

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MINAMBIENTE
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

**PROPUESTA DE NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES POR DEFORESTACIÓN
EN COLOMBIA PARA PAGO POR RESULTADOS DE REDD+ BAJO LA CMNUCC**

Bogotá, diciembre de 2019

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MINAMBIENTE

RICARDO JOSÉ LOZANO PICÓN – MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

MARÍA CLAUDIA GARCÍA DÁVILA – VICEMINISTRA DE POLÍTICAS Y NORMALIZACIÓN AMBIENTAL

ROBERTO MARIO ESMERAL BERRÍO – VICEMINISTRO DE ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO

EDGAR EMILIO RODRÍGUEZ BASTIDAS – DIRECTOR DE BOSQUES, BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

JOSÉ FRANCISCO CHARRY RUIZ – DIRECTOR DE CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DEL RIESGO

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM

YOLANDA GONZÁLEZ HERNÁNDEZ - DIRECTORA GENERAL

ANA CELIA SALINAS MARTÍN - SUBDIRECTORA DE ECOSISTEMAS E INFORMACIÓN AMBIENTAL

DIANA MARCELA VARGAS GALVIS - SUBDIRECTORA DE ESTUDIOS AMBIENTALES

EQUIPO TÉCNICO

MINAMBIENTE

DAVID FERNANDO URREGO

CAMILA RODRÍGUEZ

JAVIER ARISTIZÁBAL

IDEAM

DIANA VARGAS

EDERSSON CABRERA

GUSTAVO GALINDO

JOSÉ JULIÁN GONZÁLEZ

IVÁN PÉREZ

LINA KATHERINE VERGARA

EDILNEYI ZÚÑIGA

ALEXANDER CUBILLOS

NELSON SALINAS

JUAN DAVID TURRIAGO

MARÍA CECILIA CARDONA

CONSTANTINO HERNÁNDEZ

CLAUDIA PATRICIA OLARTE

APOYO TÉCNICO Y CONTROL DE CALIDAD

ADRIANA PATRICIA YEPES. FAO – COLOMBIA

MARIEKE SANDLER FAO

IVÁN DARÍO VALENCIA ECDBC MINISTERIO DE AMBIENTE

Tabla de contenido

GLOSARIO	6
INTRODUCCIÓN	7
1. ÁREA DE CUBRIMIENTO DEL NREF	7
2. CONTEXTO NACIONAL	9
2.1 Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión De Los Bosques	10
3. Definición de Bosque	12
4. Actividades REDD+ incluidas	12
5. Sumideros incluidos	12
6. Gases incluidos	12
7. Construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales Nacional	12
7.1 Escala	12
7.2 Periodos de referencia y proyección	13
7.3 Datos de actividad	13
7.3.1 Fase 1: Pre-procesamiento digital de imágenes de satélite	13
7.3.2 Fase 2: Procesamiento digital de imágenes de satélite	16
7.3.3 Fase 3: Evaluación de la exactitud temática	19
7.3.4 Fase 4: Cálculos y reportes.	21
7.4 Factores de emisión	24
7.4.1 Origen y tratamiento de los datos de campo	24
7.4.2 Estratificación	27
7.4.3 Estimadores	27
7.5 Circunstancias nacionales	32
7.5.1 Comportamiento observado en los motores de deforestación durante las negociaciones y luego de la firma del acuerdo de paz	33
7.5.2 Supuestos y aproximación modelada al cálculo del ajuste por circunstancias nacionales	34
7.5.3 Modelo logístico	35
7.5.4 Ajuste del NREF por circunstancias nacionales 2018-2022	39
8. Construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales	40
7.6 Cálculo del NREF	41
7.7 Cálculo de incertidumbre del NREF	42
9. Consistencia entre reportes de emisiones presentados a la CMNUCC	43
7.8 Consistencia entre el NREF nacional y el segundo Reporte Bienal de Actualización (RBA)	43
7.9 Diferencias con el NREF anterior	44

10.	Necesidades de creación de capacidades, mejoras y avances.	44
11.	Referencias bibliográficas	46
12.	Anexos	49

Listado de Figuras

Figura 1. Mapa de Biomas de Colombia (Regiones Naturales).....	8
Figura 2. Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMByC.....	15
Figura 3. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8.....	16
Figura 4. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2.....	18
Figura 5. Ventana de interpretación de los puntos de muestreo en el aplicativo qGIS Acatama.....	21
Figura 6. Monitoreo del cambio en la Superficie de bosque en Colombia. Periodo 2008 – 2017.....	23
Figura 7. Mapa de Superficie deforestada en Colombia. Año 2017.....	24
Figura 8. Mapa de distribución de conglomerados del IFN a nivel de nacional y bioma para el NREF.....	26
Figura 9. Estimación del bosque susceptible a ser deforestado (K).....	37
Figura 10. Proyección nacional de pérdida de bosque natural.....	38
Figura 11. Proyección nacional de pérdida de bosque natural con el ajuste del intervalo inferior.....	40

Listado de Tablas

Tabla 1. Monitoreo de datos de actividad (Deforestación) para la construcción del Nivel de Referencia.....	22
Tabla 2. Biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS), biomasa total (BT), dióxido de carbono equivalente contenido de la biomasa total de la región (CBFeq) para cinco regiones naturales.....	30
Tabla 3. Carbono orgánico del suelo (COS), COS _{20AÑOS} y COSeq para cinco regiones naturales.....	31
Tabla 4. Estimación de Factores de Emisión del bosque natural por cada bioma en Colombia.....	31
Tabla 5. Tasa de crecimiento de la deforestación (b) estimada por bioma.....	36
Tabla 6. Área de bosque susceptible a ser deforestado (K) estimada por bioma.....	37
Tabla 8. Intervalos de confianza para el ajuste por cambio en las circunstancias nacionales.....	39
Tabla 9. Ajuste anual del NREF por circunstancias nacionales. Período 2018-2022.....	39
Tabla 10. Resumen de insumos seleccionados para la simulación de la deforestación.....	40
Tabla 11. Estimación del NREF a nivel nacional en Colombia.....	41
Tabla 12. Cálculo de la incertidumbre Nacional.....	43

GLOSARIO

AFOLU:	Agricultura Silvicultura y Usos del Suelo
BA:	Biomasa aérea
BS:	Biomasa Subterránea
BT:	Biomasa Total
CMNUCC:	Convención Marco de la Naciones Unidas Contra el Cambio Climático.
DAP:	Diámetro a la altura del pecho
EA:	Emisiones estimadas
EICDGB:	Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques
ER:	Emisiones Reducidas
ENREDD+:	Estrategia Nacional REDD+.
FARC:	Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
H:	Altura de los individuos
IBA:	Informe Bienal de Actualización
IDEAM:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IFN:	Inventario Forestal Nacional
IPCC:	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por su traducción del inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change).
MADS:	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
MRV:	Medición, Reporte y verificación.
M.S.N.M:	Metros sobre el nivel del mar
NREF:	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales.
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación y la conservación, manejo forestal sostenible y mejora de los contenidos de carbono en los países en desarrollo.
REM:	REDD EARLY MOVERS
SMBYC:	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono.
WD:	Densidad de la madera

INTRODUCCIÓN

En el marco de las medidas mencionadas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Colombia (CMNUCC), Colombia presenta su segundo nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) para que sea incluido en el proceso de evaluación técnica requerido para optar al mecanismo de pagos basados en resultados por efecto de la reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal, la conservación de bosques, el manejo forestal sostenible y el mejoramiento de los contenidos de carbono en los países en desarrollo (REDD +) ante la CMNUCC.

Colombia resalta que la presentación de este NREF y sus anexos técnicos, es voluntaria y tiene como propósito exclusivo generar la línea base que permita medir el desempeño de la implementación de las actividades señaladas en el párrafo 70 de la Decisión 1/CP.16 y obtener pagos por las acciones de REDD+ basado en resultados bajo las directrices del Marco de Varsovia sobre REDD+, de conformidad con las decisiones 9/CP.19, 13/CP.19, 14/CP.19, y de aquellas otras allí citadas, así como del Artículo 5 del Acuerdo de París, el cual las recoge.

Para el desarrollo del presente nivel de referencia de emisiones forestales, el país sigue las directrices del Anexo de la Decisión 12/CP.17, y aplica una aproximación “step-wise”, pasando de una escala subnacional a una nacional, lo que permite tener una información mucho más robusta y de mayor alcance, mejorando la precisión de los resultados derivados del NREF. Además, con éste nuevo nivel de referencia, Colombia propone un nuevo enfoque para proyectar el comportamiento de la deforestación, en donde las circunstancias nacionales no mantienen una tendencia uniforme a lo largo del tiempo, sino que presenta variaciones anuales con respecto al promedio histórico de deforestación, las cuales pueden ser estimadas a partir de un modelo logístico.

La estructuración del presente documento de NREF contempla la inclusión de los siguientes ítems:

- a) Información usada en la construcción del NREF.
- b) Transparencia, completitud, consistencia y precisión, incluida la información metodológica usada en el momento de construir el NREF.
- c) Sumideros, gases y actividades incluidas en el NREF.
- d) La definición de bosque usada.

Cada uno de estos literales se aborda en los siguientes apartados del documento.

