

BTR 1

ANEXO 2

ANEXO TÉCNICO DE ACTIVIDADES REDD+
EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2018 – 2022
DE CONFORMIDAD CON LO ESTABLECIDO EN LA DECISIÓN 14/CP.19

RESULTADOS ALCANZADOS POR
COLOMBIA EN LA REDUCCIÓN
DE EMISIONES POR DEFORESTACIÓN
EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL
PARA LOS PAGOS BASADOS EN
LOS RESULTADOS DE REDD+
PRIMER INFORME BIENAL DE
TRANSPARENCIA BTR 1 DE COLOMBIA



ANEXO TÉCNICO DE ACTIVIDADES REDD+ EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2018 – 2022 DE CONFORMIDAD CON LO ESTABLECIDO EN LA DECISIÓN 14/CP. 19
RESULTADOS ALCANZADOS POR COLOMBIA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES POR DEFORESTACIÓN EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL PARA LOS PAGOS
BASADOS EN LOS RESULTADOS DE REDD+ PRIMER INFORME BIENAL DE TRANSPARENCIA BTR 1 DE COLOMBIA

AUTORES

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam
Claudia Olarte
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental – IFN Edersson
Cabrera Montenegro
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental – SMByC
Gustavo Galindo
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental – SMByC
José Julián González,
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental – SMByC
Leonardo Alfredo Pineda Pardo
Subdirección de Estudios Ambientales
Lizet Robayo
Subdirección de Estudios Ambientales

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Fredy Alejandro Gómez
Beatriz Helena Villanueva

COLABORADORES

Adriana Yepes
FAO, Halting Deforestation, Degradation and Emissions Team (HaltDDEf)
- División Forestal
Javier Aristizábal
FAO, Asistencia Técnica Programa ONU-REDD

Cita sugerida

IDEAM - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2024). Anexo técnico de actividades REDD+ en Colombia para el período 2018 – 2022. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – – Con el apoyo del Programa ONU-REDD Colombia.

Contenido

1

INTRODUCCIÓN / P. 6

2

SINOPSIS DEL NIVEL DE REFERENCIA NACIONAL DE EMISIONES FORESTALES (NREF) 2018-2022 / P. 7

2.1 Ajuste por circunstancias nacionales / P. 9

3

RESULTADOS LOGRADOS POR REDD+ PARA EL PERIODO 2018-2022, CONSISTENTE CON EL NREF PRESENTADO EN 2020 PARA TODO EL TERRITORIO NACIONAL / P. 11

4

CONSISTENCIA Y REPLICABILIDAD METODOLOGICA DE LOS RESULTADOS LOGRADOS / P. 13

4.1 Actividades REDD+ incluidas / P. 14

4.2 Sumideros incluidos / P. 14

4.3 Gases considerados / P. 14

4.4 Monitoreo de los datos de actividad / P. 14

4.5 Factores de emisión / P. 15

4.6 Posestratificación / P. 16

4.7 Estimación de la biomasa aérea de los individuos / P. 17

4.8 Estimación de la biomasa aérea por hectárea / P. 17

4.9 Estimación de la biomasa subterránea por hectárea / P. 18

4.10 Estimación de la biomasa total y carbono asociado por hectárea / P. 18

4.11 Estimación del contenido de carbono en el suelo / P. 18

4.12 Factores de emisión por bioma / P. 19

4.13 Estimación de las emisiones brutas / P. 21

5

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS / P. 22

6

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO DE COLOMBIA: SMByC / P. 25

7

DESCRIPCIÓN DE LOS ROLES Y RESPONSABILIDADES PARA EL MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN (MRV) / P. 27

8

INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LOS RESULTADOS / P. 30

9

DESCRIPCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA DECISIÓN 4/CP.15 PÁRRAFO 1 (C) Y (D) / P. 31

9.1 Uso de las orientaciones y directrices del IPCC / P. 31

9.2 Establecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques de acuerdo a las circunstancias y capacidades nacionales / P. 32

10

REFERENCIAS / P. 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Emisiones anuales promedio derivadas del periodo de referencia 2008-2017 / **P. 9**

Tabla 2.2. Deforestación proyectada para el periodo 2018-2022 con ajuste por circunstancias nacionales modeladas / **P. 10**

Tabla 3.1. Resultados de emisiones reducidas frente al NREF 2018-2022 / **P. 12**

Tabla 4.1. Factores de emisión de la biomasa total para cada bioma / **P. 20**

Tabla 4.2. Factores de emisión del carbono orgánico del suelo (COS) para cada bioma / **P. 20**

Tabla 5.1. Cálculo de la incertidumbre nacional / **P. 24**

Tabla 7.1. Roles y responsabilidades para el monitoreo, reporte y verificación de resultados / **P. 28**

Tabla 7.2. Actores, procesos y roles del esquema operativo para reporte de datos de actividad por el SMByC / **P. 29**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de las regiones naturales de Colombia / **P. 8**

Figura 2.2. NREF nacional para el periodo 2018-2022 / **P. 10**

Figura 3.1. Resultados estimados para el periodo 2018-2022 frente al NREF nacional / **P. 12**

Figura 4.1. Esquema del procesamiento metodológico aplicado en el procesamiento digital de imágenes V.2 / **P. 15**

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1. Cálculo de las emisiones anuales promedio para el periodo de referencia / **P. 9**

Ecuación 2.2. Cálculo de la deforestación proyectada por el modelo logístico / **P. 9**

Ecuación 2.3. Cálculo del NREF con ajuste por circunstancias nacionales / **P. 10**

Ecuación 3.1. Cálculo de las emisiones reducidas frente al NREF 2018-2022 / **P. 11**

Ecuación 4.1. Estimación de la altura en árboles / **P. 16**

Ecuación 4.2. Estimación de la altura en árboles / **P. 16**

Ecuación 4.3. Estimación de la biomasa aérea de árboles / **P. 17**

Ecuación 4.4. Estimación de la biomasa aérea de helechos / **P. 17**

Ecuación 4.5. Estimación de la biomasa aérea de palmas / **P. 17**

Ecuación 4.6. Estimación de la biomasa subterránea / **P. 18**

Ecuación 4.7. Estimación del contenido de carbono en la biomasa total / **P. 18**

Ecuación 4.8. Estimación de la densidad aparente del suelo / **P. 18**

Ecuación 4.9. Cálculo del volumen del suelo / **P. 19**

Ecuación 4.10. Cálculo del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) / **P. 19**

Ecuación 4.11. Cálculo del factor de emisión asociado a la biomasa total / **P. 19**

Ecuación 4.12. Tasa anual de emisión del carbono orgánico del suelo para cada bioma / **P. 20**

Ecuación 4.13. Cálculo de las emisiones forestales anuales nacionales / **P. 21**

Ecuación 4.14. Cálculo de las emisiones anuales debidas a la deforestación a nivel de bioma / **P. 21**

Ecuación 5.1. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea / **P. 22**

Ecuación 5.2. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea / **P. 23**

Ecuación 5.3. Incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones brutas / **P. 23**

Ecuación 5.4. Incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad / **P. 23**

Ecuación 5.5. Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo / **P. 23**

Ecuación 5.6. Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma / **P. 24**

Ecuación 5.7. Incertidumbre nacional de los factores de emisión / **P. 24**



LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Afolu:	Agricultura, Silvicultura y otros Usos del Suelo (por sus siglas en inglés).	GP-G-LULUCF:	Guía de Buenas Prácticas para el sector de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (por sus siglas en inglés).
BA:	Biomasa aérea.	Ideam:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
BS:	Biomasa subterránea.	IFN:	Inventario Forestal Nacional.
BT:	Biomasa total.	IPCC:	Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
BUR:	Reporte Bienal de Actualización (por sus siglas en inglés).	MRV:	Monitoreo, Reporte y Verificación.
CBF:	Carbono contenido en la biomasa total.	NB:	No Bosque.
CMNUCC:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.	NDC:	Contribución Determinada a Nivel Nacional.
COS:	Carbono Orgánico del Suelo.	NREF:	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales.
CSB:	Cambio en la Superficie de Bosque.	REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación, Reducción de Emisiones por Degradación Forestal, el Incremento de los Stocks de Carbono, el Manejo Forestal Sostenible y la Conservación de los Bosques.
DAP:	Diámetro a la altura del pecho.	REM:	REDD Early Movers
EA:	Emisiones anuales estimadas.	SMBByC:	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono de Colombia.
EICDGB:	Estrategia Integral de Control a la Deforestación y la Gestión de Bosques.		
ER:	Emisiones reducidas.		
FARC:	Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia.		
GEI:	Gases de Efecto Invernadero.		





INTRODUCCIÓN

Como parte de sus compromisos ante la CMNUCC, Colombia presentó su segundo nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) en enero de 2020. De acuerdo con lo establecido en la Decisión 12/CP.17, este segundo NREF introdujo mejoras sustanciales con respecto al primero, entre las que destaca la transición de un alcance subnacional a una cobertura nacional de sus emisiones forestales.

Colombia presentó su primer NREF para el periodo 2013-2017, abarcando únicamente el bioma amazónico, que cubre una extensión de 458.961 ha, equivalente al 40,3 % del territorio continental colombiano. Durante dicho periodo, se obtuvieron resultados de mitigación por reducción de la deforestación, salvo en 2017, cuando la tasa de deforestación aumentó significativamente debido a los efectos previstos por la implementación del Acuerdo de Paz firmado con la organización insurgente Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC). Tomando como referencia el periodo 2000-2012, se determinó una proyección de la deforestación basada en el promedio de los datos observados, añadiendo un 10 % como ajuste por circunstancias nacionales. La tasa de deforestación promedio hallada fue de 82.883 ha/año y, con el ajuste realizado, aumentó a 91.171,3 ha/año, lo que equivale a la emisión de 51.612.072,9 tCO₂eq (Pérez et al., 2018).

El segundo NREF, de alcance nacional y que cubre el periodo 2018-2022, consideró únicamente la deforestación como actividad REDD+. Esta se

proyectó calculando el promedio histórico de la tasa de deforestación observada entre 2008 y 2017, ajustada por circunstancias nacionales mediante un modelo logístico. Otra mejora fue la incorporación del carbono orgánico del suelo (COS) como depósito de carbono adicional a la biomasa aérea y subterránea, lo que implicó una variación en los factores de emisión. A diferencia del primer NREF, no se estableció un único factor de emisión, ya que el análisis nacional de las emisiones por deforestación se realizó de manera desagregada para los cinco biomas que conforman el territorio colombiano. Como resultado, cada bioma cuenta con su propio factor de emisión basado en datos del inventario forestal nacional (IFN).

El presente anexo técnico se elabora de manera voluntaria y sigue los lineamientos del Marco de Varsovia sobre REDD+, en conformidad con las Decisiones 9/CP.19, 13/CP.19 (parágrafo 2) y 14/CP.19 (parágrafos 7 y 8). Su único propósito es acceder a pagos por resultados de actividades REDD+ mediante la reducción de las emisiones derivadas de la deforestación bruta en todo el territorio nacional, en comparación con el NREF nacional del periodo 2018-2022, presentado ante la CMNUCC en enero de 2020.

Debe señalarse que la presentación de este anexo técnico no modifica ni ajusta la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) ni ningún otro instrumento legal de carácter nacional o relacionado con la CMNUCC.





SINOPSIS DEL NIVEL DE REFERENCIA NACIONAL DE EMISIONES FORESTALES (NREF) 2018-2022

Como se indicó previamente, Colombia remitió a la CMNUCC su segundo nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) en enero de 2020, el cual presentó mejoras técnicas y variaciones metodológicas respecto al primer NREF, presentado en 2014. Las disposiciones establecidas por la CMNUCC para REDD+, en lo que respecta al NREF, fueron adoptadas por el país mediante el artículo 21 de la Resolución 1447 de 2023, instrumento normativo que reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional.

Dicho artículo establece que el país someterá formalmente un NREF de cobertura nacional ante la CMNUCC, basado en datos históricos de deforestación y considerando las dinámicas regionales de este fenómeno, con un periodo de vigencia no menor a cinco años. De igual manera, se contempla la posibilidad de incorporar cambios asociados a nuevas actividades REDD+ y depósitos de carbono adicionales en la medida en que las capacidades técnicas del país así lo permitan (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Finalmente, el NREF se establece como una variable *sine qua non* para contabilizar los resultados de mitigación procedentes de iniciativas REDD+ desarrolladas en el territorio nacional.

