

Anexo 2.



Anexo técnico de actividades reddy 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+





ANEXO TECNICO DE ACTIVIDADES REDD+ EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2018 – 2022. De conformidad con lo establecido en la Decisión 14 / CP. 19

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Gustavo Francisco Petro Urrego

Presidente de la República

Francia Elena Márquez Mina

Vicepresidenta

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

María Susana Muhamad González

Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Mauricio Cabrera Leal

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Lilia Tatiana Roa Avendaño

Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio

María Saralux Valbuena López

Directora de Cambio Climático y Gestión de Riesgo

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam

Ghisliane Echeverry Prieto

Directora general

Elizabeth Patiño Correa

Subdirectora de Estudios Ambientales

Leonardo Alfredo Pineda Pardo

Coordinador del Grupo de Cambio Global

Andrés Felipe Tapiero Ríos

Profesional del Grupo de Comunicaciones y Prensa

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.



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	8
2. SINOPSIS DEL NIVEL DE REFERENCIA NACIONAL DE EMISIONES FORESTALES (NREF) 2018 – 2022.....	8
2.1 Ajuste por circunstancias nacionales	11
3. RESULTADOS LOGRADOS POR REDD+ PARA EL PERIODO 2018 – 2022, CONSISTENTE CON EL NREF PRESENTADO EN 2020 PARA TODO EL TERRITORIO NACIONAL.....	14
4. CONSISTENCIA Y REPLICABILIDAD METODOLOGICA DE LOS RESULTADOS LOGRADOS	15
4.1 Actividades REDD+ incluidas	15
4.2 Sumideros incluidos	16
4.3 Gases considerados.....	16
4.4 Monitoreo de los datos de actividad.....	16
4.5 Factores de emisión	18
4.6 Post-estratificación	19
4.7 Estimación de la biomasa aérea de los individuos	20
4.8 Estimación de la biomasa aérea por hectárea.....	20
4.9 Estimación de la biomasa subterránea por hectárea	20
4.10 Estimación de la biomasa total y carbono asociado por hectárea	21
4.11 Estimación del contenido de carbono en el suelo.....	21
4.12 Factores de emisión por bioma.....	22
4.13 Estimación de las emisiones brutas	23
5. EVALUACION DE LA INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	24
6. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO DE COLOMBIA: SMByC	26
7. DESCRIPCION DE LOS ROLES Y RESPONSABILIDADES PARA EL MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACION (MRV).	27
8. INFORMACION NECESARIA PARA LA RECONSTRUCCION DE LOS RESULTADOS.....	29
9. DESCRIPCION DEL CUMPLIMIENTO DE LA DECISION 4/CP.15 PARRAFO 1 (C) Y (D) ...	30
9.1 Uso de las orientaciones y directrices del IPCC	30
9.2 Establecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques de acuerdo a las circunstancias y capacidades nacionales	30
10. BIBLIOGRAFIA	32



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Emisiones anuales promedio derivadas del periodo de referencia 2008 - 2017	11
Tabla 2. Deforestación proyectada para el periodo 2018 – 2022 con ajuste por circunstancias nacionales modeladas.....	13
Tabla 3. Resultados de emisiones reducidas frente al NREF 2018 - 2022	14
Tabla 4. Factores de emisión de la biomasa total para cada bioma	22
Tabla 5. Factores de emisión del carbono orgánico del suelo (COS) para cada bioma	23
Tabla 6. Cálculo de la incertidumbre nacional.....	26
Tabla 7. Roles y responsabilidades para el monitoreo, reporte y verificación de resultados	27



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de las regiones naturales de Colombia.....	10
Figura 2. NREF nacional para el período 2018 - 2022	13
Figura 3. Resultados estimados para el periodo 2018 – 2022 frente al NREF nacional	15
Figura 4. Esquema del procesamiento metodológico aplicado en el procesamiento digital de imágenes V.2.....	18



INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Calculo de las emisiones anuales promedio para el período de referencia	11
Ecuación 2. Calculo de la deforestación proyectada por el modelo logístico	12
Ecuación 3. Calculo del NREF con ajuste por circunstancias nacionales	13
Ecuación 4. Cálculo de las emisiones reducidas frente al NREF 2018 - 2022	14
Ecuación 5. Estimación de la altura en árboles.....	19
Ecuación 6. Estimación de la altura en árboles.....	19
Ecuación 7. Estimación de la biomasa aérea de arboles	20
Ecuación 8. Estimación de la biomasa aérea de helechos.....	20
Ecuación 9. Estimación de la biomasa aérea de palmas.....	20
Ecuación 10. Estimación de la biomasa subterránea	21
Ecuación 11. Estimación del contenido de carbono en la biomasa total	21
Ecuación 12. Estimación de la densidad aparente del suelo	21
Ecuación 13. Calculo del volumen del suelo	21
Ecuación 14. Calculo del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS).....	22
Ecuación 15. Calculo del factor de emisión asociado a la biomasa total	22
Ecuación 16. Tasa anual de emisión del carbono orgánico del suelo para cada bioma	23
Ecuación 17. Calculo de las emisiones forestales anuales nacionales	23
Ecuación 18. Calculo de las emisiones anuales debidas a la deforestación a nivel de bioma	24
Ecuación 19. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea	24
Ecuación 20. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea.....	24
Ecuación 21. Incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones brutas	24
Ecuación 22. Incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad	25
Ecuación 23. Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo.....	25
Ecuación 24. Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma	25
Ecuación 25. Incertidumbre nacional de los factores de emisión.....	25



ACRÓNIMOS

AFOLU:	Agricultura, Silvicultura y otros Usos del Suelo (por sus siglas en ingles).
BA:	Biomasa aérea.
BS:	Biomasa subterránea.
BT:	Biomasa total.
BUR:	Reporte Bienal de Actualización (por sus siglas en ingles).
CBF:	Carbono contenido en la biomasa total.
CMNUCC:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
COS:	Carbono Orgánico del Suelo.
CSB:	Cambio en la Superficie de Bosque.
DAP:	Diámetro a la altura del pecho.
EA:	Emisiones anuales estimadas.
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.
GPG – LULUCF:	Guía de Buenas Prácticas para el sector de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (por sus siglas en ingles).
IDEAM:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
IFN:	Inventario Forestal Nacional.
IPCC:	Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
MRV:	Monitoreo, Reporte y Verificación.
NB:	No Bosque.
NDC:	Contribución Determinada a Nivel Nacional.
NREF:	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales.
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.
REM:	REDD Early Movers
SMBYC:	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono de Colombia.



1. INTRODUCCION

Como parte de sus compromisos ante la CMNUCC, Colombia sometió su segundo nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) ante dicha instancia en enero de 2020. En atención a lo dispuesto en la Decisión 12/CP.17, éste segundo NREF presentó mejoras sustanciales respecto al primero entre las que se destaca el haber migrado de un alcance subnacional a una cobertura nacional de sus emisiones forestales. Debe indicarse que Colombia presentó su primer NREF (periodo 2013 - 2017) cobijando únicamente al bioma amazónico el cual abarca una extensión de 458.961 ha lo que representa el 40,3% del territorio continental colombiano. Durante dicho periodo, se obtuvieron resultados de mitigación por reducción de la deforestación para todo el periodo salvo para el año 2017, debido a que la tasa de deforestación se disparó como consecuencia de 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 y, 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 tCO_{2eq} (Pérez *et al.*, 2018).

