Naciones Unidas para Reducir las Emisiones debidas a la Deforestación y la
31 Degradación Forestal en los Países en Desarrollo (ONU-REDD). 242 pp. Disponible en:
32 <http://www.minambiente.gov.co>.
- 33 [13] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2003. Good practice
34 guidance for land use, land-use change and forestry. Published by the Institute for Global
35 Environmental Strategies for the IPCC, Hayama, Kanagawa, Japan.
- 36 [14] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006. IPCC guidelines for
37 national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES),
38 Hayama, Japan.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 [15] GOFC-GOLD. 2009. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and 46
2 degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures 47 for
3 monitoring, measuring and reporting, GOFC-GOLD Report version COP14-2, 48. GOFC-
4 GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada.
- 5 [16] KIRSCHBAUM, M.U.F. 2000. Forest growth and species distribution in a changing
6 climate. *Tree Physiology* 20: 309-322.
- 7 [17] KIRSCHBAUM, M.U.F. 2003. Can trees buy time? An assessment of the role of vegetation
8 sinks as part of the global carbon cycle. *Climatic Change* 58: 47-71.
- 9 [18] DIXON, R.K., BROWN, S., HOUGHTON, R.A., SOLOMON, A.M., TREXLER, M.C. &
10 WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-
11 190.
- 12 [19] PENG, C.H. & APPS, M.J. 1999. Modelling the response of net primary productivity (NPP)
13 of boreal forest ecosystems to changes in climate and fire disturbance regimes. *Ecological*
14 *Modelling* 122(3): 175-193.
- 15 [20] SCHOLLES, R.J. & NOBLE, I.R. 2001. Storing carbon on land. *Science* 294: 1012-1013.
- 16 [21] ZHAO, M.S., HEINSCH, F.A., NEMANI, R.R. & RUNNING, S.W. 2005. Improvements of the
17 MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of*
18 *Environment* 95(2): 164-176.
- 19 [22] LU, X.-T., YIN, J.-X., JEPSEN, M.R. & TANG, J.W. 2010. Ecosystem carbon storage and
20 partitioning in a tropical seasonal forest in Southwestern China. *Forest Ecology and*
21 *Management* 260(10): 1798-1803.
- 22 [23] FEARNSIDE, P.M. & LAURANCE, W.F. 2004. Tropical deforestation and greenhouse gas
23 emissions. *Ecological Applications* 14: 982-986.
- 24 [24] HOUGHTON, R.A. 2005. Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions.
25 En: Moutinho, P. & Schwartzman, S. (Eds.), *Tropical Deforestation and Climate Change*.
26 Belem, IPAM. pp. 13-21.
- 27 [25] ACHARD, F., DEFRIES, R., EVA, H., HANSEN, M., MAYAUX, P. & STIBIG, H.J. 2007. Pan-
28 tropical monitoring of deforestation. *Environmental Research Letters* 2: 045022.
- 29 [26] OLANDER, L.P., GIBBS, H.K., STEININGER, M., SWENSON, J.J. & MURRAY, B.C. 2008.
30 Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: a review
31 of data and methods. *Environmental Research Letters* 3: 025011.
- 32 [27] DENMAN, K.L., BRASSEUR, G., CHIDTHAISONG, A., CIAIS, P., COX, P.M., DICKINSON, R.E.,
33 HAUGLUSTAINE, D., HEINZE, C., HOLLAND, E., JACOB, D., LOHMANN, U., RAMACHANDRAN,
34 S., DA SILVA DIAS, P.L., WOFYSY, S.C. & ZHANG, X. 2007. Couplings between changes in the
35 climate system and biogeochemistry. En: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z.,
36 Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical*
37 *Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the*