En consonancia con la Decisión 12/CP.17, el país amplió el alcance de su NREF de subnacional a nacional, manteniendo un enfoque regionalizado

en el análisis de sus emisiones forestales. Además de la Amazonía, se incorporaron los cuatro biomas restantes del territorio colombiano: región Andina, Pacífico, Caribe y Orinoquía (Figura 2.1). De esta manera, el NREF 2018-2022 abarcó la totalidad del territorio continental.

Para este NREF, se mantuvo como única actividad REDD+ la reducción de emisiones por deforestación, dado que, hasta entonces, el país no contaba con suficiente información que permitiera incluir otras actividades REDD+ con bajos niveles de incertidumbre. No obstante, se han logrado avances técnicos para monitorear la degradación forestal mediante enfoques basados en análisis del paisaje y métricas de fragmentación, los cuales podrían reflejarse en futuros niveles de referencia.

A diferencia del NREF subnacional presentado en 2014, el NREF nacional incorpora el depósito de carbono orgánico del suelo (COS), lo que constituye una mejora técnica respecto del anterior. Siguiendo las recomendaciones del IPCC, se asumió por defecto la liberación rezagada de las emisiones del suelo postdeforestación de manera proporcional durante un periodo de 20 años.

La inclusión de información más precisa y detallada permitió ajustar los factores de emisión, calculados individualmente para cada uno de los



cinco biomas del territorio colombiano. Cada factor de emisión integró los datos de biomasa aérea y subterránea e incluyó las emisiones del COS convertidas en toneladas de CO₂ equivalente. Los datos de biomasa aérea fueron obtenidos a partir de 303 unidades muestrales (conglomerados) distribuidos entre las diferentes regiones naturales. Dichos conglomerados provienen exclusivamente del inventario forestal nacional (IFN), implementado desde 2015, lo que permitió estandarizar los procedimientos de captura de información dasonómica, así como la geometría y tamaño de las unidades de muestreo. Esto resultó en cifras de biomasa por hectárea con menores niveles de incertidumbre.

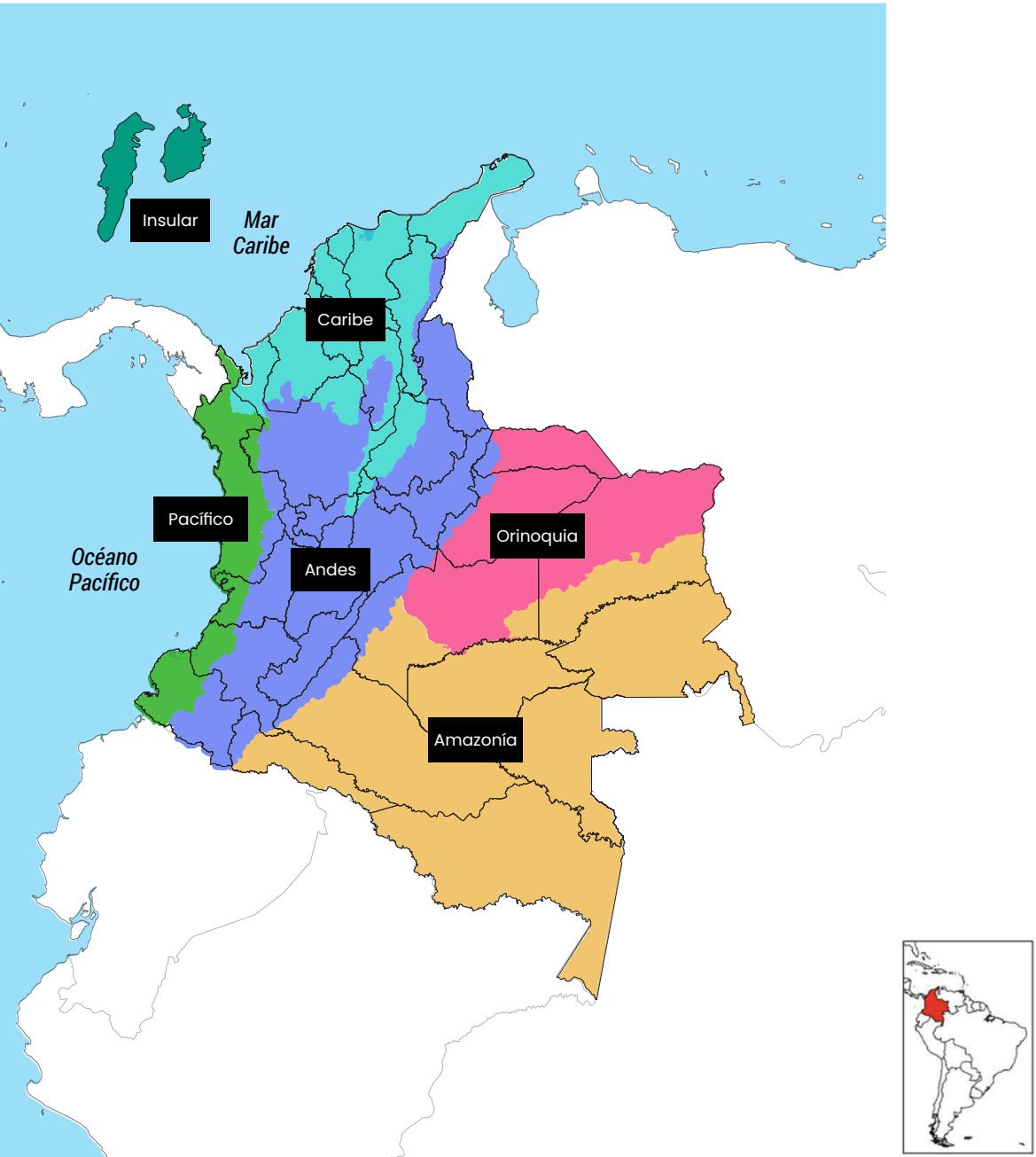
Otro cambio implementado fue la modelación de la biomasa en árboles, la cual se llevó a cabo aplicando las ecuaciones alométricas propuestas por Chave et al. (2014), que incluyen la densidad de la madera (ρ) como variable independiente adicional al diámetro normal (DAP) y la altura (H).

Por su parte, la biomasa subterránea mantiene el enfoque previamente utilizado, estimando este depósito con base en el modelo propuesto por Cairns et al. (1997). Los contenidos de carbono en el suelo fueron inferidos a partir de muestras tomadas en los conglomerados del inventario forestal, en las que se determinó la concentración de carbono y la densidad aparente mediante análisis volumétrico. Los resultados fueron extrapolados a valores por hectárea.

La proyección de las emisiones del NREF 2018-2022 se basó en el análisis de la deforestación observada durante el periodo de referencia 2008-2017. El nivel de referencia nacional se construyó a partir de la sumatoria de las proyecciones de emisiones de los cinco biomas. Cabe señalar que se presentan emisiones brutas debidas a la deforestación, ya que, en el momento de la elaboración del NREF, no se contaba con información sobre los cambios de cobertura postdeforestación. Por lo tanto, no era posible establecer las ganancias de carbono asociadas a las coberturas emergentes, lo que impedía obtener cifras de deforestación neta.

El documento del NREF fue presentado a la CMNUCC el 6 de enero de 2020 y su proceso de evaluación por parte del equipo revisor se llevó a

Figura 2.1. Mapa de los biomas de Colombia



cabo en junio de 2020, de manera virtual. Como resultado de esta primera ronda de revisión, el equipo evaluador de la CMNUCC recomendó modificar el NREF original debido a un ajuste requerido en las cifras de emisiones reportadas para el periodo de vigencia. En consecuencia, una versión modificada del NREF fue remitida nuevamente a la CMNUCC el 18 de agosto de 2020. El reporte final del proceso de evaluación fue publicado el 18 de febrero de 2022¹, en el cual se indica que el NREF presentado es el resultado del uso de datos e información transparente y completa por parte del país, en cumplimiento de los lineamientos establecidos en la Decisión 12/CP.17.

Como se indicó previamente, el NREF cubre un periodo quinquenal (2018-2022) y su proyección corresponde al agregado de las emisiones proyectadas para cada uno de los cinco biomas. Estas fueron calculadas individualmente como el producto de la deforestación promedio anual (dato de actividad) ocurrida en cada bioma durante el periodo 2008-2017 por el factor de emisión de la biomasa total estimado específicamente para cada una de estas áreas biogeográficas, más las emisiones rezagadas del carbono orgánico del suelo (COS), tal como se explica en el numeral 4.13 del presente reporte. Para el cálculo del NREF se asume que todo el carbono contenido en el depósito de biomasa aérea y subterránea se emite el mismo año en que ocurre el evento de deforestación.

Este valor se ajusta por un porcentaje asociado a las circunstancias nacionales, el cual varía para cada año del periodo de vigencia del NREF, determinado conforme a la explicación dada en el numeral 2.1. El promedio de emisiones nacionales que sirve de base para el cálculo del NREF se expresa mediante la siguiente ecuación.

1 Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/tar2020_COL.pdf



Ecuación 2.1. Cálculo de las emisiones anuales promedio para el periodo de referencia

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\bar{X} EA_{2008-2017} = \sum_{y=2008}^{2017} EA_t / N$	Emisiones anuales promedio para el periodo de referencia
Parámetros y descriptores: XEA2008-2017: promedio de las emisiones nacionales del periodo de referencia 2018-2022 (tCO ₂ eq.) EA _t : emisiones anuales nacionales para el año de referencia (tCO ₂ eq.) N: número de años que comprenden el periodo de referencia (10 años para el presente NREF). y: año de inicio del periodo de referencia.	

Los valores promedio por bioma para las variables consideradas se presentan en la Tabla 2.1. La cifra nacional corresponde a la suma de los valores regionales.

Tabla 2.1. Emisiones anuales promedio derivadas del periodo de referencia 2008-2017

BIOMA	DATO DE ACTIVIDAD (ha/año)	FACTOR DE EMISIÓN (tCO ₂ eq./ha)	EMISIONES PROYECTADAS DE LA BIOMASA TOTAL (tCO ₂ eq./año)	EMISIONES PROYECTADAS DEL COS (tCO ₂ eq./año)	EMISIONES ANUALES PROMEDIO (Biomasa + COS) (tCO ₂ eq./año)
Amazonía	80.821	542,56	43.849.883	13.736.947	57.586.830
Andes	27.686	324,96	8.996.775	7.269.275	16.266.050
Caribe	15.061	276,27	4.160.774	3.862.858	8.023.632
Orinoquía	9.846	183,49	1.806.686	1.636.523	3.443.208
Pacífico	10.119	296,92	3.004.452	1.691.755	4.696.206
Nacional	143.533		61.818.569	28.197.357	90.015.926

2.1 Ajuste por circunstancias nacionales

Para la proyección final de la tendencia nacional de las emisiones por deforestación en el periodo 2018-2022, el país optó por ajustar dicha proyección considerando las circunstancias nacionales que catalizan este fenómeno. Debido a la fluctuación de la deforestación, se estimó conveniente modelar la tendencia a partir de los datos observados en el periodo de referencia 2008-2017. La modelación responde a un análisis diferenciado para cada región (bioma), en el que los agentes causales son de distinta naturaleza y pueden ejercer mayor o menor influencia sobre la deforestación.

Lo anterior se vio reforzado por los efectos del Acuerdo de Paz con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), ya que se preveía un aumento de la deforestación, lo cual se reflejó en las tasas observadas en 2016 y 2017. Si bien el Acuerdo de Paz con el grupo insurgente FARC se firmó en noviembre de 2016, sus efectos comenzaron a manifestarse

antes de su ratificación. En el documento del NREF 2018-2022 se expusieron diversos factores que intensificaron la deforestación en dicho periodo, entre los que destacan la magnitud de la inversión estatal y privada durante el proceso de paz, la suspensión de la fumigación de cultivos ilícitos y la consolidación de economías ilegales emergentes, entre otros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Ideam, 2020).

En consecuencia, el análisis de las circunstancias nacionales consideró tanto la deforestación acumulada en el periodo de referencia como los cambios en las tendencias históricas observadas. Asimismo, al integrar variables adicionales como el nivel de accesibilidad (física y legal) al recurso forestal y las restricciones biofísicas que limitan el aprovechamiento del bosque, además de la persistencia de una parte de este que no se deforesta por diversos motivos, se evidenció la dificultad de establecer un valor constante para todo el periodo de análisis. Por lo tanto, la predicción de la deforestación se describe mejor mediante modelos matemáticos.