Este segundo NREF de alcance nacional que cubre el periodo 2018 - 2022, solo consideró la deforestación como única actividad REDD+, la cual fue proyectada calculando el promedio histórico de la tasa de deforestación observada para el periodo 2008 – 2017 y, ajustándola por circunstancias nacionales mediante una proyección de estas utilizando un modelo logístico. Otra mejora contemplada 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. Con relación a este punto, y a diferencia del primer NREF, no existe un único factor de emisión, dado que el análisis nacional de las emisiones debidas a la deforestación se realizó de manera desagregada para los cinco biomas que conforman el territorio colombiano y, por lo tanto, cada una de ellas 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 se adelanta siguiendo los lineamientos del Marco de Varsovia sobre REDD+, de 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+ por efecto de la disminución de las emisiones de la deforestación bruta de todo el territorio nacional frente a su NREF nacional del periodo 2018 – 2022, el cual fue presentado ante la CMNUCC en enero de 2020¹.

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

2. 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 21º 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.

¹ Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf



Dicho artículo establece que el país someterá formalmente un NREF de cobertura nacional ante la CMNUCC, el cual se basará en datos históricos de deforestación considerando las dinámicas regionales de este fenómeno y cuyo periodo de vigencia no será menor a cinco años. De igual manera, concibe 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, se establece el NREF como una variable *sine qua non* para contabilizar los resultados de mitigación procedente de iniciativas REDD+ desarrolladas en el territorio nacional.

En consonancia con la Decisión 12 /CP. 17, el país mudó de un alcance subnacional a una cobertura nacional de sus emisiones forestales, pero manteniendo un enfoque regionalizado en el análisis de estas. Además de la Amazonía, lo anterior implicó la incorporación de los cuatro biomas restantes que comprenden el territorio colombiano, como lo son la región Andina, el Pacífico, el Caribe y la Orinoquía (Figura 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 debido a que, hasta entonces, el país no contaba con suficiente información que permitiera la inclusión de actividades REDD+ adicionales que pudieran ser reportadas con bajos niveles de incertidumbre. No obstante, debe señalarse que existen importantes avances técnicos para monitorear la degradación forestal mediante enfoques basados en análisis del paisaje y métricas de fragmentación, los cuales podrán verse reflejados en futuros niveles de referencia.

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

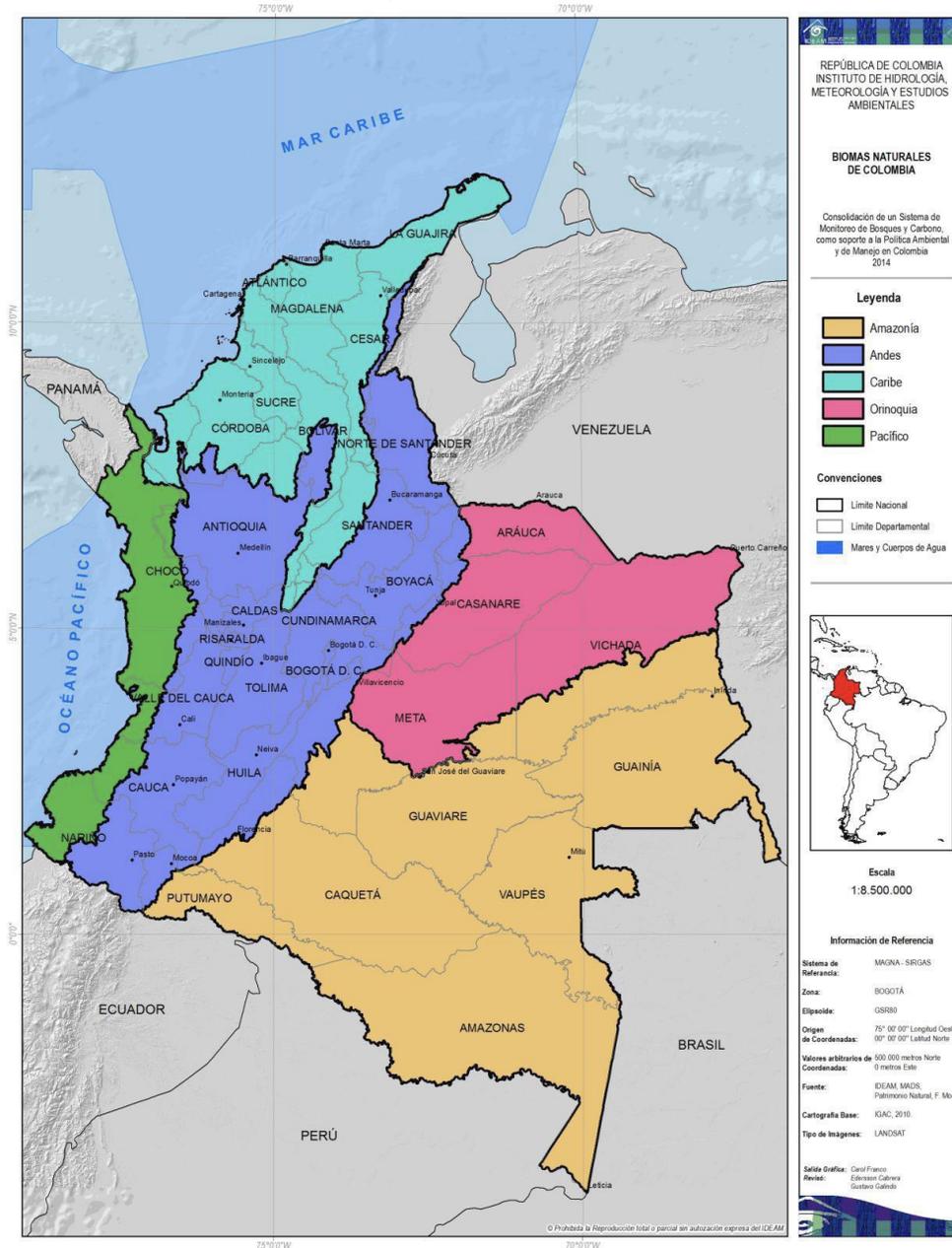
La inclusión de nueva y mejorada información permitió el ajuste de los factores de emisión, los cuales fueron calculados para cada uno de los cinco biomas que conforman el territorio colombiano. Cada factor de emisión integró los datos de biomasa aérea y biomasa subterránea y añadió las emisiones del COS transformadas en toneladas de CO₂ equivalente. Los datos de biomasa aérea fueron obtenidos a partir de un total de 303 unidades muestrales (conglomerados) distribuidos entre las diferentes regiones naturales. Debe mencionarse que dichos conglomerados proceden exclusivamente del Inventario Forestal Nacional (IFN) el cual comenzó a implementarse desde 2015 lo que permitió estandarizar tanto los procedimientos para la captura de información dasonómica como la geometría y tamaño de las unidades de muestreo, dejando como resultado cifras de biomasa por hectárea con menores niveles de incertidumbre. Otro cambio implementado tiene que ver con la modelación de la biomasa en árboles, la cual se llevó a cabo aplicando las ecuaciones alométricas propuestas por Chave *et al.* (2014) las cuales 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 utilizado previamente respecto de estimar este depósito en función del modelo propuesto por Cairns *et al.* (1997). Los contenidos de carbono en el suelo fueron inferidos a partir de la toma de muestras efectuadas en los conglomerados del inventario forestal, de las cuales se determinó la concentración de dicho elemento y la densidad aparente mediante análisis volumétrico. El resultado fue extrapolado a valores por hectárea.