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
2 pp. 499-587.
- 3 [28] DEFRIES, R., HANSEN, M., TOWNSHEND, J.R.G., JANETOS, A.C. & LOVELAND, T.R. 2000. A
4 new global 1-km data set of percent tree cover derived from remote sensing. *Global*
5 *Change Biology* 6: 247-254.
- 6 [29] ZHANG, X.-Q. & XU, D. 2003. Potential carbon sequestration in China's forest.
7 *Environmental Science and Policy* 6(5): 421-432.
- 8 [30] KINDERMANN, G., OBERSTEINER, M., SOHNGEN, B., SATHAYE, J., ANDRASKO, K.,
9 RAMETSTEINER, E., SCHLAMADINGER, B., WUNDER, S. & BEACH, R. 2008. Global cost
10 estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation. *Proceedings of the*
11 *National Academy of Sciences* 105: 10302-10307.
- 12 [31] MURRAY, B.C., LUBOWSKI, R. & SOHNGEN, B. 2009. Including International Forest Carbon
13 Incentives in a United States Climate Policy: Understanding the Economics. Nicholas
14 Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University.
- 15 [32] BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.
16 FAO Forestry Paper 134, Rome, Italy.
- 17 [33] CLARK, D.A., BROWN, S., KICKLIGHTER, D.W., CHAMBERS, J.Q., THOMLINSOM, J.R., NI, J.
18 & HOLLAND, E.A. 2001. Net primary production in tropical forest: an evaluation and
19 synthesis of existing data. *Ecological Applications* 11: 371-384.
- 20 [34] CLARK, D.A. 2004. Sources or sinks? The response of tropical forests to current and
21 future climate and atmospheric composition. *Philosophical Transactions of the Royal*
22 *Society B: Biological Sciences* 359: 477-491.
- 23 [35] MALHI, Y. & PHILLIPS, O.L. 2004. Tropical forests and global atmospheric change: a
24 synthesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 359: 549-555.
- 25 [36] CHAVE, J., ANDALO, C., BROWN, S., CAIRNS, A., CHAMBERS, J.Q., FOLSTER, H.,
26 FROMARD, F., HIGUCHI, N., KIRA, T., LESCURE, J.P., NELSON, B.W., OGAWA, H., PUIG, H.,
27 RIERA, B. & YAMAKURA, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks
28 and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-9.
- 29 [37] DJOMO, A.N., KNOHL, A. & GRAVENHORST, G. 2011. Estimation of total ecosystem
30 carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of moist tropical
31 forest. *Forest Ecology and Management* 261: 1448-1459.
- 32 [38] GIBBS, H.K., BROWN, B., NILES, J.O. & FOLEY, J.A. 2007. Monitoring and estimating
33 tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2:
34 045023.
- 35 [39] GOETZ, S., ACHARD, F., JOOSTEN, H., KANAMARU, H., LEHTONEN, A., MENTON, M.,
36 PETROKOFKY, G., PULLIN, A.S. & WATTENBACH, M. 2010. Comparison of methods for
37 measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon
38 pools. *Collaboration for Environmental Evidence protocol 09-016 (SR77)*.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 [40] CLARK, D.A. 2002. Are tropical forests an important carbon sink? Reanalysis of the long-
2 term plot data. *Ecological Applications* 12: 3-7.
- 3 [41] PHILLIPS, O.L., MALHI, Y., VINCETI, B., BAKER, T., LEWIS, S.L., HIGUCHI, N., LAURANCE, W.F.,
4 NÚÑEZ, V.P., VÁSQUEZ, M.R., LAURANCE, S.G., FERREIRA, L.V., STERN, M.M., BROWN, S. &
5 GRACE, J. 2002. Changes in the biomass of tropical forests: evaluating potential biases.
6 *Ecological Applications* 12: 576-587.
- 7 [42] BIOCARBON. 2008. Methodology for Estimating Reductions of GHG Emissions from
8 Mosaic Deforestation. RED-NM-001, Version 01. 111 pp.
- 9 [43] INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO AMAZONAS
10 (IDESAM). 2008. Methodology for Estimating Reductions of Greenhouse Gases Emissions
11 from Frontier Deforestation (Mod). RED-NM-002, Version 01. 127 pp.
- 12 [44] HOUGHTON, R., LAWRENCE, K., HACKLER, J. & BROWN, S. 2001. The spatial distribution
13 of forest biomass in the Brazilian Amazon: A comparison of estimates. *Global Change*
14 *Biology* 7: 731-746.
- 15 [45] PATENAUDE G.L., MILNE, R. & DAWSON, T.P. 2005. Synthesis of remote sensing
16 approaches for forest carbon estimation: Reporting to the Kyoto Protocol, *Environmental*
17 *Science & Policy* 8: 161-178.
- 18 [46] LU, D. 2006. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation.
19 *International Journal of Remote Sensing* 27: 1297-1328.
- 20 [47] CAMPBELL, B. 2009. Beyond Copenhagen: REDD plus, agriculture, adaptation
21 strategies and poverty. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 19:
22 397-399.
- 23 [48] LUCAS, R., ARMSTON, J., FAIRFAX, R., FENSHAM, R., ACCAD, A. & CARREIRAS, J. 2010.
24 An evaluation of the ALOS PALSAR L-band backscatter-above ground biomass relationship
25 Queensland, Australia: Impacts of surface moisture condition and vegetation structure. *IEEE*
26 *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 3(4): 576-593.
- 27 [49] SAATCHI, S.S., HARRIS, N.L., BROWN, S.S., LEFSKYD, M., MITCHARD, E.T.A., SALASF, W.,
28 ZUTTA, B.R., BUERMANN, W., LEWIS, S.L., HAGEN, S., PETROVAC, S., WHITEH, L., SILMANI, M. &
29 MOREL, A. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three
30 continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 9899-9904.
- 31 [50] FALKOWSKI, P., SCHOLES, R., BOYLE, E., CANADELL, J., CANFIELD, D. & ELSER, J. 2000.
32 The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system. *Science* 290(5490):
33 291-296.
- 34 [51] SCHIMMEL, D., HOUSE, J., HIBBARD, K., BOUSQUET, P., CIAIS, P. & PEYLIN, P. 2001. Recent
35 patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature* 414(6860):
36 169-172.
- 37 [52] SCHULZE, E. 2006. Biological control of the terrestrial carbon sink. *Biogeosciences* 3(2):
38 147-166.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 [53] HEIMANN, M. & REICHSTEIN, M. 2008. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and
2 climate feedbacks. *Nature* 451: 289-292.
- 3 [54] LE QUERE, C., RAUPACH, M., CANADELL, J., MARLAND, G., BOPP, L. & CIAIS, P. 2009.
4 Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience* 2: 831-836.
- 5 [55] LOARIE, S., ASNER, G. & FIELD, C. 2009. Boosted carbon emissions from Amazon
6 deforestation. *Geophysical Research Letters* 36: L14810, doi: 10.1029/2009GL037526.
- 7 [56] HOUGHTON, R.A., HALL, F. & GOETZ, S.J. 2009. Importance of biomass in the global
8 carbon cycle. *Journal of Geophysical Research* 114: G00E03.
- 9 [57] MITCHARD, E.T.A., SAATCHI, S.S., LEWIS, S.L., FELDPAUSCH, T.R., GERARD, F.F.,
10 WOODHOUSE, I.H. & MEIR, P. 2011. Comment on A first map of tropical Africa's above-
11 ground biomass derived from satellite imagery. *Environmental Research Letters* 6.
- 12 [58] MITCHARD, T.R.F. BRIENEN, R.J.W., LOPEZ-GONZALEZ, G., MONTEAGUDO, A., BAKER, T.R.,
13 LEWIS, S.L., LLOYD, J., QUESADA, C.A., GLOOR, M., TER STEEGE, H., MEIR, P., ALVAREZ, E.,
14 ARAUJO-MURAKAMI, A., ARAGÃO, L.E.O.C., ARROYO, L., AYMARD, G., BANKI, O., BONAL,
15 D., BROWN, S., BROWN, F.I., CERÓN, C.E., MOSCOSO, V.C., CHAVE, J., COMISKEY, J.A.,
16 CORNEJO, F., CORRALES MEDINA, M., DA COSTA, L., COSTA, F.R.C., et al. 2014. Markedly
17 divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites.
18 *Global Ecology and Biogeography*, doi: 10.1111/geb.12168.
- 19 [59] BACCINI, A., FRIEDL, A.M.A., WOODCOCK, C.E. & WARBINGTON, R. 2004. Forest
20 biomass estimation over regional scales using multisource data. *Geophysical Research*
21 *Letter* 31: L10501.
- 22 [60] DEFRIES, R., ACHARD, F., BROWN, S., HEROLD, M., MURDIYARSO, D., SCHLAMADINGER,
23 B. & DE SOUZA JR., C. 2007. Earth observations for estimating greenhouse gas emissions
24 from deforestation in developing countries. *Environmental Science & Policy* 10: 385-394.
- 25 [61] ACHARD, F., DEFRIES, R., EVA, H., HANSEN, M., MAYAUX, P. & STIBIG, H.J. 2007. Pan-
26 tropical monitoring of deforestation. *Environmental Research Letters* 2: 045022.
- 27 [62] ASNER, G.P., POWELL, G.V.N., MASCARO, J., KNAPP, D.E., CLARK, J.K., JACOBSON, J.,
28 KENNEDY-BOWDOIN, T., BALAJI, A., PAEZ-ACOSTA, G., VICTORIA, E., SECADA, L., VALQUI, M.
29 & HUGHES, R.F. 2010. High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon.
30 *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 16738-16742.
- 31 [63] MELACK, J.M. & HESS, L.L. 2010. Remote sensing of the distribution and extent of
32 wetlands in the Amazon basin. En: Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Wittmann, F., Schöngart, J.
33 & Parolin, P. (Eds.), *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and*
34 *Sustainable Management*. Springer, Berlin. pp. 43-60.
- 35 [64] QURESHI, A., PARIVA, R.B. & HUSSAIN, S.A. 2012. A review of protocols used for
36 assessment of carbon stock in forested landscapes. *Environmental Science & Policy* 16: 81-
37 89.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 [65] FANG, J.Y., WANG, G.G., LIU, G.H. & XU, S.L. 1998. Forest biomass of China: an estimate
2 based on the biomass-volume relationships. *Ecological Applications* 8(4): 1084-1091.
- 3 [66] NAVAR, J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups
4 of species. *Annals of Forest Science* 66: 208, doi:10.1051/forest/2009001.
- 5 [67] CLARK, D.B. & CLARK, D.A. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and
6 biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management* 137: 185-198.
- 7 [68] BAKER, T.R., PHILLIPS, O.L., MALHI, Y., ALMEIDA, S., ARROYO, L., DI FIORE, A., ERWIN, T.,
8 KILLEEN, T.J., LAURANCE, S.G., LAURANCE, W.F., LEWIS, S.L., LLOYD, J., MONTEAGUDO, A.,
9 NEILL, D.A., PATINO, S., PITMAN, N.C.A., SILVA, M. & VASQUEZ-MARTINEZ, R. 2004. Variation in
10 wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change*
11 *Biology* 10: 545-562.
- 12 [69] DEWALT, S.J. & CHAVE, J. 2004. Structure and biomass of four lowland Neotropical
13 forests. *Biotropica* 36: 7-19.
- 14 [70] VIEIRA, S.A., CAMARGO, P.B., SELHORST, D., SILVA, R., HUTYRA, L., CHAMBERS, J.Q.,
15 BROWN, I.F., HIGUCHI, N., SANTOS, J., WOFYSY, S.C., TRUMBORE, S.E. & MARTINELLI, L.A. 2004.
16 Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia* 140:
17 468-479.
- 18 [71] PIAO, S.L., FANG, J.Y., ZHU, B. & TAN, K. 2005. Forest biomass carbon stocks in China
19 over the past 2 decades, estimation based on integrated inventory and satellite data.
20 *Journal of Geophysical Research* 110: G01006, doi: 10.1029/2005JG000014.
- 21 [72] YANG, Y.H., MOHAMMAT, A., FENG, J.M., ZHOU, R. & FANG, J.Y. 2007. Storage, patterns
22 and environmental controls of soil organic carbon in China. *Biogeochemistry* 84: 131-141.
- 23 [73] CUATRECASAS, J. 1958. Aspectos de la Vegetación Natural de Colombia. *Revista de la*
24 *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 10(40): 221-264.
- 25 [74] CLEEF, A.M. 1981. The vegetation of the Páramos of the Colombian Cordillera Oriental.
26 En: Cramer, J. (Ed.), *Dissertationes Botanicae* 61. 320 pp.
- 27 [75] MONASTERIO, M & SARMIENTO, L. 1991. Adaptive radiation of Espeletia in the cold
28 Andean tropics. *Trends in Ecology and Evolution* 6: 387-391.
- 29 [76] HERNÁNDEZ-CAMACHO, I. & SÁNCHEZ-PÁEZ, H. 1992a. Biomas terrestres de Colombia.
30 En: Halffter, G. (Ed.), *La Diversidad Biológica de Iberoamérica I*. *Acta Zoológica Mexicana*,
31 *Volumen especial*. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. pp. 153-174.
- 32 [77] HERNÁNDEZ-CAMACHO, I., HURTADO-GUERRA, A., ORTIZ-QUIJANO, R. &
33 WALSCHBURGER, T. 1992b. Unidades biogeográficas de Colombia. En: Halffter, G. (Ed.), *La*
34 *Diversidad Biológica de Iberoamérica I*. *Acta Zoológica Mexicana*, *Volumen especial*.
35 Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. pp. 105-152.
- 36 [78] VAN DER HAMMEN, T. & RANGEL, O. 1997. El estudio de la vegetación en Colombia.
37 En: Rangel, J.O., Lowy, C., Petter, D., Aguilar-Puentes, M. (Eds.), *Colombia diversidad*