1. ÁREA DE CUBRIMIENTO DEL NREF

De acuerdo con la decisión 12/CP.17 se presenta un NREF nacional, el cual corresponde al área de los cinco biomas distribuidos en el territorio continental colombiano. El concepto de bioma define ambientes extensos y uniformes de la geobiosfera (Walter, 1980), y corresponde a un área homogénea en términos biofísicos. En Colombia se pueden identificar cinco grandes biomas (Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico), delimitados con base en criterios biogeográficos, principalmente asociados a la distribución natural del bosque, a la geomorfología y/o rangos altitudinales (Rodríguez *et al.*, 2006; Narváez & León, 2001), su distribución se puede ver en la Figura 1

A continuación, se describe cada uno de los biomas:

Bioma Amazónico: El límite noroccidental corresponde al denominado piedemonte entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonia y Orinoquía; el límite nororiental corresponde

al límite norte de distribución del bosque amazónico con las sabanas de la Orinoquía; y al oriente y sur hasta las fronteras internacionales con la República Bolivariana de Venezuela, República Federativa de Brasil, República del Perú y República del Ecuador (Figura 1).

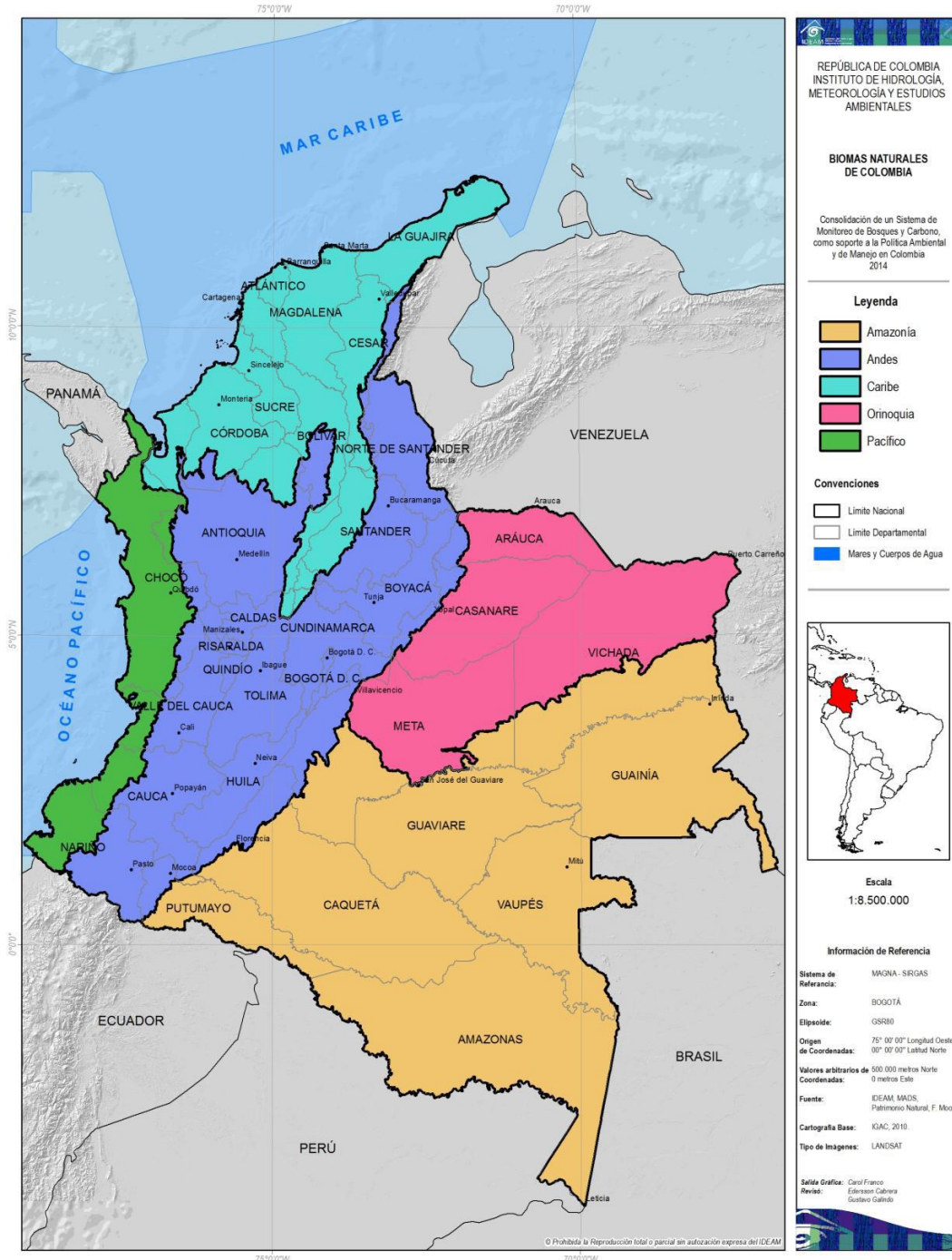


Figura 1. Mapa de Biomas de Colombia (Regiones Naturales)

Bioma Orinoquía: El límite occidental corresponde al denominado piedemonte de la cordillera Oriental entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonia y Orinoquía; el límite sur corresponde al límite del bioma amazónico con las sabanas de la Orinoquía; y al oriente y norte hasta la frontera internacional con la República Bolivariana de Venezuela.

Bioma de los Andes: El límite inferior corresponde al piedemonte de las cordilleras Occidental, Central y Oriental en Colombia, entre los 400 – 500 msnm, hacia el lado Oriental convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonia, Orinoquía, hacia el lado occidental colinda con el Bioma del Pacífico y Magdalena medio. Hacia el norte colinda con el Bioma Caribe. Dentro de su límite se incluyen los valles interandinos, donde generalmente se localizan enclaves de ecosistemas secos.

Bioma del Pacífico: El límite occidental corresponde al litoral costero del Océano Pacífico en Colombia, el límite oriental corresponde al denominado piedemonte de la cordillera Occidental entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales del Pacífico y Magdalena medio. El límite sur corresponde a la frontera internacional con la República del Ecuador y el límite noroccidental corresponde a la frontera internacional con la República de Panamá.

Bioma del Caribe: El límite Norte corresponde al litoral costero del Mar Caribe en Colombia, el límite oriental corresponde al denominado piedemonte de la Serranía del Perijá y la Cordillera Oriental entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales del Magdalena medio. El límite sur corresponde al límite norte del bioma de los Andes.

2. CONTEXTO NACIONAL

Colombia es un país forestal tropical, el segundo con la mayor diversidad biológica del mundo y el tercero de Sudamérica con mayor área de cobertura en cuanto a bosques tropicales se refiere, representando el 5,23% de la oferta total para América del Sur Tropical. Para el año 2017, contaba con 59,3 millones de hectáreas de bosque natural que representan el 52% del área total de la superficie continental e insular del país, y lo convierten en el tercer país de Suramérica con mayor área en bosques naturales.

Los bosques naturales de Colombia están distribuidos en las cinco principales regiones biogeográficas del país o regiones naturales, se encuentran en mayor proporción en las regiones de Amazonía y Andina (66,6% y 17,8% respectivamente), seguidos por las regiones Pacífico, Orinoquía y Caribe (8,8%; 3,6% y 2,9% respectivamente).

En Colombia, la tenencia de los bosques es significativa por parte de los grupos étnicos, los cuales son titulares de territorios donde se encuentra el 53,4% de los bosques naturales, donde el 46,1% corresponde a Resguardos indígenas y el 7,3% a territorios colectivos de comunidades negras o afrocolombianas.

En relación a las figuras de manejo, el 1,9% de los bosques del país se encuentra bajo zonas de reserva campesina y el 15,58 % pertenecen al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Los bosques en Colombia suministran cerca de 9 millones de toneladas de leña cada año para consumo doméstico e industrial (MADS 2019), prestan los servicios de regulación hídrica y climática, provisión de hábitat y alimento, servicios culturales, suministro de agua para consumo humano y procesos industriales, al mismo tiempo se comportan como grandes sumideros de CO₂. De igual forma, permiten la recarga de los embalses para la generación de energía, la cual es equivalente al 70% del consumo total nacional, como también otros servicios ecosistémicos.

En el país se aprovechan cerca de 500 especies forestales (García, A., et al 2018), para un consumo aparente que fluctúa entre los 2 millones de m³ a los 3.5 millones de m³ metros cúbicos por año, se estima que, entre el 33.5% al 42% de la madera comercializada en Colombia, aproximadamente 1.4 millones de metros cúbicos es ilegal, lo cual genera un impacto ambiental y socioeconómico en el país, se estima que de la demanda de madera para el año 2013, el 30% fue importado.

En relación al sector forestal comercial, se resalta la baja participación del sector en la producción nacional, con una contribución al PIB cercana al 1%. De igual forma la balanza comercial forestal es negativa, y se evidencia

en el incremento de la importación de tableros de madera y la disminución de las exportaciones de papel y muebles. El nivel de generación de empleo en el país durante el periodo 1990 - 2011 en aportes a la fuerza laboral total no superó el 5%.