La proyección de las emisiones del NREF 2018 – 2022 se basó en el análisis de la deforestación observada para el periodo de referencia 2008 – 2017. El nivel de referencia nacional fue construido a partir de la sumatoria de las proyecciones de las emisiones de los cinco biomas. Debe señalarse que se presentan emisiones brutas debidas a la deforestación puesto que para la fecha de elaboración del NREF, no se contaba con información sobre los cambios de cobertura ocurridos post-deforestación y, por lo tanto, no era posible establecer las ganancias de carbono asociadas a las coberturas emergentes lo que impedía obtener cifras sobre deforestación neta.



Figura 1. Mapa de los biomas de Colombia



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 cabo en junio de 2020, de manera virtual. Como resultado de esta primera ronda de revisión, el equipo evaluador de la CMNUCC recomendó la modificación al NREF original en virtud de un ajuste requerido a las cifras de emisiones reportadas para el periodo de vigencia. En consecuencia, una versión modificada del NREF fue remitida a la nuevamente a la CMNUCC el 18 de agosto de 2020. El reporte final del proceso de evaluación fue publicado el 18 de febrero de 2022², en la que se indica que el NREF presentado es el resultado del uso de datos e información transparente y completa por parte del país, la cual se ajusta a los lineamientos establecidos en la Decisión 12/CP. 17.

² Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/tar2020_COL.pdf

Como se indicó previamente, el NREF cubre un periodo quinquenal (2018 – 2022) y su proyección corresponde al agregado de las emisiones proyectadas para cada una de los cinco biomas, las cuales fueron calculadas individualmente como el producto de la deforestación promedio anual (dato de actividad) para el periodo 2008 – 2017 ocurrida en cada bioma por el factor de emisión de la biomasa total específicamente hallado 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 como supuesto que todo el carbono contenido en el depósito de biomasa aérea y subterránea se emite el mismo año que ocurre el evento de deforestación.

Este valor es ajustado por un porcentaje asociado a las circunstancias nacionales el cual varía para cada año del periodo de vigencia del NREF, el cual ha sido determinado conforme 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:

ECUACION	DESCRIPCION
$\bar{X}EA_{2008-2017} = \frac{\sum_{y=2008}^{2017} EA_t}{N}$	Emisiones anuales promedio para el periodo de referencia
Parámetros y descriptores: XEA ₂₀₀₈₋₂₀₁₇ : 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 1. La cifra nacional corresponde a la suma de los valores regionales.

Tabla 1. Emisiones anuales promedio derivadas del periodo de referencia 2008 - 2017

BIOMA	DATO DE ACTIVIDAD (ha/año)	FACTOR DE EMISION (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 para el periodo 2018–2022, el país optó por ajustar dicha proyección considerando las circunstancias nacionales que catalizan el fenómeno. Por la fluctuación de la deforestación, el país estimó conveniente modelar esa tendencia a partir de los datos observados para el periodo de referencia 2008 – 2017. La modelación responde a un análisis diferenciado para cada región (bioma) en donde los agentes causales son de distinta naturaleza lo que pueden tener una mayor o menor influencia sobre el evento de deforestación. Lo anterior se vio reforzado por los efectos del Acuerdo de Paz con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) debido a que se predecía un aumento de este fenómeno, lo cual se vio reflejado en las tasas de deforestación observadas en 2016 y 2017. Si bien el Acuerdo de Paz con el grupo insurgente FARC se firmó en noviembre de 2016, se hizo evidente que sus efectos comenzaron mucho antes de lograr su ratificación. En el documento del NREF 2018 – 2022 se plantearon la diversidad de factores que dispararon la deforestación en dicho periodo entre los que se destaca 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 otras (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - IDEAM, 2020).

En razón de lo anterior, el análisis de las circunstancias nacionales consideró tanto la deforestación acumulada durante el periodo de referencia como los cambios en las tendencias históricas observadas. De igual forma, al integrarse variables adicionales como el nivel de accesibilidad (física y legal) al recurso forestal o restricciones biofísicas que impiden el aprovechamiento del bosque, además de considerar que una porción de éste persiste y no se deforesta por diferentes motivos; se hace evidente que es difícil considerar un valor constante para todo el periodo de análisis y, por lo tanto, la predicción de la deforestación puede describirse de mejor manera 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 respecto al comportamiento de la deforestación en Colombia en años previos a 2018. Esta modelación fue adelantada de forma regionalizada para el periodo 2018 – 2022. El modelo utilizado se presenta en la Ecuación 2, el cual requiere de 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. Cálculo de la deforestación proyectada por el modelo logístico

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$N_t = \frac{K}{1 + e^{a+bt}}$	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 utiliza la deforestación observada hasta un año determinado (año 0), con el fin de redistribuirla de acuerdo con los parámetros de éste. Es importante señalar que la deforestación observada hasta el año 0 no puede ser considerada como bosque susceptible a 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 como fueron calculadas se presentan en el anexo técnico explicativo de estimación del ajuste por circunstancias nacionales del NREF 2018 - 2022³. Dado que la modelación lleva implícita un nivel de incertidumbre, se calcularon los correspondientes intervalos de confianza a partir del error medio absoluto del modelo. El ajuste final se efectuó considerando el límite inferior del intervalo de confianza, con lo cual, las circunstancias nacionales fluctuaron entre un 31,77% en 2018 hasta un 53,55% en 2022 tal como se presenta en la tabla 2.

³ Disponible en: https://redd.unfccc.int/media/31122019_anexo_circunstancias_nref_nal_v7.pdf

**Tabla 2. Deforestación proyectada para el periodo 2018 – 2022 con ajuste por circunstancias nacionales modeladas**

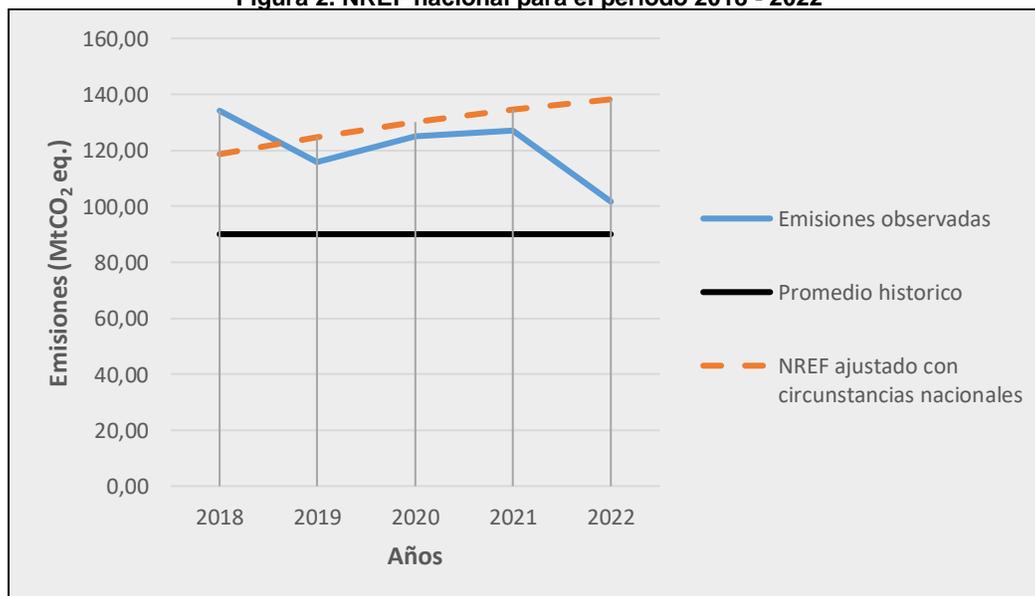
Año	Promedio histórico (ha)	Ajuste por circunstancias nacionales (ha)	Deforestación total proyectada (promedio histórico + circunstancias nacionales) (ha)	Ajuste (%)
2018	143.533	45.602	189.135	31,77%
2019	143.533	55.371	198.903	38,58%
2020	143.533	63.995	207.527	44,59%
2021	143.533	71.226	214.758	49,62%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

Con base en lo anterior, el NREF se construye como el producto entre el promedio histórico de las emisiones anuales nacionales y el porcentaje de ajuste por circunstancias nacionales para cada año del periodo de vigencia como se explica en la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Cálculo del NREF con ajuste por circunstancias nacionales

ECUACION	DESCRIPCION
$NREF_y = \bar{X}EA_{2008-2017} * (1 + CN\%_y)$	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).	