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 biótica II: tipos de vegetación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
2 pp. 17-57.
- 3 [79] MALAGÓN, D. & PULIDO, C. 2000. Suelos del Páramo Colombiano. En: Rangel, O. (Ed.),
4 Colombia Diversidad Biótica III. La Región de Vida Paramuna. Universidad Nacional de
5 Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá, Colombia. pp.
6 37-84.
- 7 [80] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). 2010. Colombia
8 estadística 2000-2009. Tomo 3. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá D.C. 2012 pp.
- 9 [81] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2009.
10 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2000 y 2004. Instituto de Hidrología,
11 Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente, Vivienda y
12 Desarrollo Territorial (MAVDT) & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
13 (PNUD). Scripto Ltda. Bogotá D.C., Colombia. 342 pp.
- 14 [82] MALAGÓN-CASTRO, D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos: Énfasis en
15 génesis y aspectos ambientales. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias
16 Exactas, Físicas y Naturales 27 (104): 319-341.
- 17 [83] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2005.
18 Distribución espacio-temporal de las variables del clima. En: Instituto de Hidrología,
19 Meteorología y Estudios Ambientales & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo
20 Territorial (Eds.), Atlas climatológico de Colombia. Bogotá D.C. 218 pp.
- 21 [84] LE TOAN, T., BEAUDOIN, A., RIOM, J., & GUYON, D. 1992. Relating forest biomass to SAR
22 data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 30(2): 403-411.
- 23 [85] DOBSON, M., ULABY, F., PIERCE, I., SHARIK, T., BERGEN, K. & KELLNDORFER, J. 1995.
24 Estimation of forest biophysical characteristics in Northern Michigan with SIR-C/XSAR. IEEE
25 Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33(4): 877-895.
- 26 [86] IMHOFF, M. 1995. Radar backscatter and biomass saturation-ramifications for global
27 biomass inventory. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33(2): 511-518.
- 28 [87] LUCKMAN, A., BAKER, J., KUPLICH, T., YANASSE, C. & FRERY, A. 1997. A study of the
29 relationship between radar backscatter and regenerating tropical forest biomass for
30 spaceborne SAR instruments. Remote Sensing of Environment 60(1): 1-13.
- 31 [88] FRANSSON, J. & ISRAELSSON, H. 1999. Estimation of stem volume in boreal forests using
32 ERS-1 C- and JERS-1 L-band SAR data. International Journal of Remote Sensing 20(1): 123-
33 137.
- 34 [89] SANTOS, J., LACRUZ, M., ARAUJO, L. & KEIL, M. 2002. Savanna and tropical rainforest
35 biomass estimation and spatialization using JERS-1 data. International Journal of Remote
36 Sensing 23(7): 1217-1229.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 [90] FOODY, G.M., BOYD, D.S. & CUTLER, M.E.J. 2003. Predictive relations of tropical forest
2 biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of*
3 *Environment* 85: 463-474.
- 4 [91] HALL, R.J., SKAKUN, R.S., ARSENAULT, E.J. & CASE, B.S. 2006. Modeling forest stand
5 structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground
6 biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management* 225: 378-390.
- 7 [92] SAATCHI, S.S., HOUGHTON, R.A., DOS SANTOS ALVALÁ, R.C., SOARES, J.V. & YU, Y. 2007.
8 Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology* 13:
9 816-837.
- 10 [93] BACCINI, A., FRIEDL, A.M.A., WOODCOCK, C.E. & WARBINGTON, R. 2004. Forest
11 biomass estimation over regional scales using multisource data. *Geophysical Research*
12 *Letter* 31: L10501.
- 13 [94] MIETTINEN, J. & LIEW, S.C. 2009. Estimation of biomass distribution in Peninsular Malaysia
14 and in the islands of Sumatra, Java and Borneo based on multi-resolution remote sensing
15 land cover analysis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14: 357-373.
- 16 [95] GASPARRI, N.I., PARMUCHI, M.G., BONO, J., KARSZENBAUM, H. & MONTENEGRO, C.L.
17 2010. Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM images for estimating above-ground biomass
18 in subtropical dry forests of Argentina. *Journal of Arid Environments*, doi: 10.1016.
- 19 [96] MORTON, D.C., DEFRIES, R.S., NAGOL, J., SOUZA JR., C.M., KASISCHKE, E.S., HURTT, G.C.
20 & DUBAYAH, R. 2011. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests
21 using annual time series of Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 115:
22 1706-1720.
- 23 [97] CABRERA, E., GALINDO, G. & VARGAS, D.M. 2011. Protocolo de Procesamiento Digital
24 de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional
25 Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM).
26 Bogotá D.C., Colombia. 44 pp.
- 27 [98] La adquisición y descarga de las imágenes de satélite Landsat se realizó en
28 www.glovis.usgs.gov.
- 29 [99] PUYRAVAUD, J.P. 2003. Standardizing the calculations of the annual rate of
30 deforestation. *Forest Ecology and Management* 177: 593-596.
- 31 [100] GRUBB, P.J., LLOYD, J.R., PENNINGTON, T.D. & WHITMORE, T.C. 1963. A comparison of
32 montane and lowland rain forest in Ecuador. The forest structure, physiognomy and
33 floristics. *Journal of Ecology* 51: 567-601.
- 34 [101] KITAYAMA, K. & MUELLER-DOMBOIS, D. 1994. An altitudinal transect analysis of the
35 windward vegetation on Haleakala, a Hawaiian island mountain. *Phytocoenologia* 24: 135-
36 154.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 [102] LIEBERMAN, D., LIEBERMAN, M., PERALTA, R. & HARTSHORN, G.S. 1996. Tropical forest
2 structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of*
3 *Ecology* 84: 137-152.
- 4 [103] AIBA, S. & KITAYAMA, K. 1999. Structure, composition and species diversity in an
5 altitude-substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant*
6 *Ecology* 140: 139-157.
- 7 [104] KITAYAMA, K. & AIBA, S. 2002. Ecosystem structure and productivity of tropical rain
8 forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu,
9 Borneo. *Journal of Ecology* 90: 37-51.
- 10 [105] SCHAWÉ, M., GLATZEL, S. & GEROLD, G. 2007. Soil development along an altitudinal
11 transect in a Bolivian tropical montane rainforest: Podzolization vs. hydromorphy. *Catena*
12 69: 83-90.
- 13 [106] MOSER, G., RODERSTEIN, M., SOETHE, N., HERTEL, D. & LEUSCHNER, CH. 2008. Altitudinal
14 changes in stand structure and biomass allocation of tropical mountain forests in relation to
15 microclimate and soil chemistry. En: Beck, E., Bendix, J., Kottke, I., Makeschin, F. & Mosandl,
16 R. (Eds.), *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*. Springer, Berlin,
17 *Ecological Studies*, 198. pp. 229-242.
- 18 [107] GIRARDIN, C.A.J., MALHI, Y., ARAGÃO, L.E.O.C., MAMANI, M., HUARACA HUASCO, W.,
19 DURAND, L., FEELEY, K.J., RAPP, J., SILVA-ESPEJO, J.E., SILMAN, M., SALINAS, N. & WHITTAKER,
20 R.J. 2010. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest
21 elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology* 16: 3176-3192.
- 22 [108] KÖRNER, C. 1998. A re-assessment of high elevation treeline positions and their
23 explanation. *Oecologia* 115: 445-459.
- 24 [109] KÖRNER, C. 2006. Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource
25 supply. *New Phytologist* 172: 393-411.
- 26 [110] KÖRNER, C. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. *TRENDS in Ecology and*
27 *Evolution* 22(11): 569-574.
- 28 [111] COOMES, D.A. & ALLEN, R.B. 2007. Effects of size, competition and altitude on tree
29 growth. *Journal of Ecology* 95: 1084-1097.
- 30 [112] HOLDRIDGE, L.R., GRENKE, W., HATHEWAY, W.H., LIANG, T. & TOSI, J.A. 1971. *Forest*
31 *Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study*. Pergamon Press, Oxford.
- 32 [113] LANG, R. 1915. Versucheinerexakten Klassifikation der Böden in klimatischer und
33 geologischer Hinsicht. *Internationale Mitteilungen fuer Bodenkunde* 5: 312-346.
- 34 [114] LANG, R. 1920. *Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde*.
35 Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.
- 36 [115] DE MARTONNE, E. 1923. Ariditéet indices d'aridité. *Académie des Sciences. Comptes*
37 *Rendus* 182(23): 1935-1938.

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

- 1 [116] El índice de aridez (I_M) es igual a $\left(\frac{P}{2 \times (T+10)}\right) + \left(\frac{12 \times P_s}{T_s + 10}\right)$, en donde P es la precipitación
2 total anual (en mm), T la temperatura media anual (en °C), P_s la precipitación del mes
3 más seco del año y T_s la temperatura registrada en dicho mes.
- 4 [117] Los promedios climatológicos de la normal 1981-2010 se pueden descargar en
5 [http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile15803&dow](http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile15803&dowloadname=Promedios%2081-10.xlsx)
6 [loadname=Promedios%2081-10.xlsx](http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile15803&dowloadname=Promedios%2081-10.xlsx). El vínculo fue consultado por última vez el 14 de
7 Septiembre de 2014.
- 8 [118] DÍAZ-ALMANZA, E. 2013. Informe de avance - Contrato PC-CPS-013/2013. Junio 2013.
9 Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas. Bogotá D.C. 24 pp.
- 10 [119] BOYLE, B., HOPKINS, N., LU, Z., RAYGOZA-GARAY, J.A., MOZZHERIN, D., REES, T.,
11 MATASCI, N., NARRO, M.L., PIEL, W.H., MCKAY, S.J., LOWRY, S., FRELAND, C., PEET, R.K. &
12 ENQUIST, B.J. 2013. The taxonomic name resolution service: an online tool for automated
13 standardization of plant names. BMC Bioinformatics 14: 16.
- 14 [120] Durante las últimas dos décadas ha surgido un gran número de bases de datos que
15 proporcionan acceso a millones de registros de especies de plantas a lo largo del mundo.
16 Entre estas se destacan aquellas que compilan información depositada en museos (e.g.
17 GBIF, Tropicos, REMIB, OBIS, VertNet, MaNIS), o con datos resultantes de inventarios
18 florísticos, proyectos de monitoreo a largo plazo y caracterizaciones ecológicas (e.g.
19 SALVIAS, CTFS, Selva, GIVD, USFS-FIA, Rainfor, VegBank), o de estudios en paleobotánica
20 (e.g. Paleobiology Database), rasgos funcionales (e.g. TraitNet, TRY), secuenciación
21 molecular (e.g. GenBank) y filogenia (e.g. TreeBase). A pesar de los avances realizados en
22 torno a la generación de repositorios de libre acceso, existen aún desafíos que hay que
23 sortear, en particular, aquellos relacionados con la corrección y estandarización de la
24 nomenclatura taxonómica. Se observa que usualmente las bases contienen nombres
25 incorrectos o ambiguos, cosa que dificulta el desarrollo de estudios comparativos que
26 requieren una coincidencia de las entidades taxonómicas entre conjuntos de datos de
27 diferente procedencia. La falta de estandarización puede dar lugar a observaciones
28 equívocas y medidas exageradas (e.g. diversidad), que conduzcan a conclusiones
29 erróneas, o dificulten la generación de modelos o predicciones fiables a través del
30 espacio y el tiempo. La compilación de conjuntos de datos generados por diferentes
31 fuentes, requiere una cuidadosa estandarización de cientos o miles de nombres de
32 taxones. Gran parte de los problemas relacionados con la heterogeneidad semántica en
33 la nomenclatura hacen referencia a faltas de ortografía, variantes léxicas, sinonimias
34 homotípicas, sinonimias heterotípicas, y homonimias. En adición, existen otros tantos que
35 involucran el uso de diferentes conceptos taxonómicos o sistemas de clasificación.
- 36 [121] CHAVE, J., MULLER-LANDAU, H.C., BAKER, T.R., EASDALE, T.A., TER STEEGE, H. & WEBB,
37 C.O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical
38 tree species. Ecological Applications 16(6): 2356-2367.
- 39 [122] ZANNE, A.E., LÓPEZ-GONZÁLEZ, G., COOMES, D.A., ILIC, J., JANSEN, S., LEWIS, S.L.,
40 MILLER, R.B., SWENSON, N.G., WIEMANN, M.C. & CHAVE, J. 2009. Data from: Towards a
41 worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository, doi:10.5061/dryad.234.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