De acuerdo con un estudio reciente del MADS & ONF (2015), las características del sector forestal en Colombia, se han mantenido en el tiempo, es decir, las especies utilizadas no han cambiado, salvo las que han entrado a reemplazar a las agotadas; se continúa con el aprovechamiento selectivo y el exceso de intermediarios en la comercialización de maderas. A pesar de los esfuerzos del gobierno nacional en la disposición de Sistemas de información para el registro y procesamiento de registros administrativos relacionados con la administración y gestión de los bosques, sigue existiendo deficiencia de información confiable, oportuna y de calidad; existe falta de control y vigilancia a lo largo de toda la cadena forestal; son frecuentes las quemas para conversión de bosques a pastizales, la insuficiencia en los sitios de acopio de productos forestales se mantiene; continúan la falta de claridad y dificultades para el trámite de autorizaciones y permisos, no existe o es escasa la capacitación en el sector, no existen comercios regulados de productos forestales maderables y no maderables, faltan incentivos económicos y de otra índole para su conservación y uso sostenible. Las características del sector forestal en Colombia, se convierten en limitantes para el manejo sostenible del bosque natural.

En general la madera de bosque natural está siendo sustituida por otros productos en el mercado, principalmente por productos de plantaciones forestales comerciales, como es el caso de la industria de pulpa y papel. No obstante, para el sector productor de muebles, los estudios sostienen (sin un soporte estadístico firme), que el 80% de las maderas que consume el país proviene de los bosques naturales. En adición a lo anterior, el mercado de la madera en Colombia se caracteriza por la informalidad, ocasionada por la ausencia de estándares de calidad (MADS & ONF 2015).

Los núcleos de desarrollo forestal hacen referencia a aquellas zonas donde priman las condiciones biofísicas del territorio y algunas socio-económicas óptimas para el desarrollo de la actividad forestal (bosques plantados o bosques naturales) (Adaptado de UPRA et al. 2015). En el caso de bosques naturales corresponden a áreas que presentan esta cobertura, y que además, deben estar cercanas a vías (disminuir la incidencia de costos de transporte), donde haya condiciones favorables para brindar asistencia técnica más eficiente por parte de las instituciones, se pueda realizar el control al transporte y movilización de los productos forestales; y/o sea posible complementar la infraestructura necesaria para su consolidación, de manera que se promueva la competitividad de los productos forestales (FAO 2016).

Considerando la incidencia que las dinámicas asociadas al post-conflicto tienen sobre el desarrollo del sector forestal en Colombia, pero particularmente sobre los procesos de deforestación de los ecosistemas boscosos, es relevante indicar que no obstante los significativos progresos en términos de desmovilización y reinserción de los actores armados involucrados en el proceso de paz, aún persisten reductos que han decidido mantenerse al margen de la Ley, lo cual introduce un nuevo rango de incertidumbre sobre el comportamiento de la deforestación en el territorio nacional. Lo anterior queda demostrado en las tasas de deforestación alcanzadas durante los años 2016 y 2017 que alcanzaron cifras de 177.764 y 219.552 hectáreas que se concentraron principalmente en la región amazónica.

2.1 Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión De Los Bosques

Para dar alcance a los Acuerdos de Cancún en lo que respecta a su artículo 70, literal a; Colombia adoptó el 20 de diciembre de 2017 la Estrategia Nacional REDD+ con el nombre de **Estrategia Integral de Control de la Deforestación y Gestión de los Bosques** – Bosques Territorios de Vida (EICDGB), el cual fue el resultado de un amplio proceso de consultas y de ejercicios de concertación con diferentes estamentos de la sociedad civil en general, pero de forma particular con comunidades campesinas, organizaciones indígenas y

afrodescendientes. El objetivo de la Estrategia es “reducir la deforestación y degradación de los bosques promoviendo y estableciendo una gestión forestal en el territorio colombiano, bajo un enfoque de desarrollo rural integral, que coadyuve al buen vivir de las comunidades locales, contribuya al desarrollo local y aumente la resiliencia ecosistémica, fomentando la adaptación y mitigación del cambio climático.”¹

La EICDGB tiene alcance nacional; sin embargo, su implementación será a escala subnacional es decir a nivel regional. Por tanto, desde la adopción de la Estrategia, bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se está formulando la Estructura de Conducción, que consiste en una propuesta de arreglos institucionales para cada una de las regiones, que promueva la implementación de la Estrategia. Para ello se tienen en cuenta las prioridades regionales, las fortalezas institucionales, las instancias existentes, la participación de diferentes actores, como entidades públicas, instituciones y gremios del sector privado, organizaciones de la sociedad civil, representación de comunidades étnicas, el nivel de gobernanza forestal entre otros. De acuerdo con lo planteado en la EICDGB, su implementación será hasta el año 2030.

La EICDGB tiene cinco objetivos específicos:

- 1) Consolidar la gobernanza territorial de los grupos étnicos, comunidades campesinas y rurales, y fortalecer la conciencia ciudadana, a través de la gestión de información y conocimiento para consolidar una cultura de corresponsabilidad para el cuidado y aprovechamiento sostenible de los bosques.
- 2) Fomentar una economía forestal basada en los bienes y servicios de los bosques para el desarrollo rural integral y el cierre de la frontera agropecuaria.
- 3) Disminuir la degradación y deforestación a través de la gestión transectorial de la política y normativa para el ordenamiento ambiental y territorial.
- 4) Generar información confiable, consistente, oportuna y de calidad sobre la oferta, estado, presión y dinámica del recurso forestal, como soporte a procesos de toma de decisiones a nivel nacional, regional y local, permitiendo implementar acciones de control y seguimiento a las autoridades ambientales para una administración eficiente del recurso forestal del país, y dar seguimiento a la aplicación de las salvaguardas sociales y ambientales.
- 5) Realizar los ajustes normativos, institucionales y financieros que doten al Estado de los instrumentos necesarios para la gestión de los bosques y la efectiva reducción y control de la deforestación.

Así mismo, cuenta con cinco metas generales:

- 1) Al 2030 Colombia tiene una deforestación neta cero.
- 2) Al 2030 aumenta la calidad de vida de la población local en áreas forestales.
- 3) A 2030 se ha fortalecido la gobernanza territorial de los grupos étnicos, comunidades campesinas y rurales que viven y dependen de los bosques.
- 4) En 2030 se han reducido 32,4 MT de emisiones de CO₂ eq, por deforestación evitada.

Esta Estrategia constituye la hoja de ruta que el estado colombiano deberá seguir durante la próxima década para enfrentar la deforestación de los ecosistemas forestales colombianos y por ende, será integrado a los diferentes instrumentos de planificación del territorio lo cual permitirá una implementación efectiva de las líneas de acción allí establecidas. De esta forma, se garantiza la articulación y correspondencia con la Política

¹ Fuente: https://redd.unfccc.int/files/eicdgb_bosques_territorios_de_vida_web.pdf

Nacional de Cambio Climático y con ello, mejorar la resiliencia climática del país y lograr la carbono-neutralidad a 2050.

3. DEFINICIÓN DE BOSQUE

Para efectos de la construcción del NREF, se define bosque como: *Tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima de dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 metros al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria.*

Esta definición es consecuente con los criterios definidos por la CMNUCC en su decisión 11/CP.7, con la definición adoptada por Colombia ante el Protocolo de Kyoto (MAVDT, 2002), así como con la definición de la cobertura de bosque natural utilizada para la estimación y reporte del Inventario nacional de gases de efecto invernadero y la incluida en la adaptación para Colombia de la leyenda de la metodología CORINE Land Cover Colombia (CLC).

La deforestación está definida como: La conversión directa y/o inducida de la cobertura de bosque a otro tipo de cobertura de la Tierra en un periodo de tiempo determinado (DeFries et al., 2006; GOF-C-GOLD, 2009).

4. ACTIVIDADES REDD+ INCLUIDAS

El presente Nivel de Referencia de Emisiones Forestales para Colombia, 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 permiten incluir en este NREF información sobre emisiones debidas a la degradación forestal con bajos niveles de incertidumbre.

5. SUMIDEROS INCLUIDOS

El presente Nivel de Referencia de Emisiones Forestales para Colombia, incluye los sumideros “Biomasa aérea -BA”, “Biomasa subterránea -BS” y “Carbono Orgánico contenido en el suelo -COS”, mientras que los sumideros “Hojarasca” y “Madera muerta” no son incluidos dado que no existe información disponible actual que permita incluir dichos depósitos de carbono. El factor de emisión de la biomasa aérea, subterránea y la contenida en los suelos consiste en el contenido de carbono por hectárea en la biomasa aérea, subterránea (raíces) y en el carbono orgánico contenido en el suelo, medidos en toneladas de carbono por hectárea (tC ha⁻¹), para los tipos de bosque de los cinco biomas que en Colombia cubre el NREF.

6. GASES INCLUIDOS

El presente NREF solo incluye las emisiones de CO₂.

7. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES NACIONAL

7.1 Escala

El alcance del presente Nivel de Referencia de Emisiones Forestales es nacional, regionalizado a través de cinco (5) grandes biomas. El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono -SMByC- implementa una metodología que integra herramientas de pre-procesamiento y procesamiento semi-automatizado de imágenes de satélite para detectar y cuantificar los cambios en la extensión de la cobertura de bosques a nivel nacional a escala 1:100.000, de manera que sea posible identificar las pérdidas de área de esta cobertura por deforestación (Galindo et al., 2014).

7.2 Periodos de referencia y proyección

Para la construcción del NREF de Colombia, se ha establecido como periodo de referencia 2008-2017, basado en los resultados de monitoreo de datos de actividad generados por el SMByC. Asimismo, se ha establecido como periodo de proyección de resultados cinco años, es decir el periodo 2018 a 2022, a partir del cual el NREF será actualizado.