De esta forma, las emisiones forestales nacionales fluctuaron entre 118.613.986 tCO₂ eq. para el año 2018 hasta 138.219.454 tCO₂ eq. para el año 2022. En la Figura 2 se puede evidenciar que dichas emisiones excedieron las emisiones proyectadas bajo el promedio histórico para todo el periodo del NREF.

Figura 2. NREF nacional para el periodo 2018 - 2022



3. 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 usando la metodología cuya síntesis se presentó en el documento entregado en el año 2020, el cual se describe de manera detallada en el anexo metodológico que acompaña al mismo.

En el presente Anexo Técnico se reportan los resultados obtenidos por reducción de emisiones por deforestación bruta en el territorio colombiano para los años 2019, 2020, 2021 y 2022. Los resultados de emisiones reducidas (ER) para los años previamente indicados, corresponden a la diferencia entre el NREF y las emisiones estimadas (EA) para cada año conforme al dato de actividad observado (Ecuación 4). Las metodologías para la obtención de los datos y el procedimiento del cálculo se describen en la siguiente sección sobre el SMByC.

Ecuación 4. 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 (tCO ₂ eq.) ER _y : Emisiones reducidas para el año y (tCO ₂ eq.) EA _{t,y} : Emisiones anuales del año y inferidas a partir del dato de actividad observado (tCO ₂ eq.) y = año de referencia (2018 ≤ y ≤ 2022)	

Los resultados obtenidos con base en la anterior ecuación se presentan en la Tabla 3. Como puede observarse, para el año 2018 no se presentaron resultados frente al NREF debido a que la deforestación observada fue mayor que la deforestación proyectada por el modelo logístico utilizado. En los demás años del período de vigencia del NREF, la deforestación observada fue inferior a la deforestación proyectada, por lo tanto, se lograron reducciones de emisiones, siendo particularmente notable el año 2022 cuando dichas reducciones fueron del orden de 36,5 millones de tCO₂ eq.

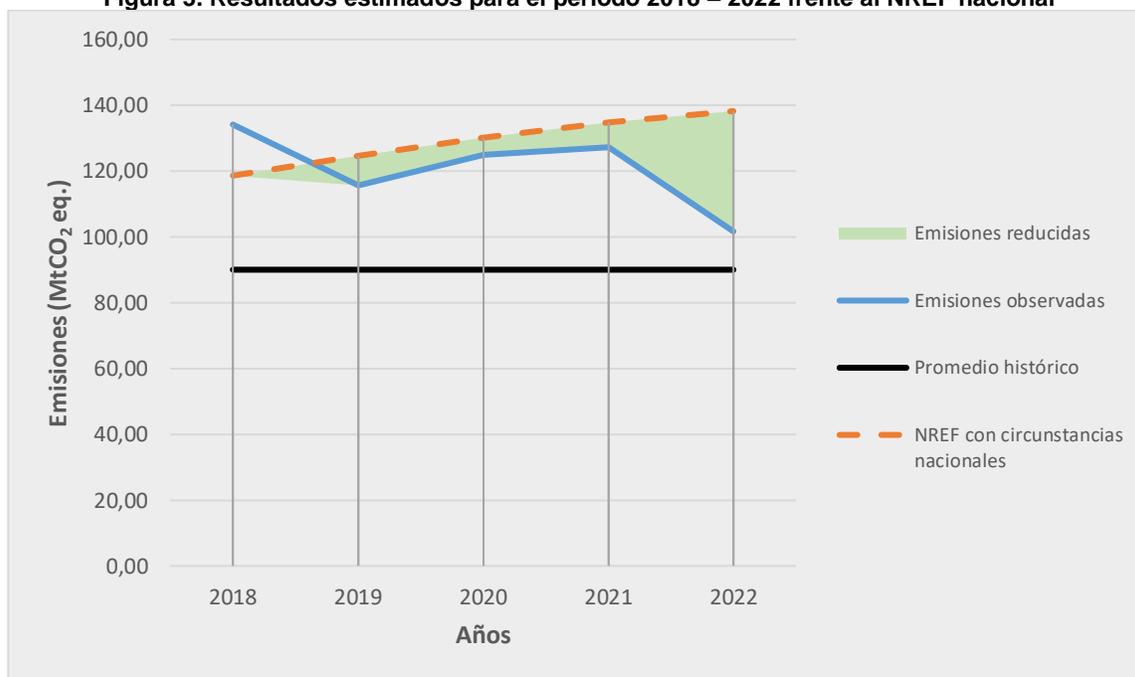
Tabla 3. Resultados de emisiones reducidas frente al NREF 2018 - 2022

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

En comparación con el promedio histórico, las emisiones por deforestación fueron mayores a lo largo del período de vigencia del NREF, incluso para el año 2022 en el cual la deforestación observada fue menor que la proyectada (Figura 3). Lo anterior obedece al efecto acumulado de las emisiones del COS, las cuales presentaron una tendencia incremental a partir del año 2020, contribuyendo de esta forma a un mayor volumen de emisiones por hectárea deforestada.



Figura 3. Resultados estimados para el periodo 2018 – 2022 frente al NREF nacional



4. CONSISTENCIA Y REPLICABILIDAD METODOLÓGICA DE LOS RESULTADOS LOGRADOS

Tanto la construcción del NREF de la actividad de reducción de emisiones por deforestación bruta, como los reportes de resultados de reducciones de emisiones logrados en todo el territorio colombiano y que se encuentran anexos a los BUR, se basan en la información generada por el SMByC, liderado por el IDEAM bajo las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La estimación de los resultados del presente reporte emplea la misma superficie, definición de bosque, sumideros, metodologías y conjunto de datos e información usados para la construcción del NREF de alcance nacional para el periodo 2018 - 2022, que fue objeto de evaluación técnica según lo establecido bajo la CMNUCC. Asimismo, este reporte es consistente con las metodologías y definiciones utilizadas en los reportes de reducción de emisiones (ER) previamente emitidos en el marco del Programa REM –Visión Amazonia y las utilizadas por Colombia para la presentación del Anexo Técnico de resultados 2013, 2014, 2015 y 2016 de REDD+, en el marco del primer y segundo Reporte Bienal de Actualización de Emisiones - BUR.

4.1 Actividades REDD+ incluidas

En línea con lo contenido en el NREF de alcance nacional presentado para el periodo 2018 - 2022, el presente anexo técnico incluye únicamente las emisiones de CO₂ debidas a la deforestación. Para el caso de degradación, aunque Colombia viene trabajando en el establecimiento de metodologías para la detección y monitoreo de esta actividad, los avances aún no permitieron incluir en este NREF información sobre emisiones debidas a la degradación forestal con bajos niveles de incertidumbre.

El SMByC ha generado una estimación bienal de la deforestación bruta para el periodo 2008 -2012, y anualizada para el periodo 2013 - 2017 para todo el territorio nacional utilizando principalmente imágenes del programa satelital LANDSAT, con una unidad mínima de mapeo de 1 ha. La tasa de



deforestación anual se presenta de manera regionalizada considerando las cinco biorregiones que componen el territorio colombiano⁴ y, por lo tanto, la suma de estas constituye la tasa de deforestación nacional. Los insumos y los datos sobre deforestación se encuentran disponibles para descarga en la siguiente página web: <http://smbyc.ideam.gov.co>⁸.