Bajo este escenario, se desarrollaron modelos logísticos que reproducen una tendencia inicial creciente de la deforestación, la cual posteriormente se estabiliza, reflejando en buena medida las tendencias observadas en Colombia en años previos a 2018. Esta modelación se realizó de forma regionalizada para el periodo 2018-2022. El modelo utilizado se presenta en la Ecuación 2.2 y requiere dos parámetros básicos: el coeficiente de crecimiento o tasa de cambio (b) y el área máxima de bosque susceptible a la deforestación (K).

Ecuación 2.2. Cálculo de la deforestación proyectada por el modelo logístico

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTE
$N_t = K / (1 + e^{a-bt})$	Deforestación proyectada	Poveda y Manrique, 2007
Parámetros y descriptores: N _t = deforestación proyectada en el tiempo t K = área de bosque susceptible a la deforestación t = periodo de proyección a = constante b = tasa de cambio entre periodos		



El proceso de proyección de la deforestación comprende dos momentos: i) la estimación de la deforestación futura, en la cual se utiliza la información del bosque susceptible de deforestación (área deforestada futura) como base del consumo del modelo, y ii) la deforestación pasada, donde el modelo emplea la deforestación observada hasta un año determinado (año 0) para redistribuirla de acuerdo con sus parámetros. Es importante señalar que la deforestación observada hasta el año 0 no puede considerarse bosque susceptible de ser deforestado; sin embargo, se incorpora al K del modelo para garantizar que la proyección de la deforestación futura utilice únicamente áreas no consumidas antes del año 0 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Ideam, 2020).

Una explicación más detallada de estas variables y del método utilizado para su cálculo se presenta en el anexo técnico explicativo de estima-

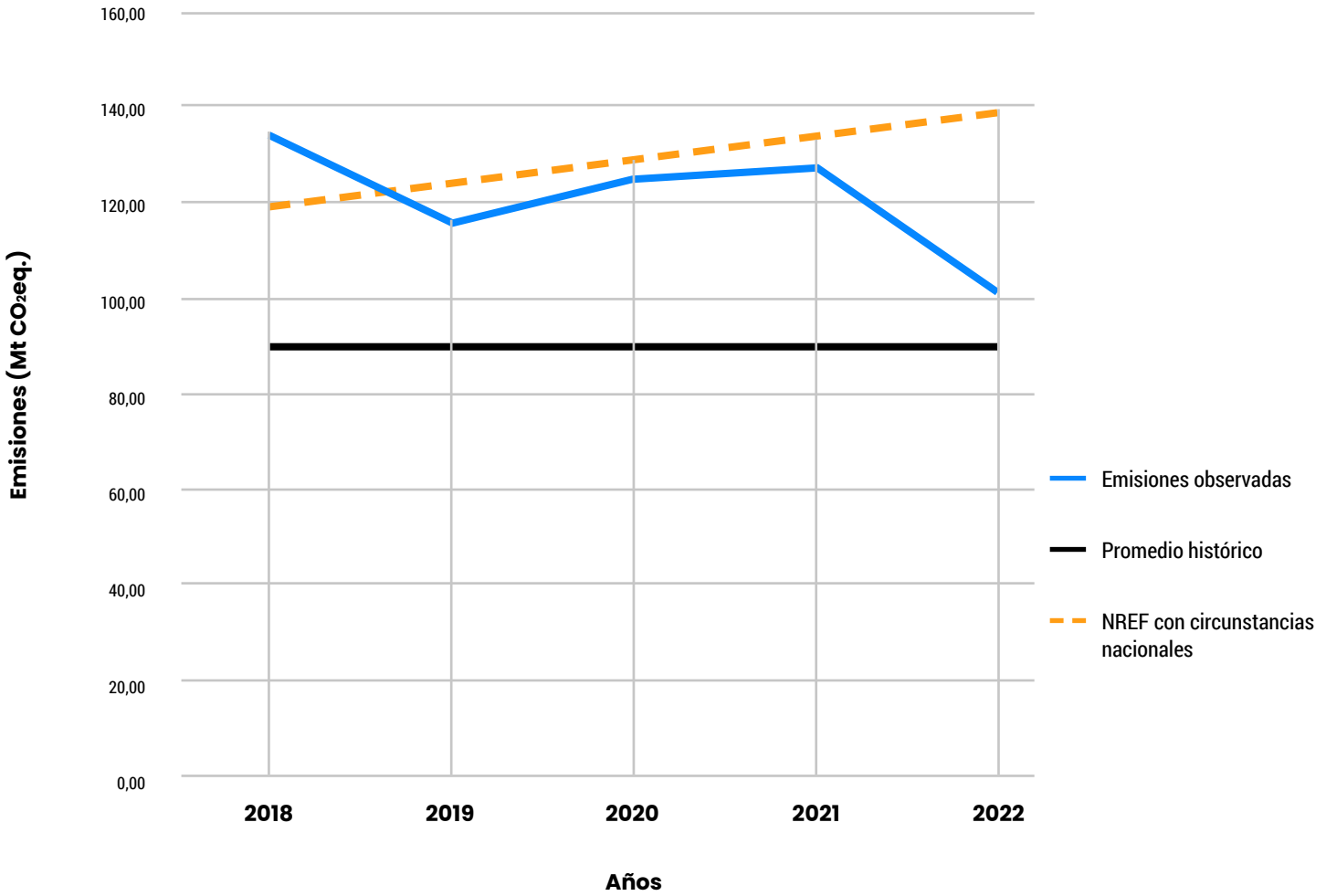
ción del ajuste por circunstancias nacionales del NREF 2018-2022². Dado que la modelación conlleva un nivel de incertidumbre, se calcularon los correspondientes intervalos de confianza a partir del error medio absoluto del modelo. El ajuste final se realizó considerando el límite inferior del intervalo de confianza, con lo cual las circunstancias nacionales fluctuaron entre un 31,77 % en 2018 y un 53,55 % en 2022, como se presenta en la Tabla 2.2.

Con base en la Tabla 2.2, el NREF se calcula como el producto del promedio histórico de las emisiones anuales nacionales y el porcentaje de ajuste por circunstancias nacionales para cada año del periodo de vigencia, según se indica en la ecuación 2.3.

De esta forma, las emisiones forestales nacionales fluctuaron entre 118.613.986 tCO₂ eq. en 2018 y 138.219.454 tCO₂ eq. en 2022. La Fig-

ura 2.2 muestra que dichas emisiones superaron las proyectadas con base en el promedio histórico durante todo el periodo del NREF.

Figura 2.2. NREF nacional para el periodo 2018-2022



2 Disponible en: https://redd.unfccc.int/media/31122019_anexo_circunstancias_nref_nal_v7.pdf

Tabla 2.2. Deforestación proyectada para el periodo 2018-2022 con ajuste por circunstancias nacionales modeladas

Año	Promedio histórico (ha)	Ajuste por circunstancias nacionales (ha)	Deforestación total proyectada (promedio histórico + circunstancias nacionales) (ha)	Ajuste (%)
2018	143.533	45.602	189.135	31,77 %
2019	143.533	55.371	198.903	38,58 %
2020	143.533	63.995	207.527	44,59 %
2021	143.533	71.226	214.758	49,62 %
2022	143.533	76.859	220.392	53,55 %

Ecuación 2.3. Cálculo del NREF con ajuste por circunstancias nacionales

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$NREF_y = XEA_{2008-2017} * 1 + CN \%_y$	Nivel de referencia de las emisiones forestales nacionales con circunstancias nacionales
Parámetros y descriptores: NREF _y : nivel de referencia de emisiones forestales para el año y (tCO ₂ eq.) XEA ₂₀₀₈₋₂₀₁₇ : promedio de las emisiones nacionales del periodo de referencia 2018-2022 (tCO ₂ eq.) CN %: porcentaje de ajuste por circunstancias nacionales para el año y (expresado como una fracción decimal). y: año de referencia dentro del periodo de vigencia del NREF (2018≤y≤2022).	



RESULTADOS LOGRADOS POR REDD+ PARA EL PERIODO 2018-2022, CONSISTENTE CON EL NREF PRESENTADO EN 2020 PARA TODO EL TERRITORIO NACIONAL

Las emisiones de carbono derivadas de la deforestación bruta en todo el territorio nacional para el periodo 2008-2017 fueron calculadas en el NREF utilizando la metodología sintetizada en el documento entregado en 2020, la cual se detalla en el anexo metodológico que lo acompaña.

En el presente anexo técnico se reportan los resultados obtenidos por reducción de emisiones por deforestación bruta en Colombia para los

años 2019, 2020, 2021 y 2022. Los resultados de emisiones reducidas (ER) para dichos años corresponden a la diferencia entre el NREF y las emisiones estimadas (EA) de cada año, de acuerdo con el dato de actividad observado (Ecuación 3.1). Las metodologías empleadas para la obtención de los datos y el procedimiento de cálculo se describen en la siguiente sección sobre el SMByC.

Ecuación 3.1. Cálculo de las emisiones reducidas frente al NREF 2018-2022

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$ER_y = NREF_{2018-2022,y} - EA_{t,y}$	Emisiones reducidas para el año de referencia y
Parámetros y descriptores: $NREF_{2018-2022,y}$: nivel de referencia de emisiones forestales del periodo 2018-2022 calculado para el año y (tCO₂ eq.) ER_y: Emisiones reducidas para el año y (tCO₂ eq.) $EA_{t,y}$: Emisiones anuales del año y inferidas a partir del dato de actividad observado (tCO₂ eq.) y = año de referencia (2018≤y≤ 2022)	



Los resultados obtenidos con base en la ecuación anterior se presentan en la Tabla 3.1. Como se observa, en 2018 no se registraron reducciones frente al NREF, ya que la deforestación observada superó la proyectada por el modelo logístico empleado. En los años restantes del periodo de

vigencia del NREF, la deforestación observada fue inferior a la proyectada, lo que permitió la reducción de emisiones. Destaca particularmente el año 2022, cuando dichas reducciones alcanzaron los 36,5 millones de tCO₂ eq.