7.3 Datos de actividad

La CMNUCC durante las Conferencias de las Partes de 2009 y 2010 (COP 15 y 16, respectivamente), y en Varsovia (COP 19), instó a los países en desarrollo a establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que permitan cuantificar las emisiones/absorciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de carbono.

La construcción del NREF de la actividad de reducción de emisiones por deforestación (deforestación bruta) en el Bioma Amazónico de Colombia se basa en la información generada por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), liderado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), bajo las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y consecuente con las decisiones de la CMNUCC y las orientaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Específicamente para la obtención de los datos de actividad, se utilizan los mapas bienales de cambios en la cobertura de bosque, resultado obtenido del monitoreo bienal de la cobertura de bosque desde el año 2000 hasta el 2012 y de manera anual a partir del año 2013.

El SMByC desarrolló el protocolo para el procesamiento digital de imágenes para la generación de información sobre la distribución, extensión y cambios en la cobertura boscosa en Colombia (Galindo *et al.*, 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 programa².

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**; ii) el **procesamiento digital de imágenes**; iii) **la validación de los datos**; y iv) el **reporte de los datos de actividad**. Estas fases se resumen en 12 pasos metodológicos, que se describe a continuación.

7.3.1 Fase 1: Pre-procesamiento digital de imágenes de satélite

En esta fase se aplican correcciones, calibraciones y normalizaciones radiométricas, asegurando el co-registro exacto y la reducción de efectos atmosféricos, permitiendo así que las imágenes sean realmente comparables y los cambios detectados no se deban a este tipo de factores. A continuación se describen los pasos que forman parte del pre-procesamiento.

Paso 1. Selección y descarga de imágenes

² 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://tinyurl.com/umab3td>.

Para cada año de referencia, el SMBYC descarga todo el catálogo de imágenes del programa satelital Landsat (7 ETM+ y OLI 8) del nivel L1T (superficie de reflectancia) y se seleccionan todas aquellas imágenes con menos del 90% de cobertura de nubes, y con una ventana temporal entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año de referencia, asegurándose que todas las imágenes del último trimestre del año sean descargadas y procesadas. A través de la generación de compuestos temporales anuales de imágenes, se excluyen de cada imagen todos los píxeles de “nubes” y “sombras de nubes”. Estos compuestos permiten identificar la superficie de bosque y sus cambios en el año de referencia.

Para el caso de píxeles afectados desde 2003 por el fallo en el Scan Line Corrector de Landsat 7 ETM+, se eliminan aplicando un enmascaramiento. Para optimizar esta tarea el SMBYC desarrolló una herramienta implementada en QGIS³.

Cuando los datos Landsat no proveen una cobertura libre de nubes suficiente, se utilizan imágenes de los sensores CBERS, RapidEye, ASTER y Sentinel 2.

Paso 2. Apilamiento de bandas

Con el fin de archivar las imágenes completas, se reconstruye cada imagen mediante la unión de todas las bandas descartando las que corresponden a la longitud de onda del Infrarrojo térmico. En el caso de Landsat 8 OLI las capas de Aerosoles y Cirrus son también excluidas.

Dada la gran cantidad de imágenes (p.e. para el año 2015 se utilizaron 589 imágenes), se han desarrollado algoritmos para facilitar la manipulación y procesamiento, disponibles para descarga:

- Algoritmo para apilar las bandas: (https://smbyc.bitbucket.io/scripts/layer_stack/),
- Algoritmo para renombrar las imágenes de acuerdo a la estructura del SMBYC: (https://smbyc.bitbucket.io/scripts/rename_landsat/)
- Algoritmos para extraer la información de los archivos de metadatos de Landsat: (https://smbyc.bitbucket.io/scripts/extract_landsat_files/)

Paso 3. Corrección geométrica

Para la construcción de los compuestos anuales de imágenes, se requiere tener un co-registro exacto a nivel de pixel entre todas las imágenes adquiridas para cada escena. Los productos L1T suministrados por el Earth Resources Observation and Science Center (EROS) suelen tener una correspondencia exacta de los píxeles, sin embargo, antes de realizar la interpretación se realiza una revisión de cada imagen y se ajustan aquellas que no cumplan esta condición.

Paso 4. Enmascaramiento de nubes y sombra

Permite enmascarar y eliminar las áreas de nubes, bandeamiento, sombras o bruma; se ejecuta un procedimiento semi-automatizado que combina los resultados de las máscaras producidas con diferentes herramientas y que se ejecuta antes de realizar el análisis de cambios. Aplicando una serie de filtros de enmascaramiento implementados por el IDEAM (Qgis Plugin CloudMasking: <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/>) como se ve en la Figura 2⁴.

³ <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/>

⁴ Para una documentación adicional sobre el funcionamiento de la Herramienta Cloud Masking ver: https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/cloud_filters/

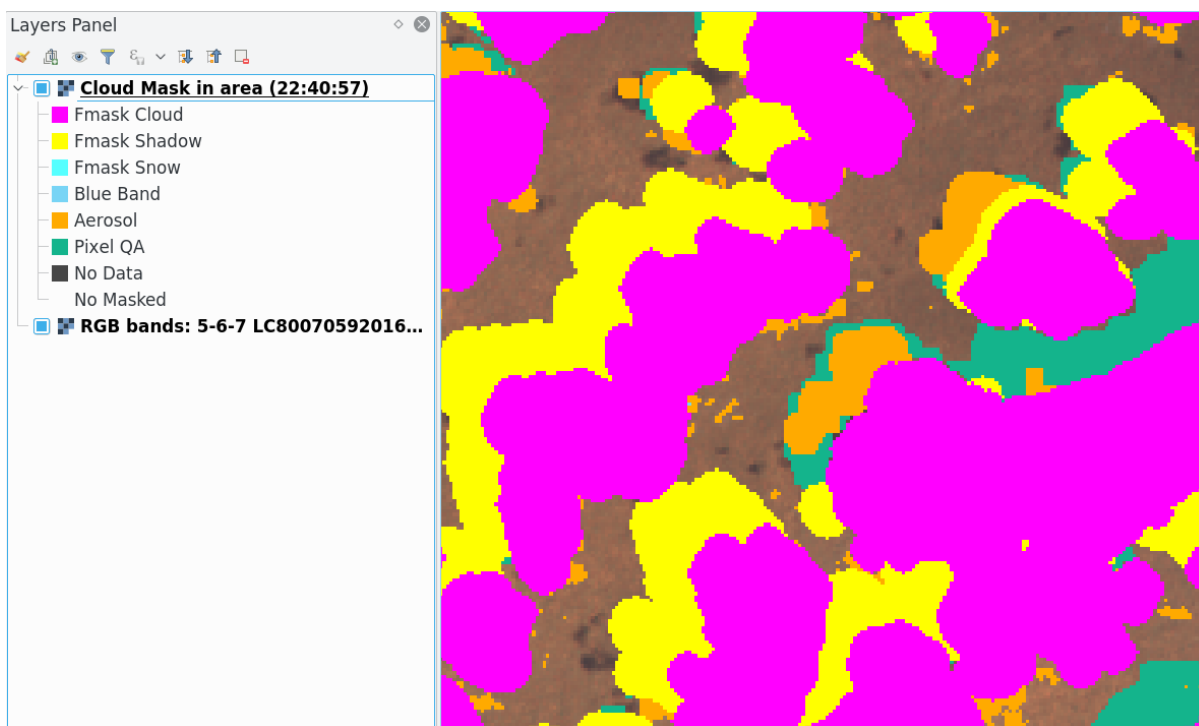


Figura 2. Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMByC.

Paso 5. Normalización radiométrica

Realiza un proceso de normalización radiométrica relativa de las imágenes en el cual se ajustan los valores radiométricos de forma que se reduzca la variabilidad entre las imágenes debidas a diferencias atmosféricas, de iluminación, calibración del sensor, distorsiones geométricas, entre otras, permitiendo así que las imágenes de los diferentes años sean comparables y los cambios detectados no se deban a este tipo de factores (Olthof et al., 2005; Potapov et al., 2012). Para ejecutar este procedimiento se cuenta con scripts en Python (ARRNorm -<https://bitbucket.org/smbyc/arnorm>).