4.2 Sumideros incluidos

Conforme 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 el “Carbono orgánico del suelo – COS”, mientras que los sumideros “Hojarasca” y “Madera muerta” no son incluidos dado que no existe información disponible actualmente que permita incorporar dichos sumideros como parte del análisis. El factor de emisión de la biomasa aérea y subterránea consiste en el contenido de carbón por hectárea presente en la biomasa aérea y subterránea (raíces) medidos en toneladas de carbono por hectárea (tC ha⁻¹), para los tipos de bosques de cada uno de los biomas evaluados en el NREF.

Por otra parte, la estimación de las emisiones por deforestación del depósito del suelo asume una emisión bruta donde el contenido de carbono del suelo (COS) es liberado en proporciones iguales durante 20 años una vez sucede el evento de deforestación. Bajo este supuesto se calculó la tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años (COS20años), dividiendo el COS de cada bioma entre este número de años.

4.3 Gases considerados

El presente Anexo Técnico solo considera el dióxido de carbono como único GEI evaluado, de la misma forma en cómo se presentó en el NREF de alcance nacional del periodo 2018 – 2022.

4.4 Monitoreo de los datos de actividad

En el monitoreo de las áreas de bosque y la deforestación resulta fundamental el uso de imágenes de satélite (GOF-C-GOLD, 2014), gracias a que brindan la posibilidad de obtener información de la superficie terrestre con un amplio cubrimiento espacial y en algunos casos temporal. Al comparar imágenes de satélite de diferentes fechas es posible detectar cambios en la respuesta espectral característica de los bosques que son originados por diferentes factores: i) cambios abruptos naturales o de origen antrópico que se pueden asociar a eventos de deforestación o regeneración ii) variaciones estacionales o cíclicas (e.g. época de lluvias y épocas secas) 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 la generación de 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 a través de la utilización de imágenes provenientes del programa satelital LANDSAT (USGS 2014), dada la disponibilidad histórica, la resolución temporal y espacial para el monitoreo de la cobertura boscosa, facilidad de acceso a los datos y posibilidades de permanencia de dicho programa. La descripción detallada del proceso metodológico para la generación de la información de los cambios en la superficie de bosque se encuentra disponible en: <https://shorturl.at/hyaDw>.

El protocolo incluye cuatro grandes fases asociadas al tratamiento de los datos satelitales para la generación de los datos de actividad a saber: i) el pre-procesamiento digital de imágenes de satélite

⁴ 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.



(i.e. apilamiento de bandas, corrección geométrica, calibración radiométrica, enmascaramiento de nubes y cuerpos de agua, y normalización radiométrica); ii) el 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) la evaluación de la exactitud temática; y iv) el 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 diferentes etapas (13 en total) que componen las cuatro fases previamente mencionadas pueden ser consultadas en el numeral 7.3 del NREF nacional del periodo 2018 – 2022⁵.

Como se mencionó, Colombia aplicó un enfoque paso a paso para el desarrollo del NREF nacional y el reporte de ER (de acuerdo con la decisión 12/CP.17, parágrafo 10). Este enfoque permite la incorporación de la mejor información disponible y, en este sentido, la construcción del NREF consideró los datos observados de deforestación del periodo 2008 – 2017, de los cuales la serie 2008 – 2012 se basó en un monitoreo bienal de la deforestación, mientras que la serie 2013 – 2017 responde a una frecuencia de monitoreo anual.

Lo anterior debido a que desde el año 2013 Colombia desarrolló las capacidades técnicas para producir información oficial de la superficie de bosque con esta periodicidad, la cual se mantiene hasta la fecha. No obstante, es importante mencionar que en ambos casos han sido aplicados la misma metodología, definiciones y procedimientos para la generación de los datos de actividad.

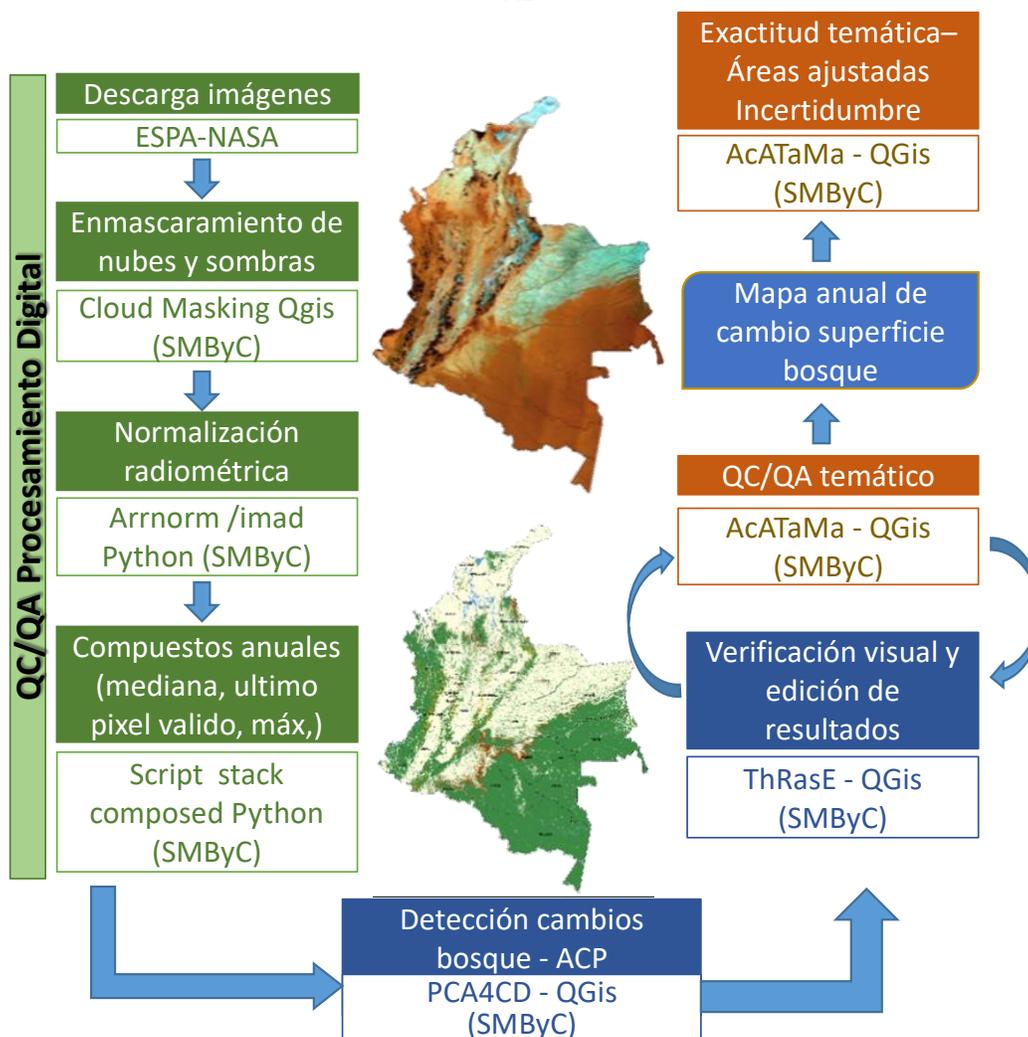
La Figura 4 presenta el esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2 para la generación de datos de actividad implementado por el SMyC. Mayor información acerca del protocolo anteriormente descrito está disponible en la documentación complementaria del NREF evaluado por la CMNUCC, disponible en http://redd.unfccc.int/files/anexo_a_protocolo_procesamiento_digital.pdf y en el siguiente link: (http://172.16.1.31:8380/documents/11769/43705281/Doc_metodo%20C3%B3gico_Monitoreo_superficie_bosque.pdf/ff746e63-1aca-4942-bafb-e0110191a02e).