- 1 [123] En la literatura científica abundan las ecuaciones alométricas destinados para dicho
2 fin (Brown et al. 1989, Brown 1997, West et al. 1999, Baker et al. 2004, Chave et al. 2004,
3 2005; Sierra et al. 2007, Zianis 2008, Navar 2009). Los modelos más simples y prácticos se
4 basan en el diámetro a la altura del pecho (Sierra et al. 2007, Litton & Kauffman 2008,
5 Basuki et al. 2009). Sin embargo, no se recomienda utilizarlos para realizar estimaciones a
6 nivel regional, nacional o global, ya que pueden acarrear una alta incertidumbre, respeto
7 a los resultados que se obtienen con ecuaciones más complejas (West et al. 1999, Zianis
8 2008). Diversos estudios muestran que la estimación puede ser optimizada mediante la
9 inclusión de densidad de la madera (Brown et al. 1989, Baker et al. 2004, Chave et al.
10 2006, Ter Steege et al. 2006, Patiño et al. 2009) en los modelos. Los resultados obtenidos por
11 Álvarez et al. (2012) sustentan esta afirmación. Por esta razón IDEAM (Phillips et al. 2011)
12 optó por utilizar ecuaciones que incluyen como variables explicativas al diámetro y a la
13 densidad de la madera, para realizar la estimación de la biomasa aérea en bosques
14 naturales del país. Sin embargo, la medición de esta última variable es compleja y
15 requiere trabajo adicional, cosa que conduce a incrementos en los costos y el tiempo
16 necesario para la obtener dicha información. Es por esto que se recomienda utilizar
17 valores por defecto que hayan sido publicados en estudios nacionales o internacionales
18 (IPCC 2007).
- 19 [124] ÁLVAREZ, E., DUQUE, A., SALDARRIAGA, J., CABRERA, K., DE LAS SALAS, G., DEL VALLE,
20 I., LEMA, A., MORENO, F., ORREGO, S. & RODRÍGUEZ, L. 2012. Tree above-ground biomass
21 allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology
22 and Management* 267: 297-308.
- 23 [125] CHAVE, J., RÉJOU-MÉCHAIN, M., BÚRQUEZ, A., CHIDUMAYO, E., COLGAN, M.S., DELITTI,
24 W.B.C., DUQUE, A., EID, T., FEARNESIDE, PM., GOODMAN, R.C., HENRY, M., MARTÍNEZ-YRÍZAR,
25 A., MUGASHA, W.A., MULLER-LANDAU, H.C., MENCUCCINI, M., NELSON, B.W., NGOMANDA,
26 A., NOGUEIRA, E.M., ORTIZ-MALAVASSI, E., PÉLISSIER, R., PLOTON, P., RYAN, C.M.,
27 SALDARRIAGA, J.G. & VIEILLEDENT, G. 2014. Improved allometric models to estimate the
28 aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20(10): 3177-3190.
- 29 [126] YEPES, A.P., NAVARRETE, D.A., DUQUE, A.J., PHILLIPS, J.F., CABRERA, K.R., ÁLVAREZ, E.,
30 GARCÍA, M.C. & ORDOÑEZ, M.F. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional
31 de biomasa-Carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios
32 Ambientales (IDEAM). Bogotá D.C., Colombia. 162 pp.
- 33 [127] DANCÉ, J. & KOMETTER, R. 1984. Algunas características dasonómicas en los
34 diferentes estadios del bosque secundario. *Revista Forestal del Perú* 12(1-2): 1-15.
- 35 [128] LÓPEZ, J.L. & TAMARIT, J.C. 2005. Caracterización y dinámica de la estructura
36 diamétrica de un bosque tropical secundario en Campeche, México. *Revista Ciencia
37 Forestal en México* 30(98): 51-71.
- 38 [129] VÍLCHEZ, B. & ROCHA, O. 2006. Estructura de una población del árbol *Peltogyne*
39 *purpurea* (Cesalpiniaceae) en un bosque intervenido de la Península de Osa, Costa Rica.
40 *Revista de Biología Tropical* 54(3): 1019-1029.



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 [130] AYMA-ROMAY, A.I., PADILLA-BARROSO, E. & CALANI, E. 2007. Estructura, composición
2 y regeneración de un bosque de neblina. *Revista Boliviana de Ecología y conservación*
3 *ambiental* 21: 27-42.
- 4 [131] MORALES-SALAZAR, M., VÍLCHEZ-ALVARADO, B., CHAZDON, R.L., ORTEGA-GUTIÉRREZ,
5 M., ORTIZ-MALAVASSI, E. & GUEVARA-BONILLA, M. 2012. Diversidad y estructura horizontal
6 en los bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal*
7 *Mesoamericana* 9(23): 19-28.
- 8 [132] CHAMBERS, J.Q., DOS SANTOS, J., RIBEIRO, R.J. & HIGUCHI, N. 2001. Tree damage,
9 allometric relationships, and aboveground net primary production in a central Amazon
10 forest. *Forest Ecology and Management* 152: 73-84.
- 11 [133] CHAVE, J., CONDIT, R., AGUILAR, S., HERNANDEZ, A., LAO, S. & PEREZ, R. 2004. Error
12 propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions*
13 *Royal Society B* 359: 409-420.
- 14 [134] THOMAS, C.E. & RENNIE, J.C. 1987. Combining Inventory Data for Improved Estimates
15 of Forest Resources. *Southern Journal of Applied Forestry* 11(3): 168-171.
- 16 [135] WESTFALL, J.A., PATTERSON, P.L. & COULSTON, J.W. 2011. Post-stratified estimation:
17 within-strata and total sample size recommendations. *Canadian Journal of Forest Research*
18 41: 1130-1139.
- 19 [136] BECHTOLD, W.A. & PATTERSON, P.L. (Eds.). 2005. The Enhanced Forest Inventory and
20 Analysis Program – National Sampling Design and Estimation Procedures. General
21 Technical Report SRS-80. United States Department of Agriculture, US Forest Service,
22 Southern Research Station. 98 pp.
- 23 [137] Se entiende por "bosque" la cobertura de la Tierra ocupada principalmente por
24 árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que
25 predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura
26 mínima del dosel (in situ) de 5 m al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0
27 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales (coníferas
28 y/o latifoliadas), cultivos de palma, y árboles sembrados para la producción
29 agropecuaria. Esta definición es consecuente con los criterios definidos por la CMNUCC
30 en su decisión 11/COP.7, con la definición adoptada por Colombia ante el Protocolo de
31 Kioto, así como con la definición de la cobertura de bosque natural incluida en la
32 adaptación para Colombia de la leyenda de la metodología CORINE Land Cover (CLC
33 Colombia).
- 34 [138] BRUIJNZEEL, L.A. & VENEKLAAS, E.J. 1998. Climatic conditions and tropical Montane
35 forest productivity: the fog has not lifted yet. *Ecology* 79: 3-9.
- 36 [139] RAICH, J.W., RUSSELL, A.E., KITAYAMA, K., PARTON, W.J. & VITOUSEK, P.M. 2006.
37 Temperature influences carbon accumulation in moist tropical forests. *Ecology* 87: 76-87.
- 38 [140] ALVES, L.F., VIEIRA, S.A., SCARANELLO, M.A., CAMARGO, P.B., SANTOS, F.A.M., JOLY,
39 C.A. & MARTINELLI, L.A. 2010. Forest structure and live aboveground biomass variation



Proyecto
"Consolidación de un Sistema de
Monitoreo de Bosques y Carbono
(SMBYC), como soporte a la Política
Ambiental y de Manejo en
Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). Forest Ecology and
2 Management 260: 679-691.
- 3 [141] Se propone que naciones en vías de desarrollo se pueden catalogar como HFLD
4 (high forest cover-low deforestation, en ingles) cuando la cobertura boscosa se extiende
5 sobre más de la mitad del área de la nación y la tasa de deforestación en menor a 0,22%.
6 Fuente: The REDD desk, [http://theredddesk.org/encyclopaedia/high-forest-cover-low-
8 deforestation-hfld](http://theredddesk.org/encyclopaedia/high-forest-cover-low-
7 deforestation-hfld).
- 8 [142] CARDONA, M.C., ALARCÓN, J.C., ANZOLA, A. & CAJAMARCA, J. 2001. Metodología
9 para la estimación de la biomasa aérea y contenido de carbono en bosques. Instituto de
10 Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM.
- 11 [143] ANAYA, J.A., CHUVIECO, E. & PALACIOS-ORUETA, A. 2009. Aboveground biomass
12 assessment in Colombia: A remote sensing approach. Forest Ecology and Management
13 257: 1237-1246.
- 14
- 15

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 **Tabla 1.** Estratificación de los bosques siguiendo la clasificación bioclimática propuesta
2 por Holdridge et al. (1971), adaptada para Colombia por IDEAM (2005), en la cual la
3 vegetación se estratifica utilizando como variable diagnóstica la evapotranspiración
4 potencial, expresada en función del equilibrio entre la precipitación total y la temperatura
5 media anual.

Tipo de bosque	Temperatura (°C)	Precipitación (mm/año)
Muy seco tropical (ms-T)	>24,0	501-1.000
Seco tropical (s-T)	>24,0	1.001-2.000
Húmedo tropical (h-T)	>24,0	2.001-4.000
Muy húmedo tropical (mh-T)	>24,0	4.001-8.000
Pluvial tropical (p-T)	>24,0	>8.001
Seco premontano (s-PM)	18,0-24,0	501-1.000
Húmedo premontano (h-PM)	18,0-24,0	1.001-2.000
Muy húmedo premontano (mh-PM)	18,0-24,0	2.001-4.000
Pluvial premontano (p-PM)	18,0-24,0	>4.001
Seco montano bajo (s-MB)	12,0-18,0	501-1.000
Húmedo montano bajo (h-MB)	12,0-18,0	1.001-2.000
Muy húmedo montano bajo (mh-MB)	12,0-18,0	2.001-4.000
Pluvial montano bajo (p-MB)	12,0-18,0	>4.001
Húmedo montano (h-M)	6,0-12,0	501-1.000
Muy húmedo montano (mh-M)	6,0-12,0	1.001-2.000
Pluvial montano (p-M)	6,0-12,0	>2.001

6

7

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 **Tabla 2.** Estratificación de los bosques siguiendo la clasificación bioclimática de Caldas-
2 Lang adaptada para Colombia por IDEAM (2005), en la cual la vegetación se estratifica
3 en relación con la temperatura media anual y el cociente resultante de dividir la
4 precipitación total anual por la temperatura media anual. Aunque la clasificación no lo
5 considera, se observa que el bosque puede extenderse en las franjas de páramo, en
6 particular en lugares en donde la temperatura es mayor a 6°C.