Paso 6. Obtención del compuesto de imágenes

En este proceso se emplean todas las imágenes disponibles para Colombia del año correspondiente, de tal forma que, para cada unidad de observación (pixel) se tiene una serie de tiempo anual con todos los datos de superficie de reflectancia válidos para ese año. La principal métrica generada es la mediana anual de cada banda espectral, estadístico que ha mostrado buenos resultados para la detección de cambios; de esta forma para cada unidad de observación se obtiene un único valor radiométrico de superficie de reflectancia anual en cada una de las bandas radiométricas utilizadas (Rojo, NIR y SWIR-1 y SWIR-2). Ver Figura 3

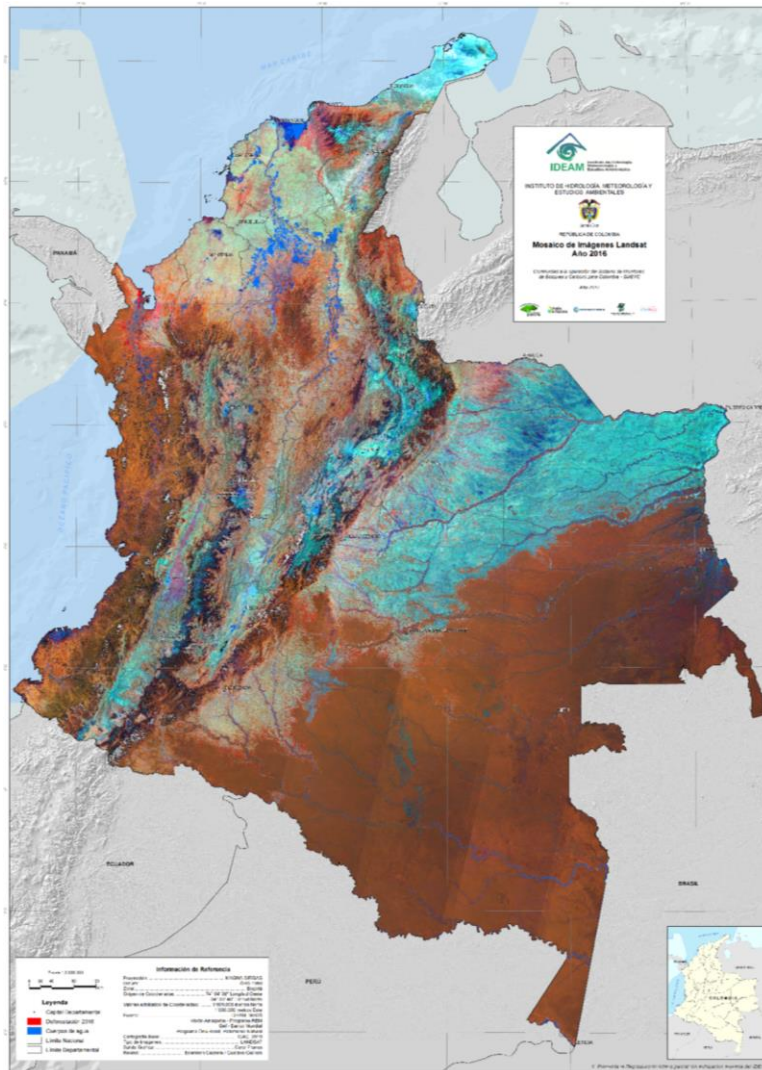


Figura 3. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8.

La construcción de estos compuestos para todo el país se realiza mediante herramientas propias desarrolladas en lenguaje de programación Python⁵. A pesar de que la utilización del compuesto de la mediana anual reduce las áreas sin información, también podría aumentar el error de omisión si el cambio ocurre durante los últimos meses del año. Para evitar este problema, después del proceso descrito anteriormente, se realiza una verificación visual y ajuste manual de los resultados utilizando el dato del último pixel del año (last pixel) y la última imagen disponible del último trimestre del año, incorporando al resultado final los cambios que no fueron detectados utilizando el compuesto temporal de mediana⁶. La Figura 4 presenta el flujo de proceso.

7.3.2 Fase 2: Procesamiento digital de imágenes de satélite

Involucra la detección automatizada de cambios en la superficie de bosque, permitiendo la detección directa de cambios en la respuesta espectral que puedan corresponder a una pérdida o ganancia de la cobertura del bosque. Luego, incorpora el trabajo de expertos para la verificación visual directa de los cambios sobre las imágenes, permitiendo minimizar los posibles errores y falsas detecciones debidas a errores la clasificación

⁵ (<https://smbyc.bitbucket.io/stackcomposed/>)

⁶ Mayor información acerca del protocolo está disponible en: <https://tinyurl.com/ru3balg>.

automática de los cambios en la superficie de bosque. El resultado final de esta fase es la identificación semi-automatizada de las clases *deforestación* y *regeneración*. A continuación se describe con mayor detalle cada uno de los pasos realizados.

Paso 6. Detección del cambio

Para identificar el cambio de cobertura de bosque se utiliza un método directo y automatizado aplicando el análisis de componentes principales –PCA, sobre la matriz de correlación de los valores de los píxeles del compuesto temporal de medianas generado en el paso anterior, para luego realizar una reclasificación de los valores de los píxeles al valor de la clase correspondiente.

La leyenda y los valores asignados en la reclasificación para cada clase son: 1. Bosque Estable 2. No Bosque Estable 3. Deforestación 4. Regeneración 5. Sin Información (corresponde a los datos enmascarados debidas a la ocurrencia de nubes y sombras de nube).

Para ajustar las áreas sin información detectadas para cada periodo de reporte, se aplica un análisis de series de tiempo con el cual se verifica la consistencia temporal. Para este proceso se tiene en cuenta la información del más reciente periodo de reporte y con ésta se ajustan las áreas sin información retrospectivamente para los otros periodos de reporte, como se presenta en la Figura 4.

Paso 7. Verificación visual de los cambios detectados por parte del intérprete

Una vez finalizada la fase de procesamiento en donde se ha ejecutado el proceso de PCA por escena o conjunto de escenas, cada intérprete codifica cada unidad de observación a la clase o categoría correspondiente, obteniendo de esta manera un mapa preliminar de cambio de bosque con las siguientes clases o estratos:

- ❖ Bosque estable
- ❖ Deforestación
- ❖ Sin información
- ❖ Regeneración
- ❖ No bosque estable

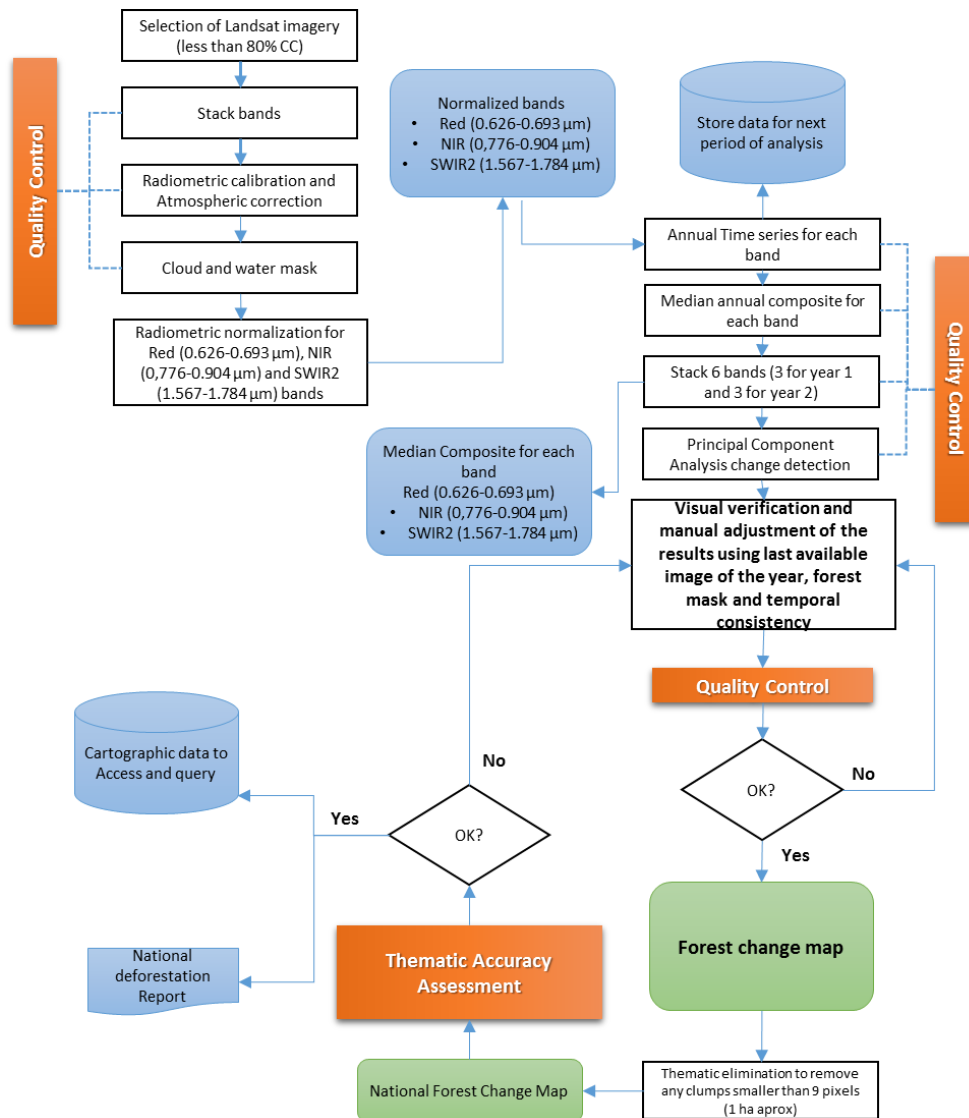


Figura 4. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2.

Para corregir lo anterior, 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. Al implementar este paso, se busca evaluar y revisar la primera versión del mapa de cambio de la cobertura forestal con el fin de identificar inconsistencias con respecto a los cambios de cobertura de la tierra determinados en años anteriores y de esta manera, generar una segunda versión del mapa.

Paso 8. Control de calidad y ajustes durante el proceso

El proceso de control de calidad implica el seguimiento de todas las actividades de ejecución, desde la descarga de las imágenes de satélite, los productos intermedios hasta los resultados finales del mapa de cambio de bosque y mapa de superficie de bosque. El SMByC ha consolidado un conjunto de herramientas para garantizar la calidad, completitud y consistencia de los datos, a través de un script de Python ejecutado en ArcGIS© para producir los informes de control de calidad para cada escena.