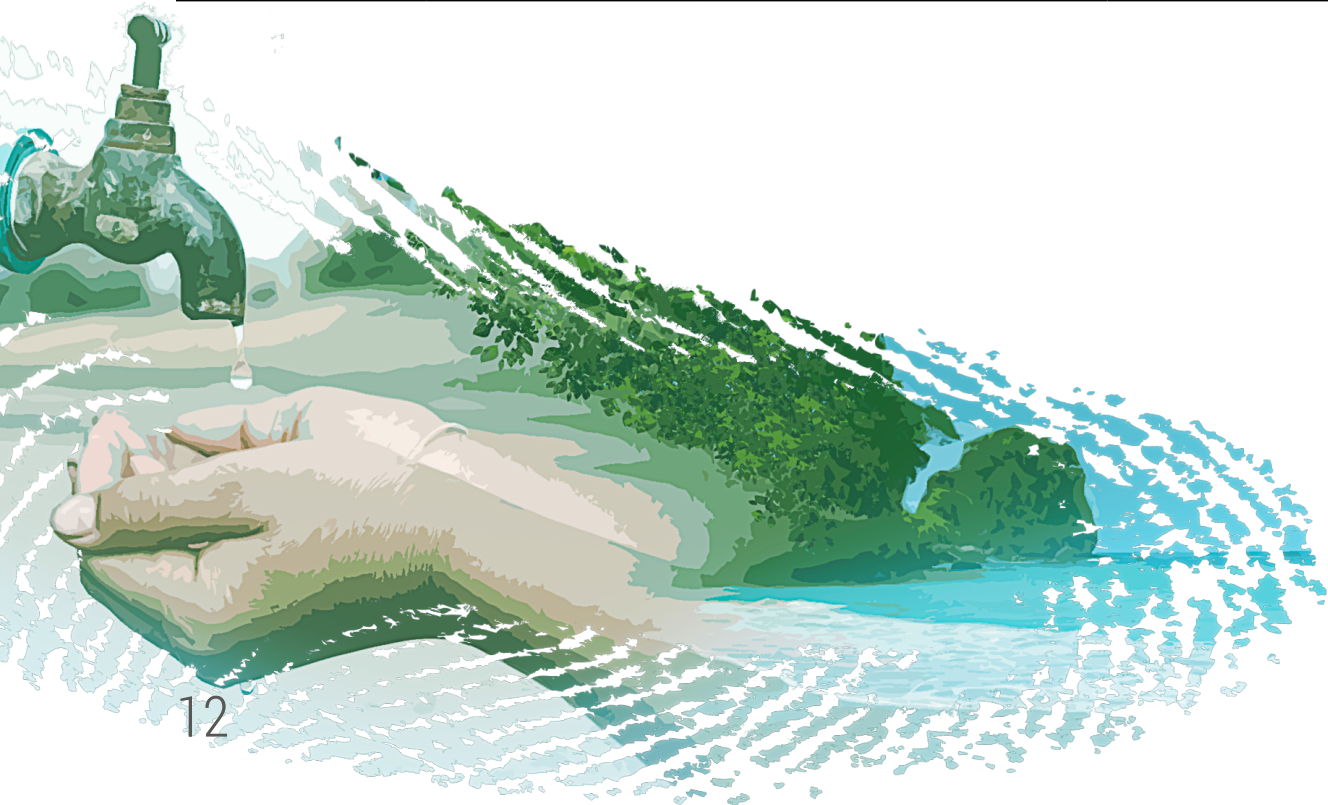
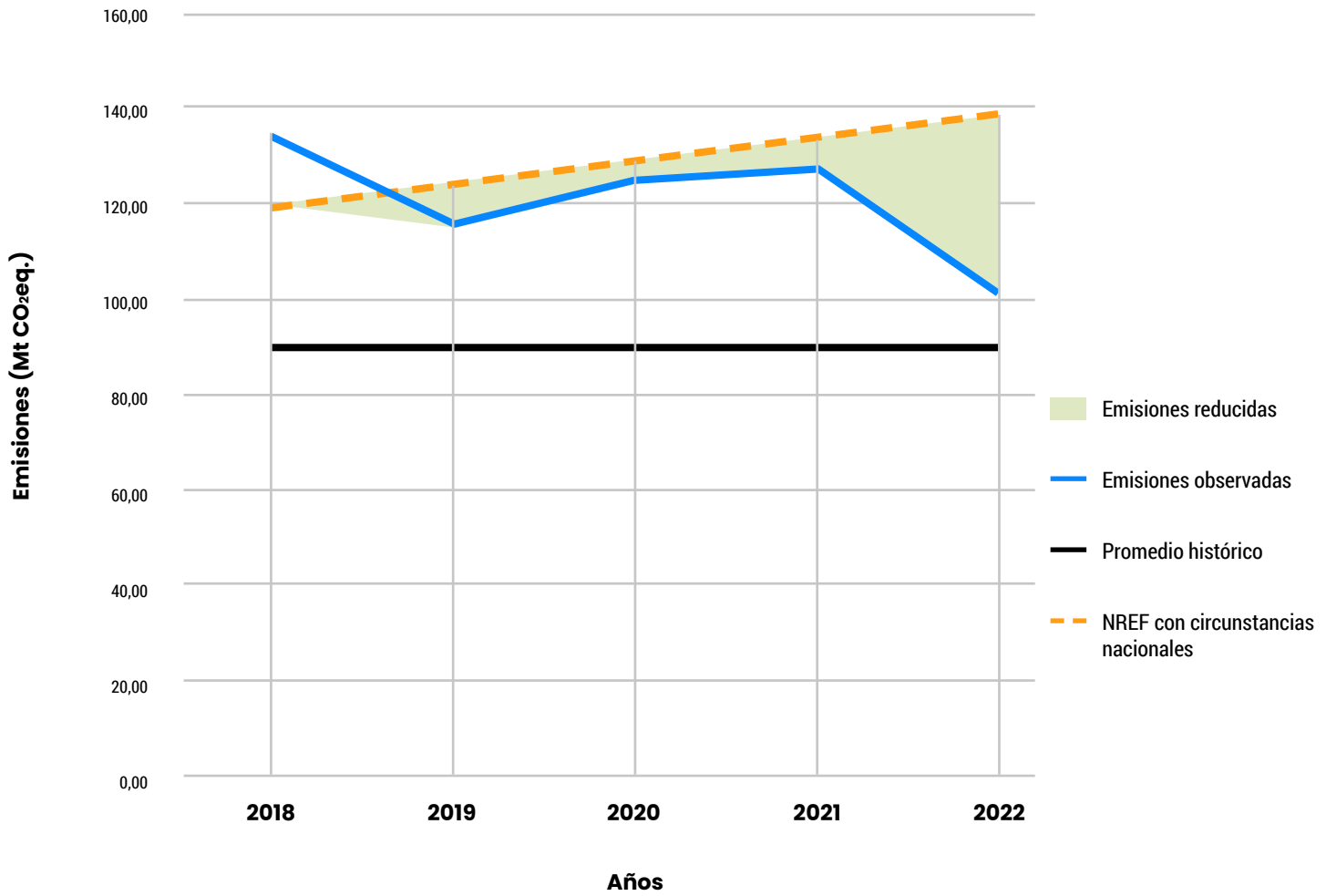
En comparación con el promedio histórico, las emisiones por deforestación fueron superiores durante todo el periodo de vigencia del NREF, incluso en 2022, cuando la deforestación observada fue menor que la proyectada (Figura 3.1). Esto se debe al efecto acumulado de las emisio-

nes del carbono orgánico del suelo (COS), que mostraron una tendencia incremental a partir de 2020, lo que resultó en un mayor volumen de emisiones por hectárea deforestada.

Tabla 3.1. Resultados de emisiones reducidas frente al NREF 2018-2022

Año de monitoreo	Deforestación bruta observada (ha)	Emisiones por deforestación observada (tCO ₂ eq.)	NREF 2018-2022 (tCO ₂ eq.)	Emisiones reducidas (tCO ₂ eq.)
2018	197.159	134.144.061	118.613.986	-15.530.075
2019	158.894	115.716.134	124.744.070	9.027.936
2020	171.685	124.944.074	130.154.027	5.198.953
2021	174.103	127.119.282	134.681.829	7.562.547
2022	123.517	101.652.958	138.219.454	36.566.496

Figura 3.1. Resultados estimados para el periodo 2018-2022 frente al NREF nacional



CONSISTENCIA Y REPLICABILIDAD METODOLÓGICA DE LOS RESULTADOS LOGRADOS

Tanto la construcción del NREF para la actividad de reducción de emisiones por deforestación bruta como los reportes de resultados sobre las reducciones de emisiones logradas en todo el territorio colombiano, anexos a los BUR, se basan en la información generada por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), liderado por el Ideam bajo las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La estimación de los resultados presentados en este reporte emplea la misma superficie, definición de bosque, sumideros, metodologías y

conjunto de datos utilizados en la construcción del NREF de alcance nacional para el periodo 2018-2022, el cual fue evaluado técnicamente según lo establecido por la CMNUCC. Asimismo, este reporte es consistente con las metodologías y definiciones aplicadas en los reportes de reducción de emisiones (ER) emitidos en el marco del Programa REM – Visión Amazonia y con las utilizadas por Colombia para la presentación del Anexo Técnico de resultados 2013, 2014, 2015 y 2016 de REDD+, en el primer y segundo Reporte Bienal de Actualización de Emisiones (BUR).



4.1

Actividades REDD+ incluidas

En línea con lo establecido en el NREF de alcance nacional para el periodo 2018-2022, el presente anexo técnico incluye únicamente las emisiones de CO₂ derivadas de la deforestación. En cuanto a la degradación, aunque Colombia ha avanzado en el desarrollo de metodologías para la detección y monitoreo de esta actividad, dichos avances aún no permiten incluir en este NREF información sobre emisiones por degradación forestal con bajos niveles de incertidumbre.

El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC) ha generado una estimación bienal de la deforestación bruta para el periodo 2008-2012 y anualizada para el periodo 2013-2017 en todo el territorio nacional, utilizando principalmente imágenes del programa satelital LANDSAT, con una unidad mínima de mapeo de 1 hectárea. La tasa de deforestación anual se presenta de manera regionalizada según las cinco biorregiones que conforman el territorio colombiano³, por lo que la suma de estas constituye la tasa de deforestación nacional⁴.

4.2

Sumideros incluidos

Conforme a lo indicado en el NREF de alcance nacional para el periodo 2018-2022, el presente anexo técnico incluye los sumideros “biomasa aérea (BA)”, “biomasa subterránea (BS)” y “carbono orgánico del suelo (COS)”. En contraste, los sumideros “hojarasca” y “madera muerta” no se incluyen, ya que actualmente no existe información disponible que permita incorporarlos en el análisis. El factor de emisión de la biomasa aérea y subterránea corresponde al contenido de carbono por hectárea presente en la biomasa aérea y en las raíces, medido en toneladas de carbono por hectárea (tC ha⁻¹), para los tipos de bosque de cada bioma evaluado en el NREF.

Por otra parte, la estimación de las emisiones por deforestación del depósito del suelo asume una emisión bruta, en la que el contenido de carbono del suelo (COS) se libera en proporciones iguales durante 20 años después del evento de deforestación. Bajo este supuesto, se calculó la tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años (COS_{20años}), dividiendo el COS de cada bioma entre este número de años.

4.3

Gases considerados

El presente anexo técnico considera únicamente el dióxido de carbono (CO₂) como gas de efecto invernadero (GEI) evaluado, en concordancia con lo presentado en el NREF de alcance nacional para el periodo 2018-2022.

4.4

Monitoreo de los datos de actividad

En el monitoreo de las áreas de bosque y la deforestación, el uso de imágenes satelitales (GOF-C-GOLD, 2014) es fundamental, ya que permite obtener información de la superficie terrestre con amplio cubrimiento espacial y, en algunos casos, temporal. La comparación de imágenes satelitales de diferentes fechas permite detectar cambios en la respuesta espectral característica de los bosques, originados por diversos factores: i) cambios abruptos, naturales o de origen antrópico, asociados a eventos de deforestación o regeneración; ii) variaciones estacionales o cíclicas (e.g., época de lluvias y época seca) que afectan la fenología de las plantas y, por ende, la respuesta espectral en las imágenes; y iii) falsas detecciones de cambio debidas a errores geométricos, condiciones atmosféricas y efectos de nubes (Verbesselt et al., 2010).

El SMByC desarrolló un protocolo de procesamiento digital de imágenes para generar información sobre la distribución, extensión y cambios en los datos de actividad (cobertura boscosa) en Colombia (Galindo et al., Ideam, 2014). Este protocolo se implementa mediante el uso de imágenes del programa satelital LANDSAT (USGS, 2014), debido a su disponibilidad histórica, resolución temporal y espacial, facilidad de acceso a los datos y la continuidad del programa⁵.

El protocolo incluye cuatro fases principales para el tratamiento de datos satelitales y la generación de los datos de actividad: i) preprocesamiento digital de imágenes satelitales (i.e., apilamiento de bandas, corrección geométrica, calibración radiométrica, enmascaramiento de nubes y cuerpos de agua, y normalización radiométrica); ii) procesamiento digital de imágenes (i.e., detección automatizada de cambios en la superficie de bosque, verificación visual de los cambios detectados y control de calidad del proceso); iii) evaluación de la exactitud temática; y iv) reporte de los datos de actividad (i.e., cálculo y reporte de los cambios en la superficie de bosque natural). Una descripción detallada de las 13 etapas que conforman estas cuatro fases puede consultarse en el numeral 7.3 del NREF nacional del periodo 2018-2022⁶.

Como se mencionó, Colombia aplicó un enfoque paso a paso para el desarrollo del NREF nacional y el reporte de ER, conforme a la decisión 12/CP.17, párrafo 10. Este enfoque permite incorporar la mejor información disponible y, en este sentido, la construcción del NREF consideró los datos observados de deforestación del periodo 2008-2017. La serie 2008-2012 se basó en un monitoreo bienal de la deforestación, mientras que la serie 2013-2017 utilizó un monitoreo anual.

Desde 2013, Colombia ha desarrollado capacidades técnicas para producir información oficial de la superficie de bosque con periodicidad anual, la cual se mantiene hasta la fecha. No obstante, en ambos casos se han aplicado la misma metodología, definiciones y procedimientos para la generación de los datos de actividad.

3 Colombia se compone de cinco grandes biomas: Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico. El primer NREF presentado por Colombia a la CMNUCC fue de alcance subnacional y solo consideró el bioma amazónico. El segundo NREF abarcó los cuatro biomas restantes, cobijando de esta forma la totalidad del territorio nacional.