Vegetación potencial	Temperatura (°C)	Factor Lang (P/T)
Bosque cálido desértico (CD)	>24,0	0,0-20,0
Bosque cálido árido (CA)	>24,0	20,1-40,0
Bosque cálido semiárido (Csa)	>24,0	40,1-60,0
Bosque cálido semihúmedo (Csh)	>24,0	60,1-100,0
Bosque cálido húmedo (CH)	>24,0	100,1-160,0
Bosque cálido superhúmedo (CSH)	>24,0	>160,0
Bosque templado árido (TA)	17,5-23,9	20,1-40,0
Bosque templado semiárido (Tsa)	17,5-23,9	40,1-60,0
Bosque templado semihúmedo (Tsh)	17,5-23,9	60,1-100,0
Bosque templado húmedo (TH)	17,5-23,9	100,1-160,0
Bosque templado superhúmedo (TSH)	17,5-23,9	>160,0
Bosque frío árido (FA)	12,0-17,4	20,1-40,0
Bosque frío semiárido (Fsa)	12,0-17,4	40,1-60,0
Bosque frío semihúmedo (Fsh)	12,0-17,4	60,1-100,0
Bosque frío húmedo (FH)	12,0-17,4	100,1-160,0
Bosque frío superhúmedo (FSH)	12,0-17,4	>160,0
Páramo bajo semiárido (Pbsa)	7,0-11,9	40,1-60,0
Páramo bajo semihúmedo (PBsh)	7,0-11,9	60,1-100,0
Páramo bajo húmedo (PBH)	7,0-11,9	100,1-160,0
Páramo bajo superhúmedo (PBSH)	7,0-11,9	>160,0
Páramo alto húmedo (PAH)	1,5-6,9	100,1-160,0
Páramo alto superhúmedo (PASH)	1,5-6,9	>160,0

7

8



Proyecto
 "Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia"

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN
 MEMORIA TÉCNICA

1 **Tabla 3.** Estratificación de los bosques siguiendo la clasificación bioclimática propuesta
 2 por Martonne (1923), adaptada para Colombia por IDEAM (2005), en la cual la
 3 vegetación se estratifica empleando un índice de aridez que se calcula a partir de la
 4 precipitación total y temperatura media anual, la precipitación del mes más seco del año
 5 y la temperatura registrada en dicho mes.

Tipo de bosque	Índice aridez
Árido (F)	0,0-5,0
Semiárido (E)	5,1-10,0
Subhúmedo (D)	10,1-20,0
Húmedo (C)	20,1-35,0
Lluvioso estacional (B)	35,1-100,0
Lluvioso (A)	>100,0

6
7

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

1 **Tabla 4.** Ecuaciones alométricas desarrolladas por Chave et al. (2005), Álvarez et al. (2012)
2 y Chave et al. (2014), que fueron utilizadas para estimar la biomasa aérea para los
3 bosques de Colombia. En los modelos la biomasa aérea (BA) se expresa en función del
4 diámetro normal (D) de los individuos y la densidad básica de la madera (ρ).

Autor	Tipo de bosque	Ecuación alométrica
Chave et al. 2005	Seco	$BA = \rho \exp\left(-0,667 + (1,784 \ln(D)) + (0,207 (\ln(D))^2) - (0,028 (\ln(D))^3)\right)$
	Húmedo	$BA = \rho \exp\left(-1,499 + (2,148 \ln(D)) + (0,207 (\ln(D))^2) - (0,028 (\ln(D))^3)\right)$
	Pluvial	$BA = \rho \exp\left(-1,239 + (1,980 \ln(D)) + (0,207 (\ln(D))^2) - (0,028 (\ln(D))^3)\right)$
Álvarez et al. 2012	Seco tropical	$BA = \exp\left(3,652 - (1,697 \ln(D)) + (1,169 (\ln(D))^2) - (0,122 (\ln(D))^3) + (1,285 \ln(\rho))\right)$
	Húmedo tropical	$BA = \exp\left(2,406 - (1,289 \ln(D)) + (1,169 (\ln(D))^2) - (0,122 (\ln(D))^3) + (0,445 \ln(\rho))\right)$
	Pluvial tropical	$BA = \exp\left(1,662 - (1,114 \ln(D)) + (1,169 (\ln(D))^2) - (0,122 (\ln(D))^3) + (0,331 \ln(\rho))\right)$
	Húmedo premontano	$BA = \exp\left(1,960 - (1,098 \ln(D)) + (1,169 (\ln(D))^2) - (0,122 (\ln(D))^3) + (1,061 \ln(\rho))\right)$
	Pluvial montano bajo	$BA = \exp\left(1,836 - (1,255 \ln(D)) + (1,169 (\ln(D))^2) - (0,122 (\ln(D))^3) - (0,222 \ln(\rho))\right)$
Pluvial montano	$BA = \exp\left(3,130 - (1,536 \ln(D)) + (1,169 (\ln(D))^2) - (0,122 (\ln(D))^3) + (1,767 \ln(\rho))\right)$	
Chave et al. 2014	Todos los tipos	$BA = \exp\left(-1,802 - (0,976 E) + (0,976 \ln(\rho)) + (2,673 \ln(D)) - (0,029 (\ln(D))^2)\right)$

5

6

75°0'0"W

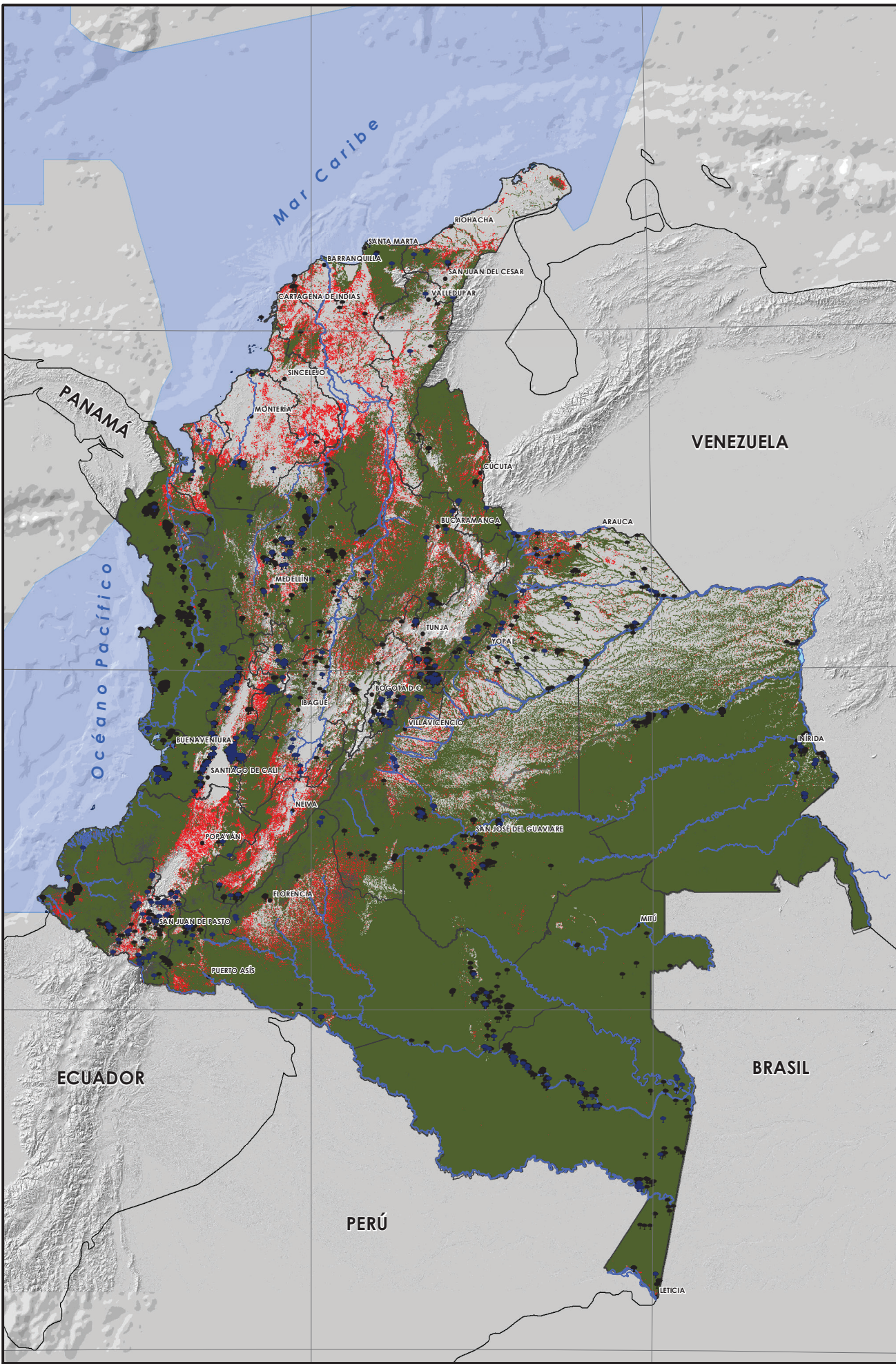
70°0'0"W

10°0'0"N

5°0'0"N

0°0'0"N

5°0'0"S



75°0'0"W

70°0'0"W

Información general



REPÚBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS)

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM)

Proyecto "Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia"

Aportes técnicos del SMBYC a la propuesta de preparación para REDD+ de Colombia: datos de actividad y factores de emisión

2014

Título salida gráfica

Figura 1.