7.3.3 Fase 3: Evaluación de la exactitud temática

La evaluación de la exactitud temática del mapa nacional de cambio de la superficie de bosque permite generar métricas de confiabilidad de las cifras oficiales generadas. Este procedimiento permite: 1) No subestimar ni sobrestimar, en la medida en que pueda juzgarse, y (2) reducir la incertidumbre en la medida de lo posible (Penman *et al.* 2003), en línea con lo propuesto en el documento de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques -GFOI⁷). Este procedimiento aplica estimaciones de precisión global, la precisión del usuario (o error de comisión) y el productor de la precisión (o error de omisión) siguiendo las recomendaciones elaboradas por Olofsson *et al.* (2014), estimada a través de la evaluación de la exactitud del mapa cambios en el bosque. Esta evaluación de la exactitud incluye el cálculo de la incertidumbre de los estimadores.

Para la ejecución de la validación temática, se conforma un equipo de cuatro (4) expertos del grupo de intérpretes del IDEAM bajo la siguiente estructura:

- Un líder de la evaluación, encargado de coordinar el trabajo de los intérpretes, realizar el diseño e implementación de una muestra probabilística; realizar la consolidación y verificación de la interpretación; y efectuar el análisis de exactitud.
- Tres (3) intérpretes, con amplia experiencia en interpretación visual y digital, y entrenados para aplicar la definición de bosque en imágenes ópticas de media resolución.

Los pasos de la evaluación de la exactitud temática se resumen a continuación.

Paso 9: Diseño de muestreo

Para el caso de Colombia, este análisis consiste en la implementación de un muestreo aleatorio estratificado. El tamaño de la muestra (n) se selecciona siguiendo las recomendaciones de Cochran (1977) para un diseño de muestreo estratificado aleatorio. La proporción asignada de cada clase utiliza una asignación proporcional basada en el área de cada estrato en comparación con el área total asignada (Stehman, 2012). Las proporciones de cada uno de los estratos se basan en el mapa de cambio de bosque para el año de referencia, los cuales son: (1) bosque estable; (2) no bosque estable y (3) deforestación. Adicionalmente a esta estratificación inicial, cada uno de los estratos se subdivide basado en un mapa de riesgo de deforestación que identifica dos áreas principales (bajo riesgo y alto riesgo) basados en las tendencias históricas de la deforestación.

En la ecuación 2, se presenta la expresión matemática utilizada para calcular la proporción (W_i) de área mapeada ($A_{m,i}$) por clase i , con respecto al área total de las clases (A_{tot}):

$$W_i = \frac{A_{m,i}}{A_{tot}} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

A las clases con mayor área mapeada se les asigna un valor de p de 0,9 por considerar que estas clases presentan una exactitud alta; mientras que las clases de cambio: *deforestación en áreas con alto riesgo de*

deforestación (DEF-AR), y deforestación en áreas con bajo riesgo de deforestación (DEF-BR) se les asigna un valor de p de 0,80, por considerar que para estas clases existe mayor incertidumbre y por lo tanto menor exactitud.

Se calcula el error estándar (típico, S_i) asociado a cada clase como la raíz cuadrada de la varianza. El tamaño total de la muestra (n), se calcula como la sumatoria de los productos de la proporción de área (W_i), asociada a cada clase i , por los errores estándar (S_i) de cada clase, sobre un error estándar general de la clasificación (S_o), elevados al cuadrado. Ver Ecuación 3

$$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (W_i S_i)}{S_o} \right]^2 \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Para el año de referencia, se asume entonces un valor para el error estándar esperado general de clasificación (0,005).

La proporción asignada de cada estrato se basa en un enfoque simplificado del óptimo, en función de la proporción de área de cada estrato en comparación con el área total asignada. Así, los estratos más pequeños se ajustan minimizando el estimador de la varianza para la exactitud de esas clases de usuario, de acuerdo con las recomendaciones de Olofsson *et al.* 2014.

Paso 10. Implementación del muestreo: La implementación del muestreo, al igual que la interpretación de los puntos de muestreo) se realiza en **Acatama**⁸.

Paso 11. Interpretación de los puntos de muestreo

El equipo de intérpretes realiza la interpretación visual de cada unidad de verificación, aplicando las definiciones de bosque y deforestación adoptadas por el SMBYC. Este procedimiento se aplica en *Acatama*, herramienta que permite definir una escala de referencia fija para la interpretación, buscar la ventana de contexto por su identificador, realizar la clasificación de manera consecutiva e identificar las ventanas de contexto de la muestra que estuviese sin clasificar (Figura 5).

Como datos de referencia para la interpretación de los puntos de muestreo, se utilizan los compuestos de *mediana anual* y de *last pixel* de los datos de bosque y deforestación para el año de referencia se realiza mediante la construcción de los periodos a verificar y de los periodos anteriores y posteriores a este⁹.

Paso 12. Matriz de error e intervalos de confianza

En este paso, los datos de referencia recogidos en el último paso se utilizan para estimar la exactitud de la clasificación en el mapa de cambio final. El acuerdo / desacuerdo entre el mapa y la referencia se resume en una matriz de error o confusión, que proporciona una evaluación de la precisión del mapa. A partir de esto, se calcula la frecuencia de correspondencia para evaluar la exactitud de cada clase en términos de proporciones estimadas de clases y errores de omisión y comisión. Debido a que las medidas de exactitud son estimadas a partir de una muestra, estas estimaciones están sujetas a incertidumbre (Olofsson 2013). La incertidumbre de la estimación se representa mediante el cálculo de su error estándar utilizado para construir intervalos de confianza del 95% que muestra el rango de valores en las estimaciones de área para las clases de mapa.

⁸ Software de desarrollo propio que está disponible para QGIS en: <https://bitbucket.org/smbyc/qgisplugin-acatama>

⁹ Se utilizan imágenes de alta resolución procedentes de Google Earth Engine, imágenes Bing, etc

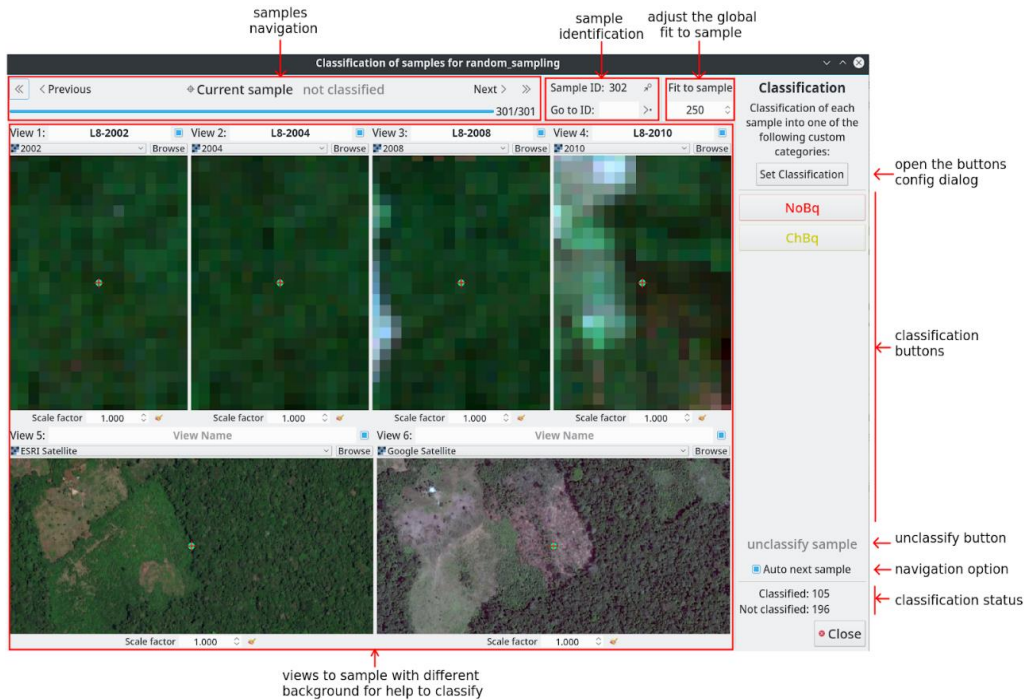


Figura 5. Ventana de interpretación de los puntos de muestreo en el aplicativo qGIS Acatama

7.3.4 Fase 4: Cálculos y reportes.

Para calcular la superficie deforestada entre dos periodos de análisis se tiene en cuenta únicamente las áreas para las cuales hay información en los dos periodos de análisis, de manera que exista la certeza de que el evento ocurrió en el periodo de tiempo analizado.

Las pérdidas de bosque detectadas luego de una o varias fechas sin información no fueron incluidas en el cálculo con el fin de evitar tasas sobrestimadas en periodos en los que aumentan las áreas sin información por diferentes factores (épocas climáticas de alta nubosidad o fallas en los sensores de los satelitales).

Después de la generación de cada período de monitoreo de la deforestación, se realiza un análisis de consistencia de la serie temporal, en el que se comprueba que para cada uno de los píxeles marcados como deforestación, ese mismo píxel no se ha marcado en los periodos anteriores (al menos seis años) como deforestado. Si este fuera el caso, se corrige el resultado más reciente y se marca como "no bosque" (NB) o se revisa el área específica de forma retrospectiva.

Podría ocurrir que después de seis años, un evento de cambio detectado antes de 2006 podría volver a ser marcado como deforestado solo en 2013 o 2014. De acuerdo con los datos disponibles, este tipo de eventos representan menos de 500 ha. El mismo procedimiento se aplica para "píxeles regenerados", manteniendo el mismo proceso de chequeo en el que un píxel marcado como deforestado no podría ser asignado a una clase de cambio hasta después de seis años.