4 Los insumos y datos sobre deforestación están disponibles en <http://smbyc.ideam.gov.co>.

5 Más información sobre el proceso metodológico para la generación de la información sobre cambios en la superficie de bosque disponible en <https://shorturl.at/hyaDw>.

6 Más información en https://redd.unfccc.int/media/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf



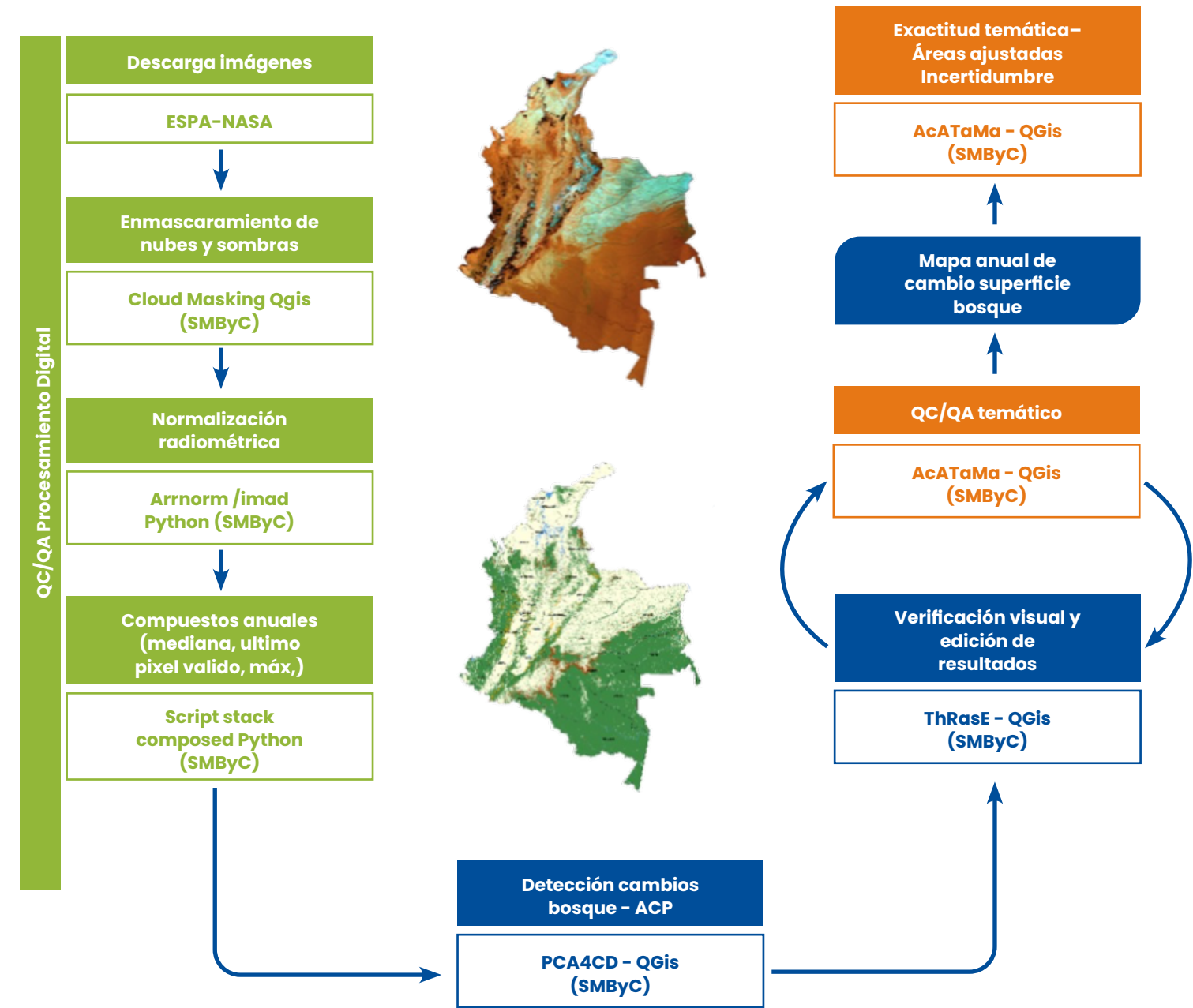
La Figura 4.1 presenta el esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2 para la generación de datos de actividad implementado por el SMBYC⁷.

Dado que los algoritmos de procesamiento, como la detección de cambios PCA, pueden generar falsas detecciones y que este no es un proceso libre de sesgos, el resultado es sometido a varios procesos de validación por parte de los intérpretes y a control de calidad para identificar unidades de observación (píxeles) con falsas detecciones y asignarles la clase correcta. La primera parte de este proceso se realiza mediante revisión visual, en la que los intérpretes utilizan diferentes compuestos agregados de imágenes satelitales para ajustar los resultados generados por PCA en las unidades de observación.

El protocolo metodológico establece que el uso de compuestos de mediana de todos los píxeles válidos mejora los índices de cobertura y reduce errores asociados a variaciones fenológicas o radiométricas de las imágenes. Sin embargo, al ser un compuesto de tendencia central, puede no detectar correctamente los cambios ocurridos en los últimos meses del año. Para corregir esto, cada intérprete se apoya en: i) las últimas imágenes de cada año de referencia; ii) compuestos de imágenes que resumen el valor del píxel para la última fecha de observación válida en el año de referencia; y iii) compuestos con la mediana de los valores válidos del último trimestre del año de referencia.

Con estos tres insumos, cada intérprete ajusta visualmente los cambios detectados y el resultado es sometido a control de calidad. Si se identifican inconsistencias, los resultados son devueltos al intérprete para su corrección.

Figura 4.1. Esquema del procesamiento metodológico aplicado en el procesamiento digital de imágenes V.2.



Una vez que cada intérprete finaliza el proceso de verificación y clasificación del mapa de detección de cambios de bosque/no bosque, la sección interpretada es sometida a un nuevo proceso de revisión y verificación por parte de otros intérpretes, hasta obtener una versión final satisfactoria conforme al control de calidad. Las versiones finales de cada escena se integran en un único mapa de cambios en la cobertura boscosa, que abarca tanto la superficie continental como la insular de San Andrés y Providencia. El mapa final está referenciado al sistema de proyección oficial de Colombia, MAGNA SIRGAS, con origen en Bogotá (EPSG: 3116).

4.5 Factores de emisión

Los factores de emisión en el NREF del periodo 2018-2022 se calcularon a partir de la información del Inventario Forestal Nacional (IFN) para tres depósitos forestales de carbono: biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS) y carbono orgánico del suelo (COS), cuyas estimaciones se obtuvieron a nivel nacional.

Con base en un riguroso diseño del marco geoestadístico y una metodología estandarizada para la recolección de datos en campo, desde 2015 el Ideam ha establecido conglomerados, cada uno conformado por cinco parcelas circulares de 0,0707 hectáreas, dispuestas en cruz y separadas 80 metros entre los centros de cada subparcela. En total, cada unidad de muestreo abarca 0,3535 hectáreas.

En cada subparcela mayor, se establecen parcelas menores anidadas para medir las distintas categorías diamétricas incluidas en el inventario forestal, distribuidas de la siguiente manera: individuos con diámetros entre 2,5 y 10 cm (28,3 m² de área de medición), entre 10 y 30 cm (153,9 m² de área de medición) y mayores a 30 cm (707 m² de área de medición).

⁷ Más información en http://redd.unfccc.int/files/anexo_a_protocolo_procesamiento_digital.pdf y http://172.16.1.31:8380/documents/11769/43705281/Doc_metodo%C3%B3gico_Monitoreo_superficie_bosque.pdf/ff746e63-1aca-4942-bafb-e0110191a02e.



A cada individuo registrado en los conglomerados se le mide el diámetro a la altura del pecho (DAP).

Se evaluaron un total de 303 conglomerados, equivalentes al 20,5 % del tamaño total de la muestra del inventario forestal, levantados entre 2015 y 2018. Con base en estas unidades muestrales, se calcularon los indicadores y se generaron los insumos para determinar los factores de emisión utilizados en el NREF nacional.

Ecuación 4.1. Estimación de la altura en árboles

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$H = 35,0609 * (1 - e^{(-0,057470 * (DAP^{0,72741}))})$	Modelo asintótico de Weibull para estimación de altura en árboles
Parámetros y descriptores: H: altura del árbol (m) DAP: diámetro a la altura del pecho (cm)	

Ecuación 4.2. Estimación de la altura en árboles

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$H = 13,995250 * (1 - e^{(-0,050930 * (DAP^{1,40739}))})$	Modelo asintótico de Weibull para estimación de altura en palmas
Parámetros y descriptores: H: altura de la palma (m) DAP: diámetro a la altura del pecho (cm)	

A cada individuo se le tomó una muestra botánica, la cual fue determinada y homologada por la Red de Herbarios de Colombia. La actualización de la nomenclatura y taxonomía de los nombres científicos, así como la verificación de su clasificación dentro del sistema de clasificación de plantas angiospermas (APG, por sus iniciales en inglés), se realizó a través del servicio web "Taxonomic Name Resolution Service" (Boyle et al., 2013).

Para la estimación de la altura de todos los individuos registrados, se generaron modelos de regresión diámetro-altura con base en la información de los árboles medidos en campo. El ajuste de los modelos se realizó de forma independiente para cada uno de los cinco biomas del país mediante el modelo asintótico de Weibull para árboles y palmas, como se indica en las ecuaciones 4.1 y 4.2.

Con base en la identificación taxonómica, a cada individuo se le asignó un valor de densidad de madera, de acuerdo con la información disponible en la Base de Datos Mundial de Densidad de Maderas (Chave et al., 2009; Zanne et al., 2009). En ausencia del dato de densidad básica a nivel de especie o para aquellos individuos no identificados completamente, se asignó el promedio de la densidad por género o, en su defecto, a nivel de familia. Si ninguna de estas opciones era viable, se utilizaba el promedio de la densidad de las especies registradas en cada conglomerado.

4.6 Posestratificación

El Inventario Forestal Nacional (IFN) fue diseñado bajo un esquema de muestreo simple y aleatorio posestratificado. Como estratos se emplearon la capa Bosque-No Bosque del año 2017, producida por el Ideam a través del SMByC, y los biomas de Colombia. A partir de dichas fuentes, se estiman los pesos específicos de cada estrato, los cuales corresponden a la proporción del área del país que ocupa cada uno.

La posestratificación es un caso particular de la metodología de calibración. En este caso, se realiza una posestratificación a dos vías: Bosque-No Bosque y biomas, de manera que las estimaciones sean consistentes con las áreas de ambos postestratos.



4.7

Estimación de la biomasa aérea de los individuos

La biomasa aérea de cada individuo fue estimada mediante las ecuaciones alométricas propuestas por Chave et al. (2014) para árboles, helechos y palmas, tal como se describe en las ecuaciones 4.3, 4.4 y 4.5, respectivamente.

Ecuación 4.3. Estimación de la biomasa aérea de árboles

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTE
$BA = 0,0673 * (DAP^2 * H * WD)^{0,976}$	Biomasa aérea de árboles	Chave et al. (2014)
Parámetros y descriptores: BA: biomasa aérea (kg) DAP: diámetro a la altura del pecho (cm) H: altura del árbol (m) WD: densidad básica de la madera (t*m-3)		

Ecuación 4.4. Estimación de la biomasa aérea de helechos

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTE
$BA = -4266348 / 1 - (2792284 * e^{(-0,313677 * H)})$	Biomasa aérea de helechos	Chave et al. (2014)
Parámetros y descriptores: BA: biomasa aérea (kg) H: altura del árbol (m)		

Dado que el rango de aplicabilidad de dicha ecuación alométrica es para individuos con un diámetro entre 5 y 212 cm, los individuos con un diámetro menor a 5 cm fueron excluidos de los cálculos. Para aquellos cuyo diámetro excedió el valor máximo empleado en el ajuste de la ecuación, se utilizó el límite superior de 212 cm para la estimación de la biomasa aérea.

Ecuación 4.5. Estimación de la biomasa aérea de palmas

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTE
$ln(BA) = 0,360 + (1,218 * ln(H))$	Biomasa aérea de palmas	Chave et al. (2014)
Parámetros y descriptores: BA: biomasa aérea (kg) H: altura del árbol (m)		

4.8

Estimación de la biomasa aérea por hectárea

Una vez se realizaron las estimaciones agregadas de biomasa aérea por conglomerado, los valores fueron extrapolados a una hectárea (t ha⁻¹) conforme a los procedimientos indicados en el IFN (Ideam, 2021).