Teniendo en cuenta que los resultados al aplicar los algoritmos de procesamiento (p.e. detección de cambios PCA) pueden generar falsas detecciones, y que por definición este no es un proceso libre de sesgos, el resultado es sometido a varios procesos de crítica por parte de los intérpretes y de control de calidad para identificar las unidades de observación (pixeles) con falsas detecciones, asignándoles el valor de la clase que realmente les corresponde. La primera parte de este proceso se realiza mediante procesos de revisión visual, en donde los intérpretes se apoyan en los diferentes compuestos agregados de las imágenes de satélite de la serie de tiempo para ajustar los resultados generados por PCA en las unidades de observación. Como lo establece el protocolo metodológico, la utilización de compuestos de mediana de todos los pixeles válidos permite mejorar los índices de cobertura y reducir los errores asociados a variaciones fenológicas o radiométricas de las imágenes, pero al ser un compuesto de tendencia central, puede que no se detecten correctamente los cambios ocurridos durante los últimos meses del año. Para corregir eso, cada intérprete se apoya en: i) las últimas imágenes de cada año de referencia; ii) los compuestos de imágenes que resumen el valor del pixel para la última fecha de observación válida en el año de referencia y; iii) los compuestos con la mediana de los valores válidos del último trimestre del año de referencia. Con estos tres insumos cada intérprete completa y ajusta los cambios detectados de manera visual y el resultado es sometido a control de calidad, que realiza una evaluación de estos resultados y si es el caso, los devuelve al intérprete para que los corrija.

⁵ Disponible en: https://redd.unfccc.int/media/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf



Figura 4. Esquema del procesamiento metodológico aplicado en el procesamiento digital de imágenes V.2



Una vez cada intérprete termina el proceso de verificación y clasificación del mapa de detección de cambios de bosque/no bosque, la parte que interpretó es sometida a otro proceso de crítica y verificación por parte de intérpretes diferentes hasta obtener una versión final satisfactoria de acuerdo con el control de calidad. Las versiones finales de cada escena son integradas en un único mapa de cambio de bosque que cubre la superficie continental e insular de San Andrés y Providencia. El mapa final se encuentra con el Sistema de Proyección oficial de Colombia MAGNA SIRGAS con origen 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 procedente 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.

Fundamentado en un riguroso diseño del marco geoestadístico, y en una metodología estandarizada para la toma de datos en campo; desde el año 2015 el IDEAM ha venido estableciendo conglomerados constituidos cada uno por cinco (5) parcelas circulares de 0,0707 hectáreas cada



una, dispuestas en cruz y distanciadas entre los centros de cada subparcela a 80 metros, con lo cual, cada unidad de muestreo suma un área total de 0,3535 hectáreas. En cada subparcela mayor, se establecen parcelas menores anidadas para medir cada una de las categorías diamétricas consideradas dentro del inventario forestal, que se resumen de la siguiente manera: individuos de 2,5-10 cm de diámetro (28,3 m² de área de medición), individuos de 10-30 cm de diámetro (153,9 m² de área de medición) e individuos con diámetros mayores a 30 cm (707 m² de área de medición). A cada uno de los individuos registrados en los conglomerados se le mide el diámetro a la altura del pecho (DAP).

Se evaluaron en total 303 conglomerados que corresponden al 20,5% del tamaño total de la muestra del inventario forestal, los cuales fueron levantados durante el período 2015-2018. Con base en estas unidades muestrales se realizaron los cálculos de los indicadores y salidas de información para determinar los factores de emisión utilizados en el NREF nacional.

Para la estimación de la altura de todos los individuos registrados, se generan modelos de regresión diámetro-altura, empleando la información de los individuos medidos en campo. El ajuste de los modelos se realizó de forma independiente para cada una de los cinco (5) biomas del país mediante el uso del modelo asintótico de Weibull para árboles y palmas como se indica en las Ecuaciones 5 y 6.

Ecuación 5. Estimación de la altura en árboles

ECUACION	DESCRIPCION
$H = 35,0609 * (1 - e^{(-0,057470 * (DAP^{0,72741})})})$	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 6. Estimación de la altura en palmas

ECUACION	DESCRIPCION
$H = 13,995250 * (1 - e^{(-0,050930 * (DAP^{1,40739})})})$	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 que fue determinada y homologada por la Red de Herbarios de Colombia. La actualización de nomenclatura y taxonomía de los nombres científicos, así como la verificación de su clasificación dentro del sistema APG III⁶, fue realizada a través del servicio web “*Taxonomic Name Resolution Service*” (Boyle *et al.* 2013). Con base en la identificación taxonómica, a cada individuo se le asignó un valor de densidad de madera, de acuerdo a 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, la densidad a nivel de familia. De no ser posible lo anterior, se asignaba el promedio de la densidad de las especies registradas en cada conglomerado.

4.6 Post-estratificación

El IFN fue diseñado bajo un esquema post-estratificado de muestreo simple y aleatorio. 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

⁶ Sistema de clasificación de plantas angiospermas. Su abreviatura corresponda al termino ingles *Angiosperm Phylogeny Group*.



cada estrato, que corresponden a la proporción del área del país que ocupa cada estrato. La post-estratificación es un caso particular de la metodología de calibración, en este caso se realiza una post-estratificación a dos vías: bosque-no bosque y biomasa, de tal forma que las estimaciones sean consistentes con las áreas de ambos post-estratos.

4.7 Estimación de la biomasa aérea de los individuos

La biomasa aérea de cada individuo fue estimada empleando las ecuaciones alométricas propuestas por Chave *et al.* (2014), para árboles, helechos y palmas, de tal forma como se describe en las ecuaciones 7, 8 y 9, respectivamente.

Ecuación 7. Estimación de la biomasa aérea de arboles

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$BA = 0,0673 * (DAP^2 * H * WD)^{0,976}$	Biomasa aérea de arboles	Chave <i>et al.</i> (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 ($t \cdot m^{-3}$)		

Ecuación 8. Estimación de la biomasa aérea de helechos

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$BA = \frac{-4266348}{1 - (2792284 * e^{(-0,313677 \cdot H)})}$	Biomasa aérea de helechos	Chave <i>et al.</i> (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 a 212 cm, los individuos con diámetro menor a 5 cm fueron excluidos de los cálculos, mientras que aquellos que excedieron el diámetro máximo empleado para ajustar la ecuación, se les asignó dicho valor (i.e. 212 cm) para estimar la biomasa aérea.

Ecuación 9. Estimación de la biomasa aérea de palmas

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$\ln(BA) = 0,360 + (1,218 * \ln(H))$	Biomasa aérea de palmas	Chave <i>et al.</i> (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 estimaciones agregadas de biomasa aérea por conglomerado, los valores fueron extrapolados a una hectárea ($t \text{ ha}^{-1}$) 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 fueron hallados 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 10.

**Ecuación 10. Estimación de la biomasa subterránea**

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$\ln(BS) = -1,085 + (0,9256 * \ln(BA))$	Biomasa subterránea por hectárea	Cairns <i>et al.</i> (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 fueron halladas en los numerales 4.8 y 4.9 del presente reporte. El carbono contenido en la biomasa total (CBF) fue hallado como el producto entre esta última variable y la fracción de carbono presente en la materia seca (0,47) como se plantea en la Ecuación 11.