Tabla 1. Monitoreo de datos de actividad de deforestación –(Cambio en la Superficie de Bosque CSB) para la construcción del Nivel de Referencia.

Periodo de análisis	CSB (ha/año)	CSB (ha/año)	CSB (ha/año)	CSB (ha/año)	CSB (ha/año)	CSB (ha/año)
	Nacional	Bioma Amazonía	Bioma Andes	Bioma Caribe	Bioma Oronoquía	Bioma Pacífico
2001	135.119	77.068	27.810	12.005	9.977	8.259
2002	135.119	77.068	27.810	12.005	9.977	8.259
2003	179.102	96.092	34.251	24.875	9.526	14.358
2004	179.102	96.092	34.251	24.875	9.526	14.358
2005	138.574	82.752	20.200	18.969	6.093	10.559
2006	138.574	82.752	20.200	18.969	6.093	10.559
2007	140.121	79.622	20.751	18.873	6.191	14.685
2008	140.121	79.622	20.751	18.873	6.191	14.685
2009	120.517	69.669	20.270	11.269	7.672	11.635
2010	120.517	69.669	20.270	11.269	7.672	11.635
2011	139.772	93.670	23.907	11.372	3.622	7.202
2012	139.772	93.670	23.907	11.372	3.622	7.202
2013	116.128	67.246	24.331	11.799	4.726	8.027
2014	137.341	63.898	32.184	18.154	13.345	9.761
2015	123.841	56.962	29.159	16.462	12.150	9.109
2016	177.764	69.781	45.453	24.372	28.806	9.352
2017	219.552	144.019	36.629	15.665	13.382	9.856
PROMEDIO (2000-2017)	145.943	82.332	27.184	16.540	9.328	10.559
PROMEDIO (2008-2017)	143.533	80.821	27.686	15.061	10.119	9.846

Fuente: Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono, IDEAM (2018)

La implementación de esta metodología permitió identificar los cambios en la cobertura boscosa (expresados en hectáreas), generando reportes bienales para el periodo 2000 - 2012, y reportes anuales para el periodo 2013 – 2017 a nivel nacional y regional.

a. Cambio en la superficie cubierta por bosque (CSB): Hace referencia a la diferencia entre la superficie de bosque detectada en el periodo inicial y la superficie de bosque detectada en el periodo final dividido por el número de años del periodo. Se tiene en cuenta solamente las áreas comunes en ambos periodos de análisis que pueden ser interpretadas excluyendo del análisis las áreas sin información en cualquiera de los dos periodos.

Los datos de cambio en la superficie cubierta por bosque para el periodo 2008 – 2017 (anualizados) constituyen los datos de actividad necesarios para la construcción del NREF (Tabla 1)¹⁰.

Los resultados de monitoreo de datos de actividad evaluados permiten identificar que para el periodo de referencia 2008 - 2017 la deforestación es de 143.533 ha/año a nivel nacional (línea azul en la Figura 6). A nivel de biomas, se identifica que el bioma de la Amazonia es el bioma que consistentemente concentra las mayores superficies deforestadas, seguido del bioma de los Andes, como se aprecia en la Tabla 1.

Realizando varias pruebas de tendencia de los datos (lineal, exponencial, logarítmica, etc.) se identifica que el comportamiento de los mismos tiende al aumento sostenido de la deforestación, como se identifica en la línea tendencial lineal (línea roja punteada en la Figura 6), identificando que el promedio de la deforestación anualizada no representa la tendencia del comportamiento de este fenómeno (Figura 6).

Esta situación será ampliamente analizada en el apartado 7.5 donde se propone un ajuste por circunstancias nacionales para el cálculo del NREF.

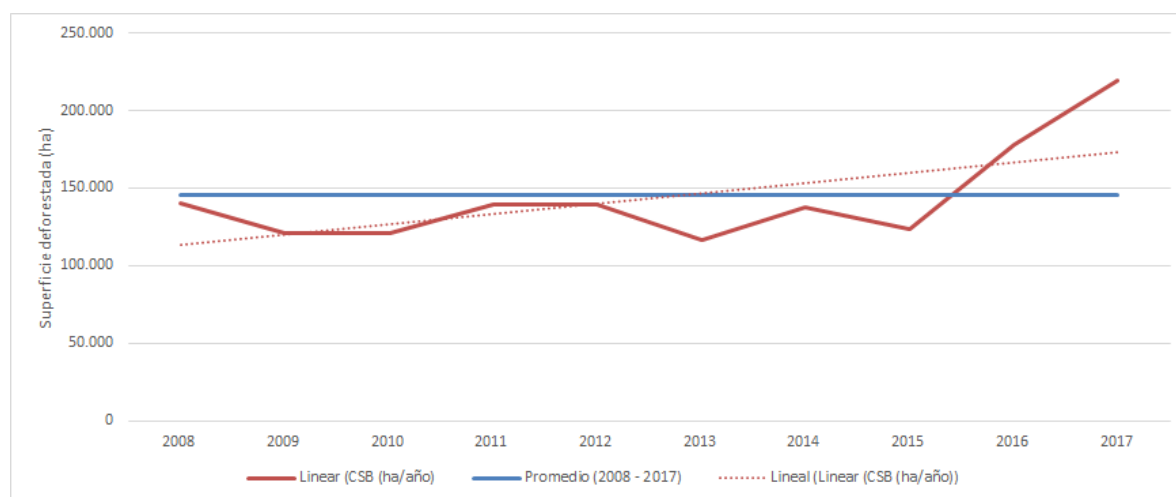


Figura 6. Monitoreo del cambio en la Superficie de bosque en Colombia. Periodo 2008 – 2017.

¹⁰ Los insumos cartográficos para la obtención de la deforestación por periodo son consultables en (<http://smbyc.ideam.gov.co>).

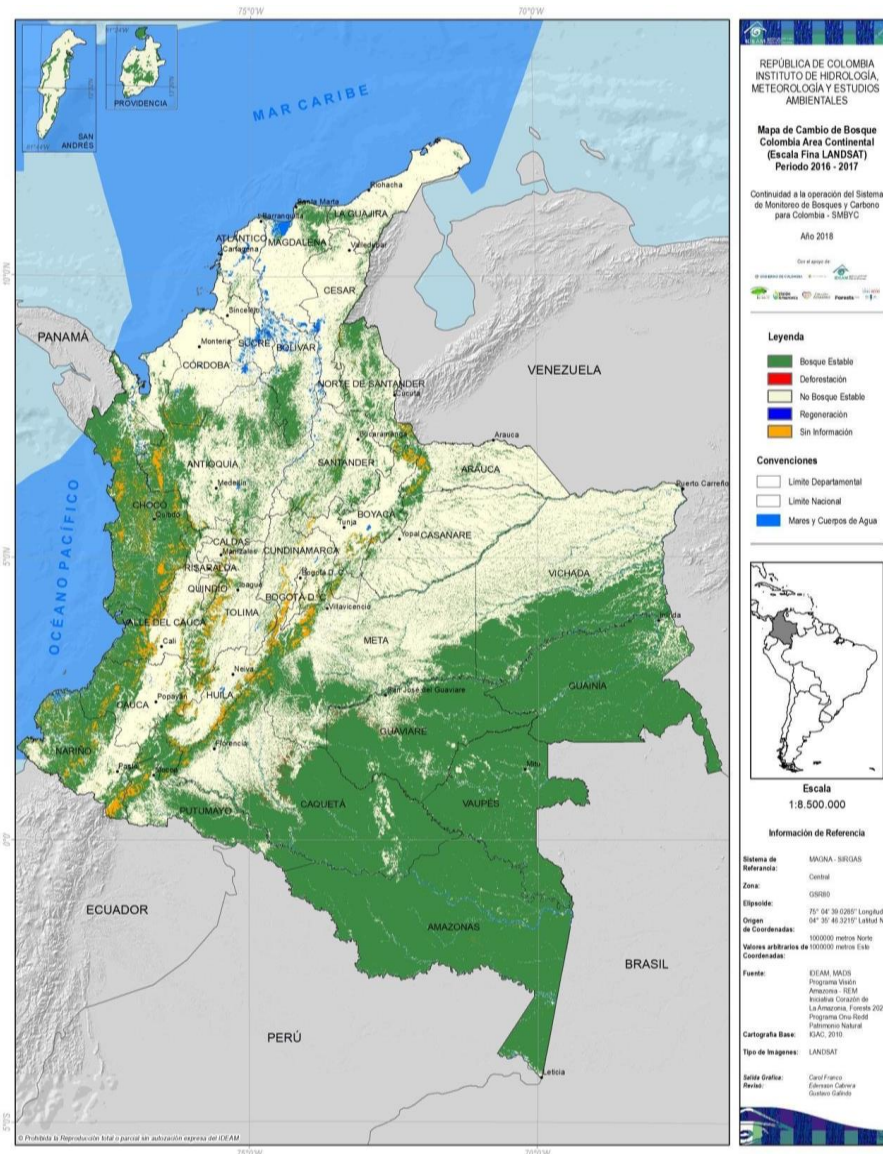


Figura 7. Mapa de Superficie deforestada en Colombia. Año 2017

7.4 Factores de emisión

Los factores incluidos en este NREF incluyen biomasa aérea, biomasa subterránea y carbono orgánico del suelo, cuyas estimaciones se realizaron a nivel nacional y por cada uno de los biomas en Colombia.