Distribución de las parcelas compiladas en el marco del proyecto "Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono, como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia" para estimar la biomasa aérea de los bosques del país

Leyenda

- Parcelas excluidas del análisis
- Parcelas incluidas en el análisis
- Cobertura boscosa año 2013
- Sin información año 2013
- Deforestación 1990-2013

Convenciones / Límites

- Límites departamentales
- Límite marino
- Cuerpos de agua

Mapa de localización



AMÉRICA

Escala 1 : 8.500.000

Información de Referencia

PROYECCIÓN	UTM
DATUM	WGS - 84
ZONA	18 N
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	75° 00' 00" Long. Oeste
COORDENADAS PLANAS	500.000 m Norte 0 m Este

A partir de información: IDEAM, MADS, Fundación Moore con base en cartografía básica IGAC 2007

Salida gráfica elaborada por: Juan Fernando Phillips Bernal, PhD (c)

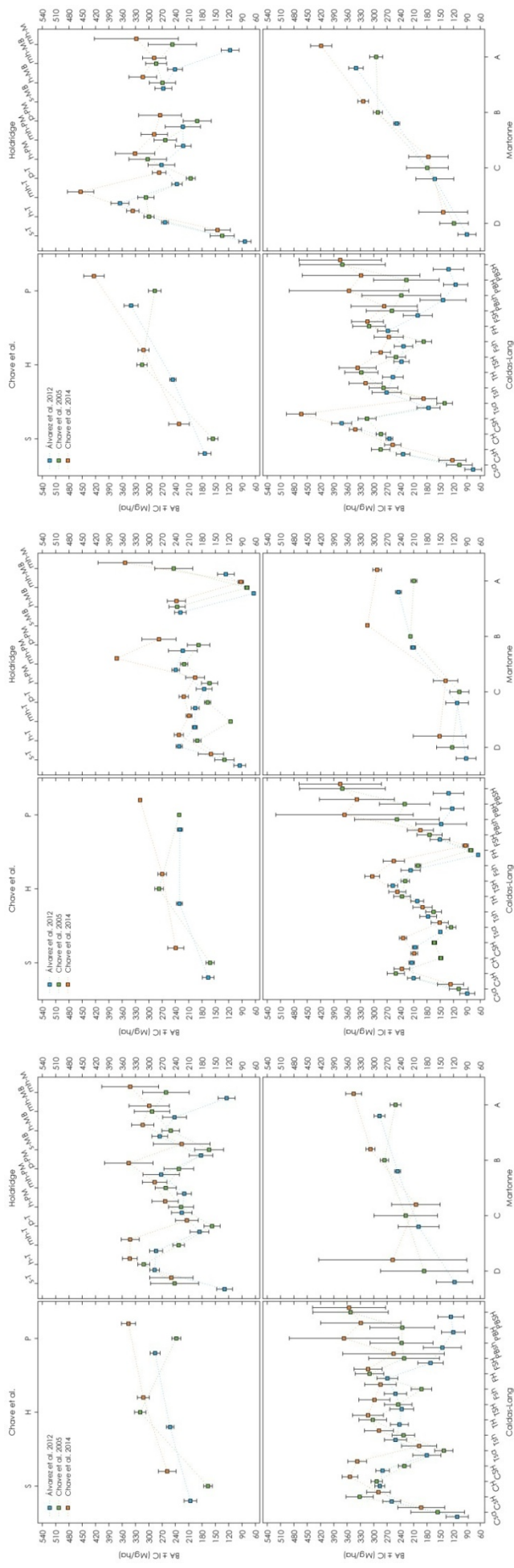
APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA

 PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y

 FACTORES DE EMISIÓN

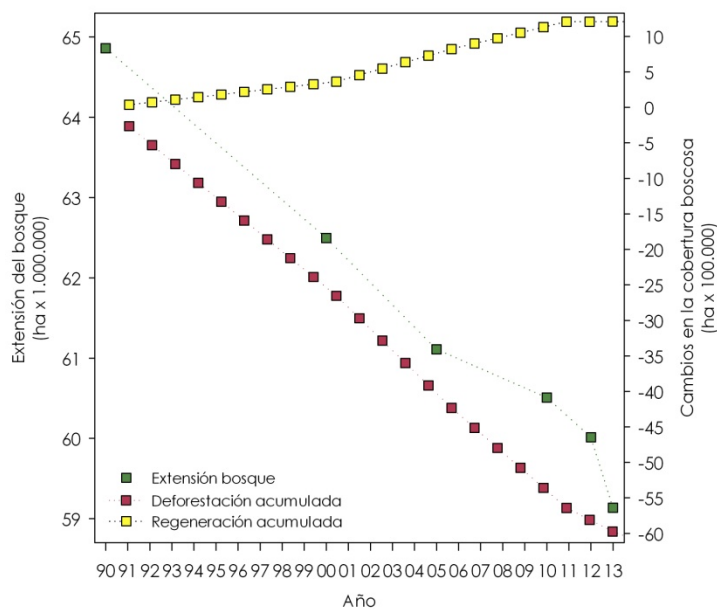
MEMORIA TÉCNICA

Figura 2. Distribución de la biomasa aérea empleando diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas. Se muestra lo obtenido bajo la aproximación de la media aritmética (izquierda), el inverso de la varianza (centro) y el estimador de razón (derecha).



APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

1 **Figura 3.** Extensión del bosque en Colombia y cambios acumulados ocurridos durante el
2 periodo 1990-2013.

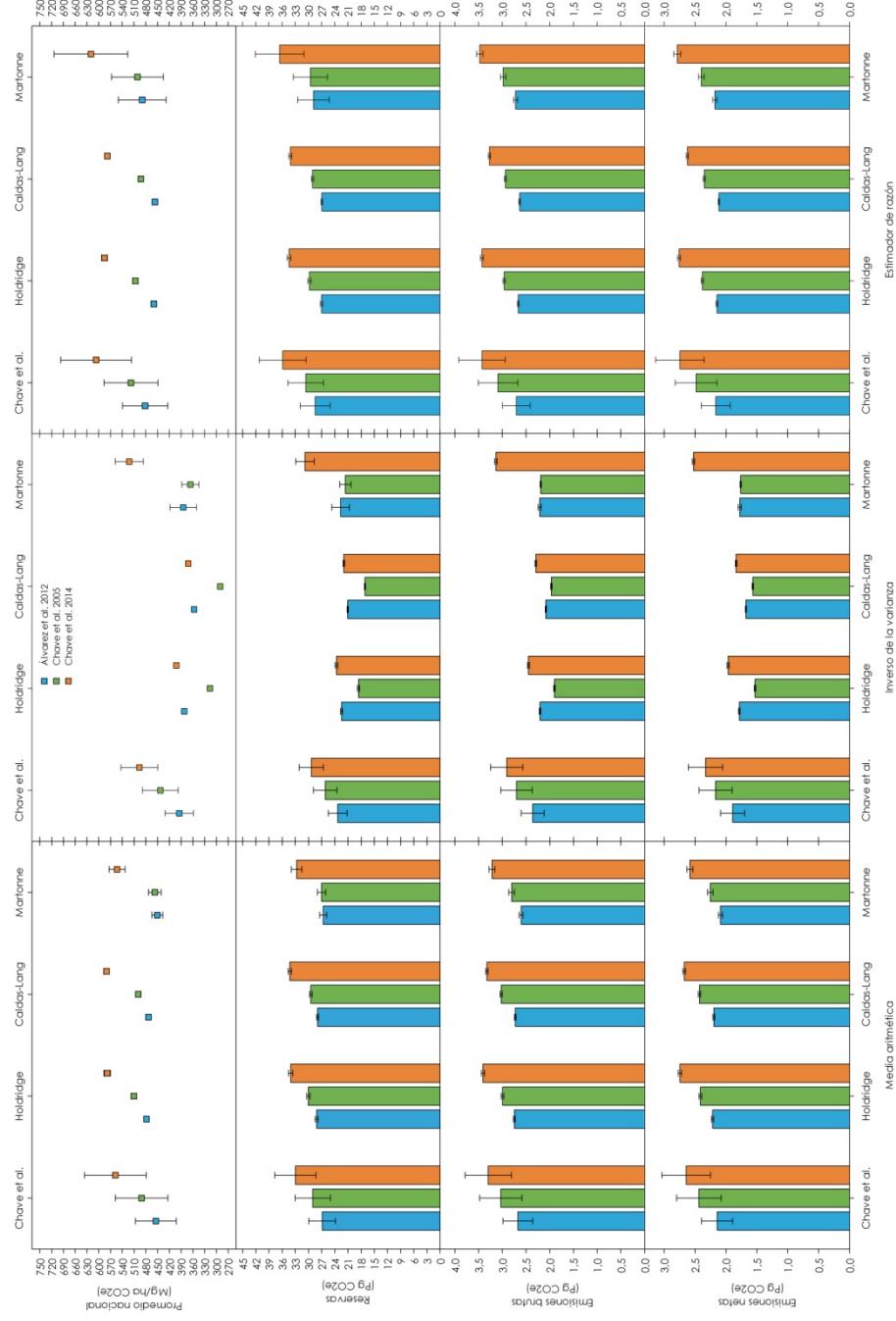


3
4

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

Figura 4. Reservas para el año 2013, emisiones brutas y emisiones netas de CO₂e asociadas con el cambio en la extensión de las coberturas boscosas en Colombia durante el periodo 1990-2013, estimadas a partir de diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas.



APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 **Anexo 1.** Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de
2 estratificación de Chave et al. (2005), estimada a partir del uso de diferentes
3 aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas. La biomasa aérea
4 y el intervalo de confianza se presentan en unidades Mg/ha, mientras que el error de
5 muestreo se expresa en porcentaje.