4.9

Estimación de la biomasa subterránea por hectárea

Los valores de biomasa subterránea por hectárea se calcularon a partir de la biomasa aérea por hectárea mediante la aplicación de la ecuación de Cairns et al. (1997), como se muestra en la Ecuación 4.6.

Ecuación 4.6. Estimación de la biomasa subterránea

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTE
$ln(BS) = -1,085 + (0,9256 * ln(BA))$	Biomasa subterránea por hectárea	Cairns et al. (1997)
Parámetros y descriptores: BS: biomasa subterránea (t ha ⁻¹) BA: biomasa aérea (t ha ⁻¹)		

4.10

Estimación de la biomasa total y carbono asociado por hectárea

La biomasa total (BT) por hectárea corresponde a la suma de la biomasa aérea (BA) y la biomasa subterránea (BS), conforme a lo indicado en los numerales 4.8 y 4.9 del presente reporte. El carbono contenido en la

biomasa total (CBF) se obtuvo como el producto de esta última variable y la fracción de carbono presente en la materia seca (0,47), como se plantea en la Ecuación 4.7.

Ecuación 4.7. Estimación del contenido de carbono en la biomasa total

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$CBF = BT * fc$	Contenido de carbono en la biomasa total por hectárea
Parámetros y descriptores: Cbt: carbono contenido en la biomasa total (t ha ⁻¹) BT: biomasa total (t ha ⁻¹) fc: fracción de carbono presente en la materia seca (equivalente a 0,47)	

4.11

Estimación del contenido de carbono en el suelo

Los datos de carbono del suelo provienen de la recolección de cinco muestras por conglomerado, una por cada subparcela. Cada muestra consiste en aproximadamente 400 g de suelo, extraídos a una profundidad de 0-30 cm. Adicionalmente, en cada subparcela se tomó una muestra de suelo para estimar su densidad aparente.

Para calcular los contenidos de carbono orgánico en el suelo, se estimó la densidad aparente (g cm⁻³), la cual representa la densidad promedio de todos los materiales presentes en el suelo.

Ecuación 4.8. Estimación de la densidad aparente del suelo

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$P_s = m_s / V_s$	Densidad aparente del suelo
Parámetros y descriptores: P _s : densidad aparente del suelo (g*cm ⁻³) m _s : masa seca de suelo (g) V _s : volumen de suelo (cm ³)	



Por su parte, el volumen de suelo se obtiene conforme se indica en la Ecuación 4.9.

Ecuación 4.9. Cálculo del volumen del suelo

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$V_s = \pi * r^2 * h$	Volumen de la muestra de suelo
Parámetros y descriptores: Vs: volumen de suelo (cm³) r: radio de la sección transversal del cilindro utilizado para tomar la muestra de suelo (cm) h: altura (longitud) del cilindro utilizado para tomar la muestra de suelo (cm)	

Los contenidos de carbono en los suelos por unidad de superficie (hectárea) se estimaron a partir de la relación entre los resultados de la concentración de carbono en las muestras de suelo (obtenidas en el laboratorio), la densidad aparente del suelo y la profundidad a la que se tomó la muestra.

Ecuación 4.10. Cálculo del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS)

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$COS = \%C / 100 * P_s * profundidad * 10000$	Cálculo del carbono orgánico del suelo (COS) por hectárea
Parámetros y descriptores: COS: carbono orgánico del suelo (kg*ha ⁻¹) %C: concentración de carbono en el suelo (%) Ps: densidad aparente del suelo (kg*m ⁻³) Profundidad: profundidad del suelo a la cual fue tomada la muestra (m)	

4.12

Factores de emisión por bioma

Para hallar los factores de emisión a nivel de bioma, el procedimiento indicado en el numeral 4.10 se repitió para cada conjunto de conglomerados ubicados en los biomas que conforman el territorio nacional (i.e.: Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico). Debe señalarse que los factores de emisión se calculan de manera diferenciada para la biomasa total (BT) y el carbono orgánico del suelo (COS), los cuales solo se integran al estimar las emisiones anuales a nivel de bioma, como se explica en el numeral 4.13.

Ecuación 4.11. Cálculo del factor de emisión asociado a la biomasa total

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$CBFeq_i = CBF_i * (44 / 12)$	Factor de emisión de la biomasa total (BT)
Parámetros y descriptores: CBFeq _i : dióxido de carbono equivalente (factor de emisión) contenido en la biomasa total del bioma i (tCO ₂ ha ⁻¹) CBF _i : contenido de carbono en la biomasa total (tC ha ⁻¹) (44/12): constante de la proporción molecular ente el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO ₂) i: cada uno de los cinco biomas que componen el territorio nacional (i.e, Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico)	

El factor de emisión de la biomasa total por hectárea en el bioma i (CBFeq_i) es el producto entre el carbono contenido en la biomasa total por hectárea en el bioma i (CBF_i) y la constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO₂), equivalente a 44/12, como se indica en la siguiente ecuación.



Tabla 4.1. Factores de emisión de la biomasa total para cada bioma

BIOMA	BIOMASA AÉREA (t.ms*ha-1)	BIOMASA SUBTERRÁNEA (t.ms*ha-1)	BIOMASA TOTAL (t.ms*ha-1)	CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA TOTAL (tC*ha-1)	FACTOR DE EMISIÓN BIOMASA TOTAL (tCO ₂ *ha-1)
Amazonía	257,86	59,97	314,83	147,97	542,56
Andes	153,64	34,92	188,56	88,62	324,96
Caribe	130,25	30,06	160,31	75,35	276,27
Orinoquía	85,58	20,90	106,47	50,04	183,49
Pacífico	140,24	32,05	172,29	80,98	296,92

El factor de emisión del suelo considera que, una vez ocurre el evento de deforestación, las emisiones de este depósito de carbono se producen de manera gradual. El IPCC (2006) establece que la liberación del carbono contenido en el suelo ocurre en un lapso de 20 años (por defecto) y de manera proporcional. En consecuencia, los contenidos de carbono orgánico del suelo hallados para cada bioma (COS) fueron divididos por el periodo de cambio de las existencias (20 años) para obtener la tasa anual de liberación de CO₂.

Para la estimación de las emisiones por deforestación del depósito de suelos, se asume una emisión bruta en la que el contenido de carbono del suelo (COS) se libera en proporciones iguales durante 20 años tras el evento de deforestación. Bajo este supuesto, se calculó la tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años (COS años), dividiendo el COS de cada bioma entre 20, según se plantea en la siguiente ecuación.

Ecuación 4.12. Tasa anual de emisión del carbono orgánico del suelo para cada bioma

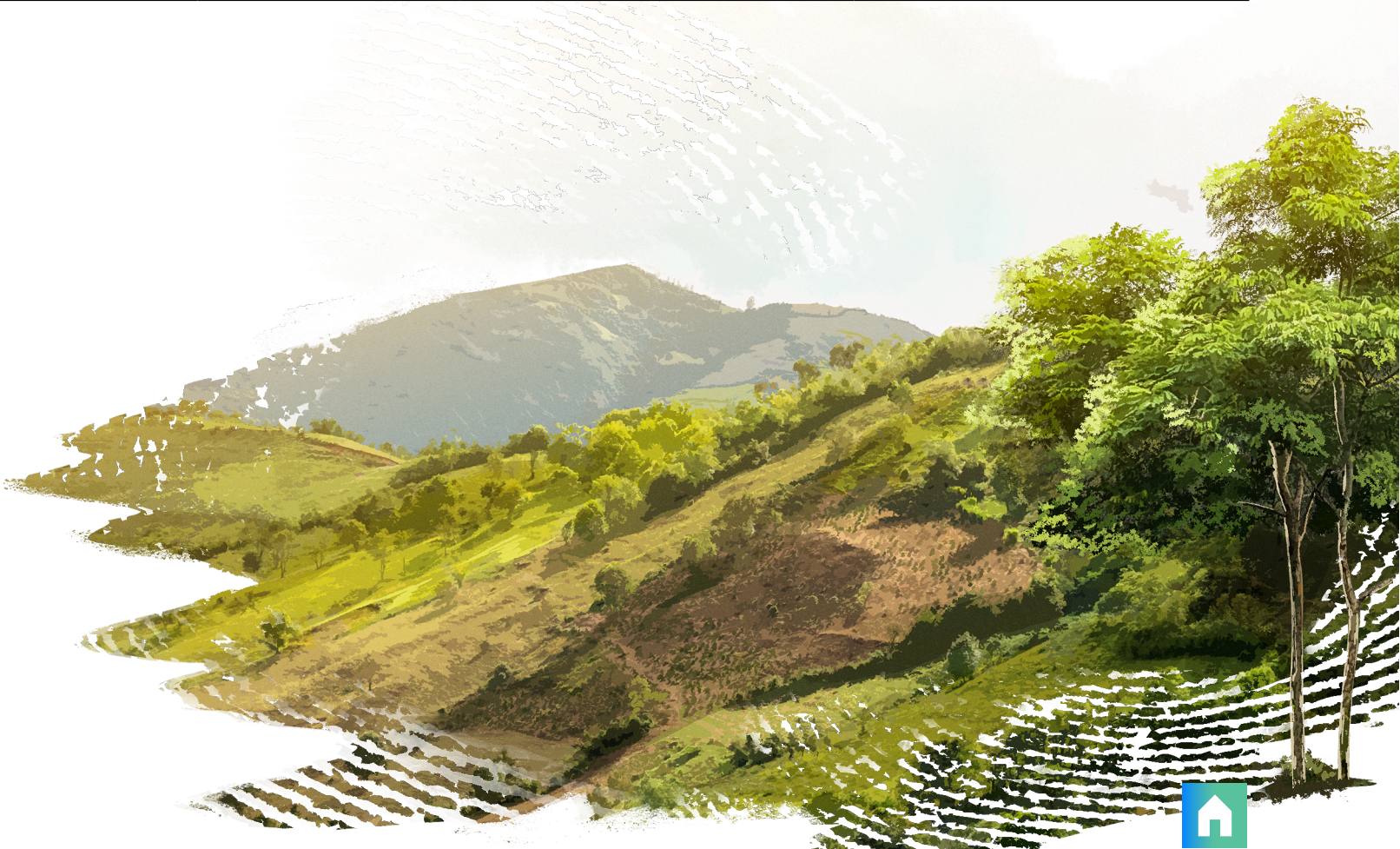
ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$COS_{i,20\text{ años}} = (COS_i / 20)$	Emisión anual del carbono orgánico del suelo en un periodo de 20 años
Parámetros y descriptores: COS_{i,20 años}: tasa anual de emisión del carbono orgánico del suelo en el bioma i durante un periodo de 20 años (tC ha⁻¹año⁻¹) COS_i: contenido de carbono orgánico del suelo en el bioma i (tC ha⁻¹) 20: número de años por defecto en el que se produce la liberación total del carbono del suelo después del evento de deforestación. i: cada uno de los cinco biomas que componen el territorio nacional (i.e, Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico)	

Para calcular el factor de emisión de este depósito de carbono, el COS a nivel de bioma fue diferido a 20 años, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 4.2, correspondientes a la tasa anual de emisión. Estos

valores fueron posteriormente convertidos a unidades equivalentes de dióxido de carbono mediante la multiplicación por la relación estequiométrica entre el CO₂ y el carbono elemental.

Tabla 4.2. Factores de emisión del carbono orgánico del suelo (COS) para cada bioma

BIOMA	COS (tC ha-1)	TASA ANUAL DE EMISIÓN DEL COS (tC ha-1año-1)	FACTOR DE EMISIÓN DEL COS (tCO ₂ ha-1 año-1)
Amazonía	73,76	3,69	13,52
Andes	124,65	6,23	22,85
Caribe	101,34	5,07	18,58
Orinoquía	64,51	3,23	11,83
Pacífico	92,49	4,62	16,96



4.13

Estimación de las emisiones brutas

Las emisiones brutas nacionales de CO₂ se calcularon sumando las emisiones brutas estimadas para cada bioma en el año de referencia, conforme a la siguiente ecuación.