Ecuación 11. Estimación del contenido de carbono en la biomasa total

ECUACION	DESCRIPCION
$CBF = BT * fc$	Contenido de carbono en la biomasa total por hectárea
Parámetros y descriptores: C _{BT} : 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 aproximadamente de 400 g de suelo, extraídos a una profundidad entre 0-30 cm. Adicionalmente, en cada subparcela se tomó una muestra de suelo para estimar la densidad aparente del suelo.

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

Ecuación 12. Estimación de la densidad aparente del suelo

ECUACION	DESCRIPCION
$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$	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 13.

Ecuación 13. Cálculo del volumen del suelo

ECUACION	DESCRIPCION
$V_s = \pi * r^2 * h$	Volumen de la muestra de suelo
Parámetros y descriptores: V _s : volumen de suelo (cm ³) 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 hasta la cual se tomó la muestra.

Ecuación 14. Cálculo del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS)

ECUACION	DESCRIPCION
$COS = \frac{\%C}{100} * \rho_s * profundidad * 10000$	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 (%) P _s : 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 fue repetido para cada conjunto de conglomerados localizados en cada uno de 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 BT y para COS, los cuales solo se integran cuando se estiman las emisiones anuales a nivel de bioma como se explica en el numeral 4.13.

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:

Ecuación 15. Cálculo del factor de emisión asociado a la biomasa total

ECUACION	DESCRIPCION
$CBFeq_i = CBF_i * \left(\frac{44}{12}\right)$	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>i</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>i</i> : cada uno de los cinco biomas que componen el territorio nacional (i.e, Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico)	

Tabla 4. 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 EMISION 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 el hecho que, una vez ocurrido el evento de deforestación, las emisiones de este depósito de carbono se producen de manera paulatina. El IPCC (2006) establece que la liberación del carbono contenido en el suelo ocurre en un lapso (por defecto) de 20 años, el cual se produce de manera proporcional. En virtud de lo anterior, los contenidos de carbono orgánico del suelo hallados para cada bioma (COS_{*i*}) fueron divididos por el periodo de cambio de las existencias (20 años) para obtener la tasa anual de liberación de CO₂.

Para el caso de la estimación de las emisiones por deforestación del depósito de suelos, se asume una emisión bruta donde el contenido de carbono del suelo (COS) se emite en proporciones iguales



durante 20 años una vez sucede el 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 sobre 20, según se plantea en la siguiente ecuación:

Ecuación 16. Tasa anual de emisión del carbono orgánico del suelo para cada bioma

ECUACION	DESCRIPCION
$COS_{i,20 \text{ años}} = \left(\frac{COS_i}{20} \right)$	Emisión anual del carbono orgánico del suelo en un periodo de 20 años
<p>Parámetros y descriptores: COS_{i,20 años}: tasa anual de emisión del carbono orgánico del suelo en el bioma i durante un período 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)</p>	

Para calcular el factor de emisión de este depósito de carbono, el COS a nivel de bioma fue diferido a 20 años arrojando los resultados que se presentan en la Tabla 5 en lo que corresponde a la tasa anual de emisión, los que, a su vez, fueron transformados en unidades equivalentes de dióxido de carbono multiplicándolos por la relación estequiométrica entre el CO₂ y el carbono elemental.

Tabla 5. Factores de emisión del carbono orgánico del suelo (COS) para cada bioma

BIOMA	COS (tC ha ⁻¹)	TASA ANUAL DE EMISION DEL COS (tC ha ⁻¹ año ⁻¹)	FACTOR DE EMISION 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 a partir de la sumatoria de las emisiones brutas calculadas para cada bioma en el año de referencia como se indica en la siguiente ecuación:

Ecuación 17. Cálculo de las emisiones forestales anuales nacionales

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_t = \sum EA_{bioma,i}$	Emisiones forestales anuales nacionales
<p>Parámetros y descriptores: EA_t: emisiones forestales anuales nacionales (tCO₂eq.) EA_{bioma,i}: emisiones forestales anuales en el bioma i (tCO₂eq.) i: cada uno de los cinco biomas que componen el territorio nacional (i.e, Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico)</p>	

Para calcular las emisiones anuales a nivel de bioma, el área deforestada promedio (cambio en la superficie de bosque – CSB) hallada para cada bioma fue multiplicada por su correspondiente factor de emisión. A dicho valor, se sumó las emisiones rezagadas del carbono orgánico del suelo para un periodo de 20 años y 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 referencia⁷, comprenden la suma acumulada de las emisiones producidas desde el año 2001 hasta el referido año. La Ecuación 18 expresa matemáticamente esta operación.

⁷ Comprende los 10 años previos (2008 – 2017) al periodo de vigencia del NREF nacional.

**Ecuación 18. Cálculo de las emisiones anuales debidas a la deforestación a nivel de bioma**

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{bioma,i} = (CSB_{bioma,i} * FE_{bioma,i}) + \sum_{y=2001}^n (CSB_{bioma,i} * COS_{i,20 \text{ años}})$	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)	

5. EVALUACION DE LA 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 para dicho 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 calcularon conforme a las Ecuaciones 19 y 20.

Ecuación 19. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea

ECUACION	DESCRIPCION
$\delta(BA)_i = \frac{\sqrt{fc^2 * v(BA_i)}}{fc * BA_i}$	Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea
Parámetros y descriptores: δ(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 20. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea

ECUACION	DESCRIPCION
$\delta(BS)_i = \frac{\sqrt{fc^2 * v(BS_i)}}{fc * BS_i}$	Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea
Parámetros y descriptores: δ(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 21.

Ecuación 21. Incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones brutas

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



Teniendo en cuenta que los datos de actividad hacen parte de la estimación de emisiones brutas, en esta etapa se asocia la incertidumbre a éstas para determinar la incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad como se presenta en la Ecuación 22:

Ecuación 22. Incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad

ECUACION	DESCRIPCION
$\delta(EBC_i) = \sqrt{\delta(BA)_i^2 + \delta(BS)_i^2 + \delta(DA)^2}$	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 (%). $\delta(BA)$ = incertidumbre de la biomasa aérea en el bioma i (%). $\delta(BS)$ = 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 suelo, para lo cual se definió su estimación como se expresa en la Ecuación 23:

Ecuación 23. Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo

ECUACION	DESCRIPCION
$\varepsilon(\overline{AC}_{iCO_2}) = \frac{\sqrt{v(\overline{AC}_{iCO_2})}}{\overline{AC}_{iCO_2}}$	Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo
Parámetros y descriptores: $\delta(AC_{iCO_2})$ = incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo en el bioma i (%). AC_{iCO_2} = promedio de emisiones acumuladas de carbono en el suelo en el periodo t, t+n en el bioma i (tCO ₂ eq./ha) $v(AC_{iCO_2})$ = varianza del promedio de emisiones acumuladas de carbono en el suelo en el período t, t+n en el bioma i (tCO ₂ eq./ha)	

La incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma (i), incorporando la incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo, se obtiene según como se plantea en la Ecuación 24:

Ecuación 24. Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma

ECUACION	DESCRIPCION
$\delta FE_i = \sqrt{\delta(EB_i)^2 + \delta(\overline{AC}_{iCO_2})^2}$	Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma i
Parámetros y descriptores: δFE_i = incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para el bioma i (%). $\delta(EB_i)$ = incertidumbre de las emisiones brutas para el bioma i (%). $\delta(AC_{iCO_2})$ = 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:

Ecuación 25. Incertidumbre nacional de los factores de emisión

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

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



Tabla 6. 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.