Bosque	Modelo	Media aritmética			Inverso varianza			Estimador razón		
		\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h
Seco	Chave I	166,6	9,7	3,0	161,8	9,4	3,0	155,7	11,5	3,8
	Álvarez	206,3	14,2	3,5	166,2	13,1	4,0	173,8	14,0	4,1
	Chave II	258,7	19,9	3,9	239,3	18,2	3,9	232,0	23,2	5,1
Húmedo	Chave I	319,3	12,7	2,0	277,0	9,6	1,8	315,2	11,5	1,9
	Álvarez	252,2	8,4	1,7	231,0	6,6	1,5	245,9	7,2	1,5
	Chave II	312,3	13,3	2,2	270,0	9,7	1,8	311,9	12,5	2,0
Pluvial	Chave I	238,1	10,3	2,2	231,5	0,9	0,2	286,6	14,1	2,5
	Álvarez	285,9	11,2	2,0	229,9	6,0	1,3	339,9	15,7	2,4
	Chave II	345,7	16,0	2,4	319,6	3,6	0,6	423,6	23,0	2,8

6

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 **Anexo 2.** Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de
2 estratificación de Holdridge, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones para
3 calcular los promedios y ecuaciones alométricas. La biomasa aérea y el intervalo de
4 confianza se presentan en unidades Mg/ha, mientras que el error de muestreo se expresa
5 en porcentaje.

Bosque	Modelo	Media aritmética			Inverso varianza			Estimador razón		
		\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h
Seco tropical	Chave I	241,9	54,2	11,3	129,7	22,0	8,5	134,7	27,0	10,1
	Álvarez	129,3	17,9	7,0	95,1	13,3	7,0	83,6	13,8	8,3
	Chave II	249,3	48,9	9,9	160,1	28,7	9,0	145,1	28,7	10,0
Húmedo tropical	Chave I	311,4	13,3	2,2	190,8	8,4	2,2	299,6	11,4	1,9
	Álvarez	287,0	10,9	1,9	231,7	7,2	1,6	263,6	7,8	1,5
	Chave II	342,9	16,6	2,5	232,3	10,2	2,2	336,2	14,1	2,1
Muy húmedo tropical	Chave I	232,7	12,9	2,8	115,9	2,4	1,0	306,5	18,2	3,0
	Álvarez	283,8	14,7	2,6	196,5	5,5	1,4	365,0	20,3	2,8
	Chave II	342,0	20,2	3,0	209,2	6,9	1,7	453,7	29,7	3,3
Pluvial tropical	Chave I	157,5	18,2	5,8	167,5	7,2	2,2	205,6	10,1	2,5
	Álvarez	185,7	21,1	5,7	195,4	8,9	2,3	236,8	11,7	2,5
	Chave II	214,2	25,6	6,0	221,3	10,5	2,4	276,8	15,2	2,8
Húmedo premontano	Chave I	227,4	28,3	6,3	163,1	18,2	5,7	302,5	42,3	7,1
	Álvarez	225,8	23,3	5,2	175,3	17,8	5,1	271,5	30,1	5,6
	Chave II	263,4	29,8	5,7	195,6	21,1	5,5	331,1	44,4	6,8
Muy húmedo premontano	Chave I	262,1	23,9	4,6	220,3	8,2	1,9	263,0	25,3	4,9
	Álvarez	220,1	16,1	3,7	239,5	8,9	1,9	222,5	17,6	4,0
	Chave II	286,9	27,5	4,9	372,3	4,1	0,6	287,8	29,7	5,2
Pluvial premontano	Chave I	232,3	33,4	7,1	187,9	25,4	6,6	191,0	31,7	8,1
	Álvarez	272,1	41,0	7,5	223,3	32,6	7,1	223,3	39,8	8,7
	Chave II	345,2	54,7	7,8	277,2	38,5	6,8	274,6	48,4	8,6
Seco montano bajo	Chave I	164,1	32,8	8,8	-	-	-	-	-	-
	Álvarez	182,4	26,7	6,5	-	-	-	-	-	-
	Chave II	225,9	63,9	12,5	-	-	-	-	-	-

6

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

1 **Anexo 2.** Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de
2 estratificación de Holdridge, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones para
3 calcular los promedios y ecuaciones alométricas. La biomasa aérea y el intervalo de
4 confianza se presentan en unidades Mg/ha, mientras que el error de muestreo se expresa
5 en porcentaje.

6 (Continuación)

Bosque	Modelo	Media aritmética			Inverso varianza			Estimador razón		
		\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h
Húmedo montano bajo	Chave I	250,7	19,9	4,0	236,2	18,2	3,9	269,2	29,6	5,6
	Álvarez	275,4	17,7	3,3	228,8	13,0	2,9	267,4	19,1	3,6
	Chave II	313,8	24,9	4,0	237,8	20,5	4,4	313,5	31,3	5,1
Muy húmedo montano bajo	Chave I	292,8	39,9	6,9	79,0	4,7	3,1	283,4	23,7	4,2
	Álvarez	242,1	27,0	5,7	63,6	1,4	1,1	241,1	17,0	3,6
	Chave II	299,1	45,3	7,7	92,5	6,1	3,3	287,9	26,3	4,6
Muy húmedo montano	Chave I	261,4	52,4	10,1	243,8	42,7	8,8	247,0	54,3	11,0
	Álvarez	124,8	19,2	7,7	126,4	18,9	7,5	116,9	19,9	8,5
	Chave II	342,0	64,1	9,4	353,5	60,8	8,6	328,1	94,7	14,5

8
9

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

1 **Anexo 3.** Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de
2 estratificación de Caldas-Lang, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones
3 para calcular los promedios y ecuaciones alométricas. La biomasa aérea y el intervalo de
4 confianza se presentan en unidades Mg/ha, mientras que el error de muestreo se expresa
5 en porcentaje.

Bosque	Modelo	Media aritmética			Inverso varianza			Estimador razón		
		\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h
Cálido semiárido	Chave I	155,9	60,4	19,2	108,5	21,3	9,7	107,0	29,0	13,4
	Álvarez	112,0	25,0	11,1	89,3	17,0	9,5	76,0	19,0	12,4
	Chave II	193,0	52,9	13,6	126,9	29,4	11,5	122,8	30,6	12,4
Cálido semihúmedo	Chave I	331,8	30,8	4,7	250,4	19,4	3,9	284,5	20,8	3,7
	Álvarez	259,5	20,1	3,9	210,2	13,9	3,4	233,8	15,3	3,3
	Chave II	289,5	26,7	4,7	236,6	17,7	3,8	257,3	18,5	3,7
Cálido húmedo	Chave I	293,4	12,7	2,2	149,0	4,9	1,7	283,8	10,8	1,9
	Álvarez	286,3	11,2	2,0	214,4	6,1	1,4	264,8	7,6	1,5
	Chave II	353,6	17,5	2,5	208,8	7,7	1,9	341,4	13,7	2,0
Cálido superhúmedo	Chave I	231,0	13,5	3,0	163,4	5,2	1,6	315,2	20,2	3,3
	Álvarez	280,1	15,4	2,8	206,9	6,0	1,5	372,4	22,6	3,1
	Chave II	337,2	21,1	3,2	233,8	8,3	1,8	463,5	33,1	3,6
Templado semiárido	Chave I	142,0	20,4	7,2	125,7	10,7	4,3	140,2	17,5	6,3
	Álvarez	180,3	31,6	8,8	150,0	3,2	1,1	176,6	26,2	7,4
	Chave II	197,7	39,5	10,0	151,4	19,2	6,4	187,9	30,0	8,0
Templado semihúmedo	Chave I	233,0	25,5	5,5	165,0	17,7	5,4	277,9	32,3	5,9
	Álvarez	250,9	25,1	5,1	177,4	18,8	5,4	271,0	32,7	6,1
	Chave II	288,3	32,7	5,7	189,9	21,6	5,8	318,3	37,4	6,0
Templado húmedo	Chave I	302,2	31,1	5,2	236,3	19,0	4,1	327,9	37,4	5,8
	Álvarez	242,1	20,3	4,3	202,0	14,4	3,6	256,9	23,3	4,6
	Chave II	312,9	34,7	5,6	246,8	19,2	4,0	336,4	41,9	6,3
Templado superhúmedo	Chave I	244,9	31,1	6,4	229,1	9,5	2,1	250,1	22,1	4,5
	Álvarez	236,9	26,7	5,7	257,1	11,0	2,2	237,4	17,3	3,7
	Chave II	298,5	35,0	6,0	303,4	16,9	2,8	284,4	22,0	3,9

6

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN
MEMORIA TÉCNICA

1 **Anexo 3.** Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de
2 estratificación de Caldas-Lang, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones
3 para calcular los promedios y ecuaciones alométricas. La biomasa aérea y el intervalo de
4 confianza se presentan en unidades Mg/ha, mientras que el error de muestreo se expresa
5 en porcentaje.

6 (Continuación)

Bosque	Modelo	Media aritmética			Inverso varianza			Estimador razón		
		\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h
Frio semihúmedo	Chave I	192,4	23,2	6,1	200,2	6,3	1,6	187,5	18,0	4,9
	Álvarez	251,0	25,3	5,1	216,8	21,7	5,1	233,0	20,8	4,5
	Chave II	284,8	35,6	6,3	254,8	24,1	4,8	266,1	32,7	6,2
Frio húmedo	Chave I	309,5	32,3	5,3	81,3	4,9	3,1	310,4	37,0	6,1
	Álvarez	269,3	23,5	4,4	64,7	1,4	1,1	268,2	23,2	4,4
	Chave II	312,9	31,6	5,1	93,4	6,3	3,4	314,1	35,9	5,8
Frio superhúmedo	Chave I	231,6	79,6	17,3	174,2	28,5	8,2	259,1	58,0	11,3
	Álvarez	172,1	28,7	8,4	151,0	22,1	7,4	200,8	32,7	8,2
	Chave II	255,3	114,3	22,5	195,0	29,4	7,6	276,5	74,7	13,6
Páramo bajo semihúmedo	Chave I	237,3	71,0	13,8	247,8	95,4	17,5	237,9	89,0	17,0
	Álvarez	145,5	42,7	13,6	148,0	57,1	17,5	144,0	51,8	16,3
	Chave II	367,0	123,1	15,5	365,8	154,8	19,2	355,5	134,8	17,2
Páramo bajo húmedo	Chave I	235,8	72,5	15,3	230,2	56,9	12,3	226,5	73,9	16,2
	Álvarez	120,8	26,4	10,9	123,1	26,1	10,5	115,5	27,3	11,7
	Chave II	329,1	90,5	13,7	338,0	84,4	12,4	328,6	132,4	20,0
Páramo bajo superhúmedo	Chave I	352,2	84,9	11,3	370,7	96,7	12,0	370,7	96,7	12,0
	Álvarez	126,3	29,3	10,9	131,5	34,5	12,0	131,5	34,5	12,0
	Chave II	355,6	82,2	10,8	375,5	92,9	11,3	375,5	92,9	11,3

7
8

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE
BOSQUES Y CARBONO A LA PROPUESTA DE PREPARACIÓN
PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

- 1 **Anexo 4.** Biomasa aérea de los bosques de Colombia empleando la leyenda de
2 estratificación de Martonne, estimada a partir del uso de diferentes aproximaciones para
3 calcular los promedios y ecuaciones alométricas. La biomasa aérea y el intervalo de
4 confianza se presentan en unidades Mg/ha, mientras que el error de muestreo se expresa
5 en porcentaje.