Ecuación 4.13. Cálculo de las emisiones forestales anuales nacionales

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EA_t = \sum EA_{bioma,i}$	Emisiones forestales anuales nacionales
Parámetros y descriptores: EA _t : emisiones forestales anuales nacionales (tCO ₂ eq.) EA _{bioma,i} : emisiones forestales anuales en el bioma i (tCO ₂ eq.) i: cada uno de los cinco biomas que componen el territorio nacional (i.e, Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico)	

Para calcular las emisiones anuales a nivel de bioma, el área deforestada promedio (cambio en la superficie de bosque - CSB) estimada para cada bioma se multiplicó por su correspondiente factor de emisión. A este valor se sumaron las emisiones rezagadas del carbono orgánico del suelo (COS) para un periodo de 20 años, cuantificadas con base en la tasa

anual de emisión de este depósito de carbono y su equivalente en dióxido de carbono (factor de emisión). Las emisiones rezagadas del COS para un año específico dentro del periodo de referencia comprenden la suma acumulada de las emisiones generadas desde el año 2001 hasta dicho año. La Ecuación 4.14 expresa matemáticamente esta operación.

Ecuación 4.14. Cálculo de las emisiones anuales debidas a la deforestación a nivel de bioma

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$EA_{bioma,i} = (CSB_{bioma,i} * FE_{bioma,i}) + \sum_{y=2001}^n (CSB_{bioma,i} * COS_{i,20 años})$	Emisiones forestales anuales a nivel de bioma
Parámetros y descriptores: EA _{bioma,i} : emisiones forestales anuales en el bioma i (tCO ₂ eq.). CSB _{bioma,i} : cambio en la superficie de bosque (dato de actividad) en el bioma i (ha). FE _{bioma,i} : factor de emisión del bioma i (tCO ₂ eq. ha ⁻¹). COS _{i,20 años} : Tasa anual de emisión del COS en el bioma i para un periodo de 20 años (tCO ₂ eq. ha ⁻¹ año ⁻¹). N: número de años que comprende el periodo de referencia (10 años para el presente NREF) y: año inicial desde que se empieza a contabilizar la emisión de COS. n: año específico para el cual se acumulan las emisiones de COS. i: cada uno de los cinco biomas que componen el territorio nacional (i.e, Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico)	



EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Para el cálculo de la incertidumbre del NREF nacional para el periodo 2018-2022, se optó por el método de propagación del error en función de los coeficientes de variación (CVE) obtenidos para cada fuente de error. Las fuentes de error consideradas en este análisis incluyen los

factores de emisión de la biomasa aérea, biomasa subterránea y carbono orgánico del suelo, además de los datos de actividad.

La incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea y biomasa subterránea se calculó conforme a las ecuaciones 5.1 y 5.2.

Ecuación 5.1. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea.

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\delta(BA)_i = \sqrt{fc^2 * v(BA_i) / fc * BA_i}$	Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea
Parámetros y descriptores: $\delta(BA)_i$= incertidumbre de la biomasa aérea en el bioma i (%). BA_i = biomasa aérea estimada en el bioma i (t.ms/ha). fc = fracción de carbono de la materia seca $v(BA_i)$ = varianza de la biomasa aérea estimada en el bioma i (t.ms/ha)	



Ecuación 5.2. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\delta(BS)_i = \sqrt{fc^2 * v(BS_i) / fc * BS_i}$	Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea
Parámetros y descriptores: $\delta(BS)_i$ = incertidumbre de la biomasa subterránea en el bioma i (%). BS_i = biomasa subterránea estimada en el bioma i (t.ms/ha). fc = fracción de carbono de la materia seca $v(BS_i)$ = varianza de la biomasa subterránea estimada en el bioma i (t.ms/ha)	

Con estos resultados, se establece la incertidumbre asociada a la estimación de emisiones brutas, tal como se indica en la Ecuación 5.3.

Ecuación 5.3. Incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones brutas

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\delta(EB)_i = \sqrt{\delta(BA)^2 + \delta(BS)^2}$	Incertidumbre asociada a las emisiones brutas
Parámetros y descriptores: $\delta(EB)_i$ = incertidumbre asociada a las emisiones brutas en el bioma i (%). $\delta(BA)_i$ = incertidumbre de la biomasa aérea en el bioma i (%). $\delta(BS)_i$ = incertidumbre de la biomasa subterránea en el bioma i (%).	

Teniendo en cuenta que los datos de actividad forman parte de la estimación de emisiones brutas, en esta etapa se asocia la incertidumbre a estos con el fin de determinar la incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad, como se presenta en la Ecuación 5.4.

Ecuación 5.4. Incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\delta(EBC)_i = \sqrt{\delta(BA)^2 + \delta(BS)^2 + \delta(DA)^2}$	Incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad
Parámetros y descriptores: $\delta(EBC)_i$ = incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad en el bioma i (%). $\delta(BA)_i$ = incertidumbre de la biomasa aérea en el bioma i (%). $\delta(BS)_i$ = incertidumbre de la biomasa subterránea en el bioma i (%). $\delta(DA)$ = incertidumbre asociada a los datos de actividad (%).	

También se consideró necesario determinar el aporte a la incertidumbre del carbono en el suelo, para lo cual su estimación se define según lo expresado en la Ecuación 5.5.

Ecuación 5.5. Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\varepsilon(AC_{ico2}) = \sqrt{v(AC_{ico2}) / AC_{ico2}}$	Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo
Parámetros y descriptores: $\delta(AC_{ico2})$ = incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo en el bioma i (%). AC_{ico2} = promedio de emisiones acumuladas de carbono en el suelo en el periodo t, t+n en el bioma i (tCO ₂ eq./ha) $v(AC_{ico2})$ = varianza del promedio de emisiones acumuladas de carbono en el suelo en el periodo t, t+n en el bioma i (tCO ₂ eq./ha)	



La incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma (i), incluyendo la incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo, se obtiene según lo planteado en la Ecuación 5.6.

Ecuación 5.6. Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\delta FE_i = \sqrt{\delta (EB_i)^2 + \delta (AC_{iCO_2})^2}$	Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma i
Parámetros y descriptores: δFEi= incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para el bioma i (%). δ(EBi) = incertidumbre de las emisiones brutas para el bioma i (%). δ(ACiCO2) = incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo en el bioma i (%).	

Finalmente, la incertidumbre nacional de los factores de emisión responde a la siguiente Ecuación 5.7.

Ecuación 5.7. Incertidumbre nacional de los factores de emisión

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$\delta FE = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i^2 * \delta FE_i^2}$	Incertidumbre nacional de los factores de emisión
Parámetros y descriptores: δFE= incertidumbre nacional de los factores de emisión (%). δFEi= incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para el bioma i (%). Wi = proporción de bosque estable del bioma i con respecto al nivel nacional (%).	

Con base en lo anterior, la incertidumbre general de los resultados se presenta en la siguiente tabla, tanto a nivel nacional como desglosada por biomas.

Tabla 5.1. Cálculo de la incertidumbre nacional

BIOMA	Datos de actividad		Factor de carbono en BA		Factor de carbono en BS		Carbono orgánico del suelo			Errores emisiones brutas
	Observado (ha)	CVE	tC ha ⁻¹	CVE	tC ha ⁻¹	CVE	tC ha ⁻¹	(tC ha ⁻¹) /20 años	CVE	
Nacional	2.481.036	0,09	-	-	-	-	-	-	-	0,227
Amazonía	1.399.651	0,09	121,19	0,021	26,78	0,020	73,76	3,69	0,06	0,261
Andes	462.133	0,09	72,21	0,06	16,41	0,056	124,65	6,23	0,16	0,328
Caribe	281.178	0,09	61,22	0,097	14,13	0,089	101,34	5,07	0,20	0,367
Orinoquía	179.501	0,09	40,22	0,114	9,82	0,102	64,51	3,23	0,13	0,399
Pacífico	158.573	0,09	65,91	0,088	15,07	0,081	92,49	4,62	0,11	0,401

Con base en lo anterior, se estima una incertidumbre nacional del 20,4 % en lo que corresponde a las emisiones brutas.



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO DE COLOMBIA: SMByC

En el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), las Partes acordaron desde 2007 iniciar negociaciones sobre un acuerdo global para mitigar las emisiones potenciales de GEI generadas por los procesos de degradación y deforestación, con el fin de conservar y gestionar sosteniblemente los bosques y aumentar las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo, en lo que se conoce como la iniciativa REDD. Durante las Conferencias de las Partes de 2009, 2010 y 2013 (COP 15, 16 y 19, respectivamente), se adoptó la decisión de que los países en desarrollo deben establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que les permitan cuantificar las emisiones y absorciones de GEI, así como los

cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de carbono (D. 11/CP.19; D. 14/CP.19).

Colombia adoptó la Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques (EICDGB), incluyendo como una de sus líneas de acción el monitoreo y control permanente (línea de acción 4), cuyo objetivo es generar información confiable, consistente, oportuna y de calidad sobre la oferta, el estado, la presión y la dinámica del recurso forestal. Esta información sirve de soporte para la toma de decisiones a nivel nacional, regional y local, permitiendo implementar medidas y



acciones priorizadas por el país. Como marco normativo específico, el Ministerio de Ambiente expidió el Decreto 1655 de 2017, que establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Información Forestal, el Inventario Forestal Nacional y el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono, los cuales hacen parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia y cuya administración y operación están a cargo del Ideam.

El SMByC se define como el conjunto de procesos, metodologías, protocolos y herramientas para la generación periódica de información sobre: i) la superficie de bosques de Colombia y sus cambios en el tiempo; ii)

las reservas de carbono almacenadas en los bosques naturales; iii) las causas y agentes de la deforestación y la degradación de los bosques; y iv) las emisiones y absorciones de GEI asociadas a la deforestación y la degradación forestal.

El SMByC del Ideam es el instrumento que proporciona información sobre la deforestación en Colombia, incluyendo la identificación de superficies en áreas de bosque (B) y no bosque (NB), la cuantificación de la deforestación bruta y neta, así como los cambios en la cantidad de carbono almacenado en diferentes coberturas y compartimentos derivados de este proceso.

De acuerdo con lo dispuesto en las decisiones relevantes de la CMNUCC y el IPCC en su guía de buenas prácticas, el Ideam opera el SMByC bajo los principios de transparencia, completitud, comparabilidad, consistencia y precisión. Sus principales componentes son: i) monitoreo de la deforestación, ii) monitoreo de biomasa y carbono en bosques naturales, y iii) causas y agentes de deforestación. Toda la información generada por el SMByC está disponible en la página web del Ideam, excepto aquella con restricciones de uso.

Asimismo, el SMByC cuenta con características propias de sistemas autoadaptativos, en los que tanto sus parámetros como su estructura pueden ajustarse al entorno en tiempo real, permitiéndole evolucionar (e.g., expandirse o reducirse) a partir de un aprendizaje continuo (i.e., retroalimentación). Por ello, el SMByC adopta como principio el desarrollo e implementación de metodologías replicables, en constante evolución y con los mejores estándares de calidad para generar los datos cartográficos y estadísticos sobre el monitoreo de la superficie de bosque del país.



DESCRIPCIÓN DE LOS ROLES Y RESPONSABILIDADES PARA EL MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACION (MRV⁸)

Los componentes del sistema MRV se diseñan y construyen para estandarizar los procesos de medición, monitoreo, recolección, gestión de datos y reporte de resultados. Estos procesos son esenciales para demostrar el cumplimiento de metas y compromisos nacionales e internacionales, así como para garantizar la calidad y coherencia de los datos reportados. En la Tabla 7.1 se presenta el esquema de MRV para el NREF.

El SMByC del Ideam es la fuente de información y metodologías para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, específicamente en el sector Afolu, lo que asegura la consistencia de los reportes. Además de ser uno de los componentes del sistema MRV y proporcionar información para el MRV de REDD+, el SMByC suministra datos y metodologías para la elaboración de los inventarios de GEI en el sector Afolu, garantizando la coherencia de los reportes.

8 El monitoreo, reporte y verificación de las reducciones de emisiones consiste en el proceso de seguimiento continuo al avance de los impactos generados por la implementación de medidas de mitigación.