6. 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 el año 2007 iniciar las 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, 2013 (COP 15 y 16, 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/absorciones de GEI y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de Carbono (D. 11/ CP19; D. 14/ CP19).

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), que tiene como objetivo generar información confiable, consistente oportuna y de calidad sobre la oferta, el estado, presión y dinámica del recurso forestal, como soporte a proceso de toma de decisiones a nivel nacional, regional y local permitiendo implementar medidas y acciones prioritizadas 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 que hacen parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia y le confiere al IDEAM la administración y operación de dichos instrumentos.

El SMByC se define para el país 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 permite contar con 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/neta, así como los cambios en la cantidad de carbono almacenado en diferentes coberturas y/o compartimientos, que se desprenden de este proceso.

De acuerdo con lo dispuesto en las decisiones relevantes de la CMNUCC y el IPCC en su guía de las buenas prácticas, el IDEAM opera el SMByC bajo los siguientes principios: transparencia, completitud, comparabilidad, consistencia y precisión. Los principales componentes del SMByC 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 se encuentra disponible en la página web del IDEAM, a excepción de aquella que tiene restricciones de uso. Asimismo, el SMByC cuenta con características propias de sistemas auto-adaptativos, en los que tanto sus parámetros como su estructura se pueden adaptar al entorno en tiempo real, permitiéndole evolucionar (e.g. expandirse o reducirse) a partir de un aprendizaje continuo (i.e. retroalimentación). Es así como 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.

7. DESCRIPCION DE LOS ROLES Y RESPONSABILIDADES PARA EL MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACION (MRV8).

Los componentes del sistema MRV se diseñan y construyen para que estandaricen procesos de medición, monitoreo, recolección, gestión de datos y reporte de resultados, necesarios para demostrar el cumplimiento de metas y compromisos nacionales e internacionales, así como asegurar la calidad y coherencia de los datos reportados. En la Tabla 7 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 del sector AFOLU, lo que garantiza la consistencia de los reportes. El SMByC es uno de los componentes del sistema MRV y además de proporcionar la información para el MRV de REDD+ es fuente de información y metodologías para elaborar los Inventarios de GEI específicamente del sector AFOLU, lo que garantiza la consistencia de los reportes.

Tabla 7. 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	http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestalnacional

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.



			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.	
Reporte	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono - SMByC	IDEAM	Nivel Nacional: <ul style="list-style-type: none">• 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: <ul style="list-style-type: none">• Reportes detallados de Alertas Tempranas en sitios críticos de Deforestación a nivel nacional (especial énfasis en el Bioma Amazónico). Nivel Internacional: <ul style="list-style-type: none">• 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 tiene una definición clara y concreta de actores, procesos y roles del esquema operativo para el reporte de datos de actividad por el SMByC, desde la descarga de imágenes de satélite, pre-procesamiento, procesamiento e interpretación de imágenes. Los archivos resultantes de cada una de las fases son almacenados por los intérpretes siguiendo una nomenclatura estandarizada que permite tener claridad del producto al que hace referencia, la fecha y la escena a la que corresponde; estos archivos son almacenados en un servidor del IDEAM siguiendo una estructura de carpetas definida para cada producto y un administrador de la base de datos realiza revisiones y copias de seguridad periódicas a esta información.

Cada uno de los productos, su nomenclatura y su estructuración es sometido a un proceso de control de calidad antes de seguir a la siguiente fase, y si es necesario es ajustado por los intérpretes. (Ver sección 2.5 Métodos y mecanismos para el Control de calidad) Una vez finalizadas estas fases se realiza el proceso de evaluación de exactitud temática de los mapas generados. Una vez ejecutados



los procedimientos de control de calidad, la coordinación de PDI y Control de calidad generan los productos cartográficos finales y los indicadores de resultados, al igual que las versiones preliminares de publicación y presentación de resultados para ser evaluados por el MADS y el IDEAM. Durante todo el proceso hay una persona encargada de entrenar a nuevos intérpretes y un desarrollador de software de manera transversal se encarga de mejorar y volver más eficiente cada uno de los procesos (ver Tabla 8).

Tabla 8. 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										
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			

8. 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 vínculos a las bases de datos e información geográfica que permite la reconstrucción de los resultados.

1. Mapa digital base de Colombia.

Nota: Se proporciona en formato vectorial (shapefile), proyección oficial de Colombia.

2. Mapas temáticos de deforestación bienal para el período de 2008 a 2012, (tres mapas bienales).

Nota: Todos los mapas se proporcionan en formato Raster (geotiff), proyección oficial de Colombia.

3. Mapa temático de deforestación anual para el año 2013 (un mapa anual). Formato Raster, proyección oficial de Colombia.

Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (geotiff), proyección oficial de Colombia.

4. Mapa temático de deforestación anual para el año 2014 (un mapa anual). Formato Raster, proyección oficial de Colombia.

Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (geotiff), proyección oficial de Colombia.



5. Mapa temático de deforestación anual para el año 2015 (un mapa anual). Formato Raster, proyección oficial de Colombia.

Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (geotiff), proyección oficial de Colombia.

6. Mapa temático de deforestación anual para el año 2016 (un mapa anual). Formato Raster, proyección oficial de Colombia.

Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (geotiff), proyección oficial de Colombia.

7. Mapa temático de deforestación anual para el año 2017 (un mapa anual). Formato Raster, proyección oficial de Colombia.

Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (geotiff), 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

9. 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 usado 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 2006 del IPCC y las orientaciones de buenas prácticas para la estimación de los “cambios en los contenidos de carbono de las tierras forestales convertidos 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 COS se añade como la sumatoria de las emisiones rezagadas para un periodo de 20 años. Lo anterior conforma el conjunto de los datos necesarios para una estimación *Tier 2* como lo sugiere IPCC (IPCC, 2003).

Con la inclusión de 303 conglomerados procedentes del IFN, el país da alcance a 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, lo cual permite un mejoramiento de las estimaciones en los contenidos de carbono, contribuyendo de esta manera con la robustez y transparencia de la información generada.

Finalmente, debe indicarse que las emisiones asociadas a deforestación del bosque correspondiente a la categoría 3B-Tierras que se reportan en el módulo AFOLU en los inventarios nacionales de GEI, tanto en el segundo como tercer reporte bienal de actualización son consistentes en cuanto a la definición de bosque, datos de actividad, factores de emisión y supuestos usados 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 (SMByC) del IDEAM, constituye el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques, el cual tiene como objetivos la generación de información sobre cambios en la superficie de bosque y reportes de alertas tempranas por deforestación, el análisis sobre las causas y agentes precursores de la deforestación y la degradación forestal, la estimación de los contenidos de carbono en bosques naturales y el apoyo al



fortalecimiento de capacidades para el monitoreo de la cobertura forestal, las cuales en su conjunto contribuyen en la conservación efectiva del bosque y el control integral de la deforestación a nivel nacional (APC Colombia, 2021). En su proceso de fortalecimiento, el SMByC ha generado equipos de trabajo para las seis áreas temáticas que conforman su estructura:

- 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 lo anterior, hasta diciembre de 2022, el SMByC había generado 16 reportes anuales del monitoreo de la superficie de bosque y deforestación a nivel nacional. De igual forma, la información generada por el SMByC ha sido clave para la generación de reportes de 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.



10. BIBLIOGRAFÍA

- APC Colombia. (2021). *Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono - SMBByC*. 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 período 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). Paisas 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 nivel 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. Cancillería, *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 - Cancillería - FMAM.