Bosque	Modelo	Media aritmética			Inverso varianza			Estimador razón		
		\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h	\bar{y}_h	$IC_{\bar{y}_h}$	SE_h
Subhúmedo	Chave I	186,5	98,0	23,6	-	-	-	-	-	-
	Álvarez	118,0	40,9	15,5	-	-	-	-	-	-
	Chave II	257,2	166,6	29,1	-	-	-	-	-	-
Húmedo	Chave I	227,8	71,5	15,8	107,1	21,5	10,1	179,1	47,1	13,2
	Álvarez	198,9	46,1	11,7	112,1	25,7	11,5	162,5	42,7	13,2
	Chave II	204,9	54,7	13,4	138,1	27,7	10,1	176,8	44,3	12,6
Lluvioso estacional	Chave I	275,9	9,2	1,7	217,3	0,9	0,2	290,8	10,1	1,8
	Álvarez	246,1	6,7	1,4	211,4	5,7	1,4	248,3	6,8	1,4
	Chave II	307,5	10,1	1,7	314,3	3,6	0,6	323,7	12,1	1,9
Lluvioso	Chave I	250,8	12,1	2,5	209,5	6,7	1,6	294,6	14,7	2,5
	Álvarez	286,8	12,3	2,2	244,3	6,7	1,4	339,9	16,4	2,5
	Chave II	345,1	17,9	2,6	292,3	9,9	1,7	418,5	23,9	2,9

- 6
7
8

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA
PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

Anexo 5. Biomasa aérea, reservas actuales, emisiones brutas y emisiones netas de CO₂e asociadas con el cambio en la extensión de las coberturas boscosas en Colombia durante el periodo 1990-2013, estimadas a partir de diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas.

Leyenda	Parámetro	Media aritmética		Inverso varianza		Estimador razón				
		Chave I	Álvarez	Chave II	Chave I	Álvarez	Chave I	Chave II		
Provincias	\bar{y}_f (Mg/ha)	284,57	263,52	323,33	256,72	228,79	287,71	300,04	279,12	351,60
	$IC_{\bar{y}_f}$ (Mg/ha)	38,95	30,06	45,69	26,39	20,94	27,24	39,76	33,47	52,38
	SE_f (%)	1,08	0,90	1,11	0,81	0,72	0,75	1,04	0,94	1,17
	\hat{y}_f (Pg CO ₂ e)	29,03	26,88	32,98	26,19	23,34	29,35	30,60	28,47	35,86
	$IC_{\hat{y}_f}$ (Pg CO ₂ e)	3,97	3,07	4,66	2,69	2,14	2,78	4,06	3,41	5,34
	$\hat{y}_{def.}$ (Pg CO ₂ e)	3,03	2,67	3,30	2,70	2,36	2,91	3,09	2,70	3,43
	$IC_{\hat{y}_{def.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,45	0,31	0,49	0,33	0,24	0,34	0,42	0,29	0,49
	$\hat{y}_{reg.}$ (Pg CO ₂ e)	0,60	0,53	0,65	0,53	0,47	0,58	0,61	0,54	0,68
	$IC_{\hat{y}_{reg.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,09	0,06	0,09	0,06	0,05	0,07	0,08	0,06	0,10
	$\hat{y}_{net.}$ (Pg CO ₂ e)	2,44	2,14	2,64	2,17	1,89	2,33	2,48	2,17	2,74
	$IC_{\hat{y}_{net.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,36	0,25	0,39	0,27	0,19	0,28	0,34	0,24	0,39

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA
PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

Anexo 5. Biomasa aérea, reservas actuales, emisiones brutas y emisiones netas de CO₂e asociadas con el cambio en la extensión de las coberturas boscosas en Colombia durante el periodo 1990-2013, estimadas a partir de diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas.

(Continuación)

Leyenda	Parámetro	Media aritmética		Inverso varianza		Estimador razón	
		Chave I	Chave II	Chave I	Chave II	Chave I	Chave II
Holdridge	\bar{y}_f (Mg/ha)	295,91	277,35	183,52	221,38	293,59	266,38
	$IC_{\bar{y}_f}$ (Mg/ha)	3,80	3,12	2,55	2,18	3,57	2,50
	$SE_{\bar{y}_f}$ (%)	0,57	0,50	0,60	0,43	0,53	0,41
	\hat{y}_f (Pg CO ₂ e)	30,04	28,15	18,62	22,46	29,78	27,02
	$IC_{\hat{y}_f}$ (Pg CO ₂ e)	0,39	0,32	0,26	0,22	0,36	0,25
	$\hat{y}_{def.}$ (Pg CO ₂ e)	2,99	2,75	1,90	2,21	2,96	2,66
	$IC_{\hat{y}_{def.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
	$\hat{y}_{reg.}$ (Pg CO ₂ e)	0,58	0,53	0,37	0,42	0,58	0,52
	$IC_{\hat{y}_{reg.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$\hat{y}_{net.}$ (Pg CO ₂ e)	2,41	2,22	1,53	1,78	2,38	2,14
$IC_{\hat{y}_{net.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA
PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

Anexo 5. Biomasa aérea, reservas actuales, emisiones brutas y emisiones netas de CO₂e asociadas con el cambio en la extensión de las coberturas boscosas en Colombia durante el periodo 1990-2013, estimadas a partir de diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas.

(Continuación)

Leyenda	Parámetro	Media aritmética		Inverso varianza		Estimador razón		
		Chave I	Chave II	Chave I	Chave II	Chave I	Chave II	
Caldas-Lang	\bar{y}_f (Mg/ha)	289,41	274,39	168,26	206,81	285,47	264,86	335,13
	$IC_{\bar{y}_f}$ (Mg/ha)	2,94	2,46	1,30	1,38	2,47	1,78	3,06
	$SE_{\bar{y}_f}$ (%)	0,47	0,41	0,35	0,31	0,40	0,31	0,42
	\hat{y}_f (Pg CO ₂ e)	29,47	27,94	17,13	21,06	29,07	26,97	34,12
	$IC_{\hat{y}_f}$ (Pg CO ₂ e)	0,30	0,25	0,13	0,14	0,25	0,18	0,31
	$\hat{y}_{def.}$ (Pg CO ₂ e)	3,02	2,73	1,97	2,08	2,93	2,63	3,27
	$IC_{\hat{y}_{def.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
	$\hat{y}_{reg.}$ (Pg CO ₂ e)	0,60	0,53	0,40	0,41	0,58	0,52	0,65
	$IC_{\hat{y}_{reg.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$\hat{y}_{net.}$ (Pg CO ₂ e)	2,43	2,20	1,57	1,68	2,35	2,11	2,62
$IC_{\hat{y}_{net.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	

APORTES TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO A LA
PROPUESTA DE PREPARACIÓN PARA REDD+ DE COLOMBIA: DATOS DE ACTIVIDAD Y
FACTORES DE EMISIÓN

MEMORIA TÉCNICA

Anexo 5. Biomasa aérea, reservas actuales, emisiones brutas y emisiones netas de CO₂e asociadas con el cambio en la extensión de las coberturas boscosas en Colombia durante el periodo 1990-2013, estimadas a partir de diferentes leyendas de estratificación, aproximaciones para calcular los promedios y ecuaciones alométricas.

(Continuación)

Leyenda	Parámetro	Media aritmética		Inverso varianza		Estimador razón					
		Chave I	Alvarez	Chave II	Chave I	Alvarez	Chave II	Chave I	Alvarez	Chave II	
Martonne	\bar{y}_f (Mg/ha)	264,91	261,34	320,74	212,38	222,94	302,66	290,51	283,57	359,28	
	$IC_{\bar{y}_f}$ (Mg/ha)	9,27	8,01	11,82	12,68	19,62	20,64	38,34	35,29	54,46	
	SE_f (%)	0,81	0,71	0,86	0,47	0,69	0,54	1,04	0,98	1,19	
	\hat{y}_f (Pg CO ₂ e)	27,01	26,65	32,71	21,61	22,69	30,80	29,56	28,86	36,56	
	$IC_{\hat{y}_f}$ (Pg CO ₂ e)	0,94	0,82	1,20	1,29	2,00	2,10	3,90	3,59	5,54	
	$\hat{y}_{def.}$ (Pg CO ₂ e)	2,80	2,60	3,22	2,19	2,21	3,14	2,98	2,72	3,47	
	$IC_{\hat{y}_{def.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,06	0,04	0,06	0,01	0,03	0,02	0,06	0,04	0,07	
	$\hat{y}_{reg.}$ (Pg CO ₂ e)	0,55	0,51	0,63	0,43	0,44	0,61	0,59	0,54	0,69	
	$IC_{\hat{y}_{reg.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	$\hat{y}_{net.}$ (Pg CO ₂ e)	2,25	2,09	2,58	1,76	1,78	2,52	2,40	2,18	2,79	
$IC_{\hat{y}_{net.}}$ (Pg CO ₂ e)	0,05	0,03	0,05	0,01	0,03	0,02	0,05	0,03	0,06		



PROYECTO
CONSOLIDACIÓN DE UN
SISTEMA DE MONITOREO
DE BOSQUES Y CARBONO
(SMBYC), COMO
SOPORTE A LA POLÍTICA
AMBIENTAL Y DE MANEJO
EN COLOMBIA