Tabla 7.1. Roles y responsabilidades para el monitoreo, reporte y verificación de resultados

MRV	INSTRUMENTO / PROYECTO	INSTITUCION RESPONSABLE	ROLES	INFORMACION ADICIONAL
Monitoreo	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono-SMByC	Ideam	Realizar seguimiento de la cobertura de bosque natural a nivel nacional y regional, a través de cuatro componentes: i) Alertas tempranas de deforestación; ii) monitoreo de carbono y iii) cuantificación de la superficie de bosque y deforestación; y iv) caracterización de causas y agentes de deforestación. Además, es el responsable de realizar la estimación de emisiones por reducción de la deforestación a nivel nacional y regional.	http://smbyc.ideam.gov.co/ http://www.siac.gov.co/smbyc
	Inventario Forestal Nacional-IFN	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ideam	Recoger datos que permitan realizar una estimación de las variables (y su error asociado) definidas para caracterizar las coberturas boscosas del país. Proveer información periódica y con un concepto multipropósito sobre la estructura, composición florística, diversidad, biomasa área, carbono almacenado en los detritos de madera muerta y en los suelos, y volumen de madera del bosque, la calidad y condiciones de la masa forestal, y la dinámica del recurso forestal.	http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestalnacional
Reporte	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono-SMByC	Ideam	Nivel nacional: • Boletín Trimestral de Alertas Tempranas por Deforestación. • Protocolos nacionales. • Mapas deforestación y contenido de carbono. • Reportes Anuales de superficie de Bosque y deforestación nacional. Nivel regional: • Reportes detallados de Alertas Tempranas en sitios críticos de Deforestación a nivel nacional (especial énfasis en el Bioma Amazónico). Nivel Internacional: • Reporte requeridos por la CMNUCC relacionados principalmente con REDD+, como el NREF y el Anexo Técnico del RBA.	http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestalnacional http://smbyc.ideam.gov.co/
	Inventario Forestal Nacional-IFN	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ideam	Proveer información que permita estimar los cambios de la biomasa aérea, el volumen de madera, el área basal, el número de individuos arbóreos y el carbono almacenado en el suelo y en los detritos de madera a lo largo del tiempo.	
Verificación	Consulta con expertos internacionales	UNFCCC	Verificación por las partes, a través del nombramiento de expertos en LULUCF, para evaluar el NREF y los anexos técnicos presentados.	http://unfccc.int/methods/redd/redd_web_platform/items/4531.php

Para el caso del Ideam, a través del SMByC se cuenta con una definición clara y concreta de actores, procesos y roles dentro del esquema operativo para el reporte de datos de actividad. Este proceso abarca desde la descarga de imágenes de satélite hasta el preprocesamiento, procesamiento e interpretación de imágenes. Los archivos resultantes de cada fase son almacenados por los intérpretes siguiendo una nomenclatura estandarizada, que permite identificar con claridad el producto al que hacen referencia, la fecha y la escena correspondiente. Estos archivos se almacenan en un servidor del Ideam bajo una estructura de carpetas definida para cada producto, y un administrador de la base de datos realiza revisiones y copias de seguridad periódicas de la información.

Cada producto, su nomenclatura y su estructuración se someten a un proceso de control de calidad antes de pasar a la siguiente fase y, si es necesario, son ajustados por los intérpretes (ver sección 2.5 Métodos y mecanismos para el control de calidad). Una vez finalizadas estas fases, se realiza la evaluación de exactitud temática de los mapas generados. Tras ejecutar los procedimientos de control de calidad, la coordinación de PDI y control de calidad genera los productos cartográficos finales y los indicadores de resultados, así como las versiones preliminares para publicación y presentación ante el MADS y el Ideam.



Durante todo el proceso, una persona se encarga de entrenar a nuevos intérpretes, mientras que un desarrollador de software trabaja de manera transversal para mejorar y optimizar la eficiencia de cada uno de los procesos (ver Tabla 7.2).

Tabla 7.2. Actores, procesos y roles del esquema operativo para reporte de datos de actividad por el SMBYC

Procesos / Roles	Actores											
	Coordinador PDI		Control de calidad		Intérpretes		Estructurador		Desarrollador		Capacitador	
	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos
Selección y descarga de imágenes de satélite	R	R	R	R	E	R	A	A		E	A	A
Pre-procesamiento imágenes de satélite	R	R	R	R	E	R				E	A	A
Procesamiento para la detección de cambios	R	R	R	R	E	R				E	A	A
Control de calidad a los resultados generados por los intérpretes	R	R	E	E						E	A	A
Generación de productos e indicadores	E	E	E	E	A	A	A	A	A	A	A	A
Publicación y presentación oficial de los resultados	E		A		A		A					
Estructuración de la información	R	R	R	R	E	E	E	E		A		
Entrenamiento	R	R	A	A	A	A					E	E
	A	Apoyo			R	Responsabilidad				E	Ejecución	



INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LOS RESULTADOS

Se presenta información completa que permite la reconstrucción del NREF y del presente anexo técnico. Esta sección contiene una descripción de la información requerida para la reconstrucción de los resultados. A continuación, se presentan los vínculos a las bases de datos e información geográfica necesarias para este propósito:

1.

Mapa digital base de Colombia.
Nota: se proporciona en formato vectorial (shapefile), con la proyección oficial de Colombia.
2.

Mapas temáticos de deforestación bienal para el periodo 2008-2012 (tres mapas bienales).
Nota: se proporcionan en formato raster (GeoTIFF), con la proyección oficial de Colombia.
3.

Mapa temático de deforestación anual para el año 2013 (un mapa anual).
Nota: se proporciona en formato raster (GeoTIFF), con la proyección oficial de Colombia.
4.

Mapa temático de deforestación anual para el año 2014 (un mapa anual).
Nota: se proporciona en formato raster (GeoTIFF), con la proyección oficial de Colombia.
5.

Mapa temático de deforestación anual para el año 2015 (un mapa anual).
Nota: se proporciona en formato raster (GeoTIFF), con la proyección oficial de Colombia.
6.

Mapa temático de deforestación anual para el año 2016 (un mapa anual).
Nota: se proporciona en formato raster (GeoTIFF), con la proyección oficial de Colombia.
7.

Mapa temático de deforestación anual para el año 2017 (un mapa anual).
Nota: se proporciona en formato raster (GeoTIFF), con la proyección oficial de Colombia.
8.

Mapa de bosque-no bosque del territorio colombiano correspondiente al año 2017.
9.

Mapa de biomas de Colombia.
10.

Ejemplo de la estructura de la base de datos implementada para la estimación de biomasa aérea, biomasa subterránea y carbono orgánico del suelo.
11.

Anexo metodológico del ajuste por circunstancias nacionales.



DESCRIPCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA DECISIÓN 4/CP.15 PÁRRAFO 1 (C) Y (D)

9.1 Uso de las orientaciones y directrices del IPCC

El método utilizado para la estimación de emisiones por deforestación en el presente anexo técnico y en el NREF de alcance nacional para el periodo 2018-2022 es consistente con las directrices del IPCC (2006) y con las orientaciones de buenas prácticas para la estimación de los “cambios en los contenidos de carbono de las tierras forestales convertidas a otras categorías de uso de las tierras”, descritas en GPG-LULUCF (IPCC, 2003).

Los datos de actividad corresponden a las áreas de deforestación (ha) cuantificadas anualmente. El factor de emisión integra el contenido de carbono por hectárea (tC/ha) en la biomasa aérea y la biomasa subterránea, estimados por el Ideam, mientras que el carbono orgánico del suelo (COS) se añade como la sumatoria de las emisiones rezagadas para un periodo de 20 años. Lo anterior conforma el conjunto de datos necesarios para una estimación Tier 2, según lo sugerido por el IPCC (IPCC, 2003).

Con la inclusión de 303 conglomerados procedentes del IFN, el país cumple con lo establecido en el literal D, numeral (iii), respecto al uso combinado del monitoreo de bosques mediante sistemas de teledetección y levantamiento de información en campo mediante inventarios forestales estandarizados. Esto permite mejorar las estimaciones de los contenidos de carbono, contribuyendo así a la robustez y transparencia de la información generada.

Finalmente, debe señalarse que las emisiones asociadas a la deforestación del bosque, correspondiente a la categoría 3B-Tierras, reportadas en el módulo Afolu en los inventarios nacionales de GEI, tanto en el segundo como en el tercer reporte bienal de actualización, son consistentes en cuanto a la definición de bosque, datos de actividad, factores de emisión y supuestos utilizados para el cálculo de emisiones en el NREF 2018-2022.



9.2

Establecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques de acuerdo con las circunstancias y capacidades nacionales

Creado en 2012, el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBByC) del Ideam constituye el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques, cuyo objetivo es generar información sobre cambios en la superficie de bosque y reportes de alertas tempranas por deforestación. Además, analiza las causas y agentes precursores de la deforestación y la degradación forestal, estima los contenidos de carbono en bosques naturales y apoya el fortalecimiento de capacidades para el monitoreo de la cobertura forestal. En su conjunto, estas acciones contribuyen a la conservación efectiva del bosque y al control integral de la deforestación a nivel nacional (APC Colombia, 2021).

En su proceso de fortalecimiento, el SMBByC ha conformado equipos de trabajo para las seis áreas temáticas que estructuran su operación:

- Generación de cifras anuales de deforestación.
- Alertas tempranas de deforestación.
- Transformación del bosque (causas y agentes).

- Escenarios, proyecciones y modelación.
- Monitoreo comunitario participativo.
- Procesamiento y análisis de imágenes.

Como resultado de estas actividades, hasta diciembre de 2022, el SMBByC había generado 16 reportes anuales sobre el monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación a nivel nacional. Asimismo, la información producida ha sido clave para la elaboración de reportes sobre cambio climático, como los reportes bienales de actualización (BUR), las comunicaciones nacionales de cambio climático y la actualización de la contribución determinada a nivel nacional (NDC) en 2020.





REFERENCIAS

APC Colombia. (2021). *Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono-SMB-yC*. Bogotá D.C.: APC Colombia.

Boyle, B., Hopkins, N., Lu, Z., Raigoza, J. A., Mozzherin, D., Rees, T., . . . Enquist, B. (2013). The taxonomic name resolution service: an online tool for automated standarization of plant names. *BMC Bioinformatics*.

Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the World's upland forests. *Oecologia*, 1-11.

Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S., Swenson, N., & Zanne, A. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 277-367.

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*.

CMNUCC. 2010. Informe de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto sobre su sexto periodo de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010: Decisiones adoptadas por la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto.

Galindo, G., Espejo, O., Rubiano, J. C., Vergara, L., & Cabrera, E. (2014). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V.2.0*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-Ideam.

GOFC-GOLD. 2014. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and fo- restation. GOFC-GOLD Report version (p. 243). Paises Bajos: Wageningen University

Ideam. (2021). *Manual de campo Inventario Forestal Nacional Colombia. Versión 5.2. Adaptado de "Ideam, 2018. Manual de campo Inventario Forestal Nacional Colombia, Versión 4.0"*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-Ideam.

IPCC. (2003). *Good practice guidelines for land use, land-use change and forestry*. Hayama (Japan): IGES-IPCC.

IPCC. (2006). Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. En H. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gases inventories* (págs. 1-93). Hayama (Japan): IGES-IPCC.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Ideam. (6 de Enero de 2020). *Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales por deforestación en Colombia para pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC*. Obtenido de Infohub REDD+ UNFCCC Web Platform: https://redd.unfccc.int/media/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1 de Agosto de 2018). Resolución 1447 de 2108. *Por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivle nacional de que trata el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015*. Bogotá D.C.: Diario Oficial 50673.

Pérez, M., Urrego, D., Rodriguez, C., Samaniego, X., Morales, A., Vargas, D., . . . Hernández, C. (2018). Anexo técnico de conformidad con lo establecido en la decisión 14 / cp. 19. En I. -P.-M.-D. Cancilleria, *Segundo reporte bienal de actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)* (págs. 333-355). Bogotá D.C.: Ideam-PNUD-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-DNP-Cancilleria-FMAM.



BTR 1

ANEXO 2

ANEXO TÉCNICO DE ACTIVIDADES REDD+
EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2018 – 2022
DE CONFORMIDAD CON LO ESTABLECIDO EN LA DECISIÓN 14/CP. 19

RESULTADOS ALCANZADOS POR
COLOMBIA EN LA REDUCCIÓN
DE EMISIONES POR DEFORESTACIÓN
EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL
PARA LOS PAGOS BASADOS EN
LOS RESULTADOS DE REDD+
PRIMER INFORME BIENAL DE
TRANSPARENCIA BTR 1 DE COLOMBIA