7.4.1 Origen y tratamiento de los datos de campo

Las estimaciones de factores de emisión se realizaron a partir de 301 puntos de muestreo (conglomerados) establecidos en el marco del Inventario Forestal Nacional (IFN) durante el periodo 2015-2018. Cada conglomerado abarca un área de 0.353 hectáreas, distribuidas en 5 subparcelas dispuestas en cruz y distanciadas entre los centros de cada subparcela 80 m. La toma de los datos biométricos implica la delimitación de tres áreas anidadas de medición en cada subparcela: 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 (706.9 m² de área de medición). A cada uno de los individuos registrados en los

conglomerados se les midió el diámetro normal a 1.3 m de altura, los individuos con deformación en los tallos, bambas y raíces tabulares o columnares se midieron donde el tallo era regular.

La medición de la altura se realizó a aproximadamente al 40% de los individuos censados en cada conglomerado. Posteriormente, para estimar la altura de todos los individuos registrados, se generaron 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 las cinco (5) regiones naturales del país, para lo cual se utilizó el modelo asintótico de Weibull:

$$H = a \times (1 - e^{(-b \times DAP^c)})$$

Donde: H es la altura, a , b y c son los parámetros a estimar y DAP el diámetro asociado a cada árbol en cada medición (Feldpausch et al. 2012).

De igual forma, a cada individuo se le tomó una muestra botánica, las cuales fueron identificadas y homologadas por la Red de Herbarios de Colombia. La actualización nomenclatural y taxonómica de los nombres científicos, así como la verificación de su clasificación dentro del sistema APGIII, 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 caso de no encontrar la densidad a nivel de especie, o para aquellos individuos no identificados completamente, se le asignó el promedio por género, familia o el promedio de la densidad de la madera de las especies registradas en cada conglomerado, respectivamente.

La biomasa aérea de cada individuo fue estimada empleando la ecuación alométrica propuesta por Chave et al. (2014):

$$AGB = 0.0673 \times (WD \times DAP^2 \times H)^{0.976}$$

Donde AGB es biomasa aérea en kilogramos, WD la densidad de madera, DAP el diámetro y H es la altura estimada. Dado que el rango de aplicabilidad de dicha ecuación alométrica es 5-212 cm de diámetro, los individuos con diámetro menor a 5 cm fueron excluidos de los cálculos, mientras que a los árboles que excedieron el diámetro máximo empleado para ajustar la ecuación, se les asignó dicho valor (i.e. 212 cm) para estimar su biomasa aérea.

Una vez se realizaron estimaciones agregadas por conglomerado, los valores fueron extrapolados a hectárea ($t\ ha^{-1}$). Con éste último valor se estimó la biomasa subterránea (raíces) utilizando la ecuación 1 de Cairns et al. (1997):

$$BRG = \exp(-1.085 + 0.9256 \log(AGB))$$

Donde BRG es la biomasa subterránea ($t\ ha^{-1}$) y AGB es la biomasa aérea ($t\ ha^{-1}$).

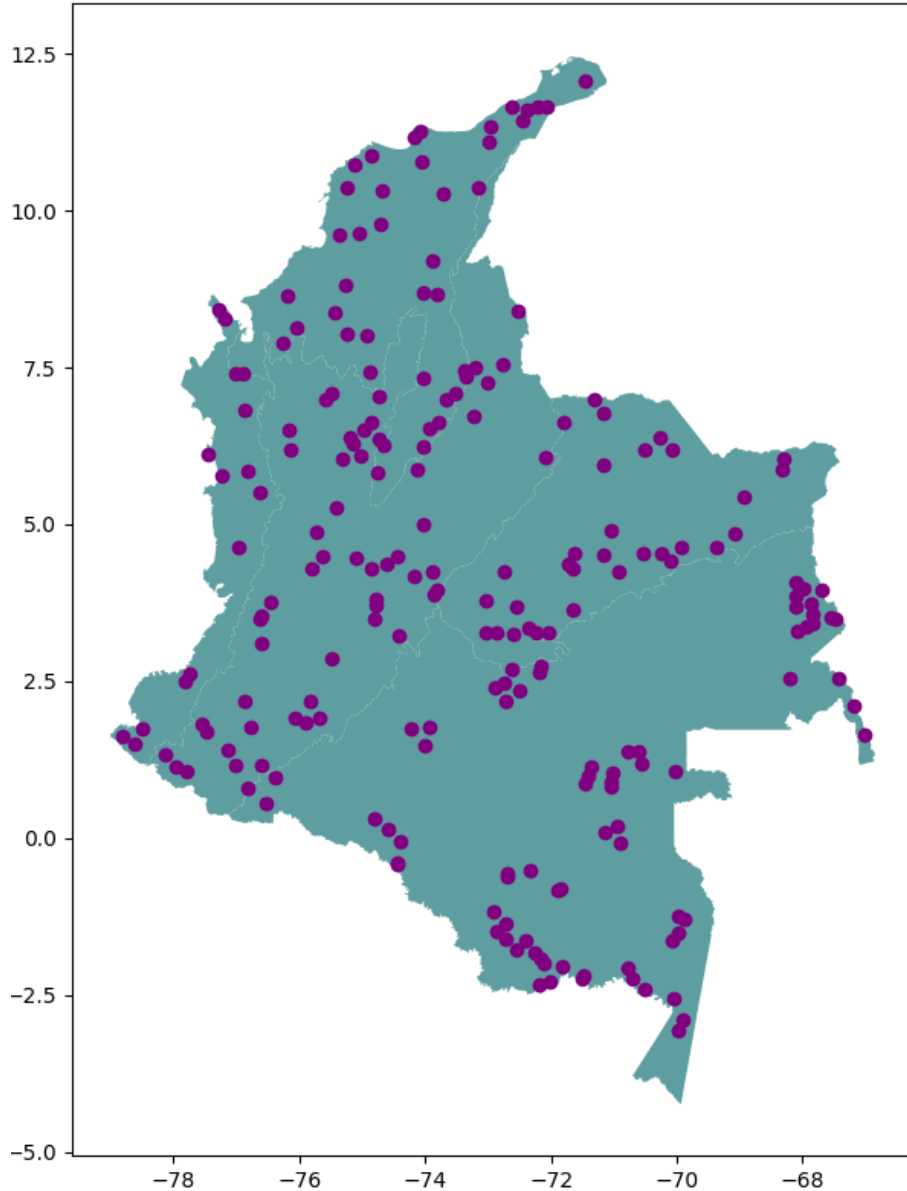


Figura 8. Mapa de distribución de conglomerados del IFN a nivel de nacional y bioma para el NREF.

Los datos de carbono en suelos provienen de la recolección de cinco muestras por conglomerado, una en 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, primero se calculó la densidad aparente (g cm^{-3}), este valor representa la densidad promedio de todos los materiales presentes en suelo.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso de masa seca de suelo (g)}}{\text{Volumen de suelo (cm}^3\text{)}}$$

El volumen de suelo se obtiene como:

$$\text{Volumen} = \pi \times r^2 \times h$$

Donde r es el radio del cilindro utilizado para tomar la muestra de suelo; y h su altura. Finalmente, los contenidos de carbono en los suelos 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.

$$C = \text{Concentración} \times (\text{Densidad} \times 100) \times \text{Profundidad}$$

7.4.2 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 y las regiones naturales de Colombia, producida por el IDEAM a través del Sistema de Monitoreo de Bosque y Carbono, se estiman los pesos de cada estrato, que corresponden a la proporción del área del país que ocupa cada estrato.

7.4.3 Estimadores

Durante el establecimiento de los conglomerados del IFN es común encontrar sitios de muestreo en los cuales una o más subparcelas de un conglomerado quedan localizadas en diferentes coberturas (e.g. bosque y no bosque), son inaccesibles o que están por fuera del área de estudio. En estos casos, dichos conglomerados no cumplen el requerimiento de contar con igual área de muestreo, por lo cual es necesario realizar ajustes que permitan obtener los estimados deseados de una forma adecuada. El estimador de razón en función del tamaño o área muestreada busca obtener una igualdad virtual estadística de las muestras, a partir de la relación entre el total del atributo observado (variable de interés) y el tamaño (área) de la unidad de muestreo. Adicionalmente, entre la información capturada en campo durante la implementación del IFN, se determina la cobertura en la cual se encuentra cada subparcela. Esta información, además de brindar una descripción general de las condiciones del sitio de muestreo, permite dividir el área de estudio en diferentes categorías o dominios (e.g. bosque natural, no bosque) para los cuales se realizan las estimaciones del atributo de interés.

Por último, se debe considerar que el IFN utiliza subparcelas anidadas con diferentes áreas (comúnmente denominadas unidades secundarias de muestreo), en las cuales se realiza el muestreo de árboles de diferentes tamaños (i.e. brinzales, latizales, fustales y fustales grandes). En este contexto, para realizar la estimación del atributo de interés a nivel de cada subparcela y conglomerado, se deben sumar los valores obtenidos para cada individuo por categoría de tamaño (k), y extrapolar los resultados al área de muestreo más grande (K). A continuación, se presenta la aproximación metodológica propuesta para realizar las estimaciones para un atributo dado.

En primer lugar, se estima el valor total del atributo de interés en el dominio d para el i -ésimo conglomerado del estrato h :

$$y_{hid} = \sum_j^J \sum_k^K y_{hijkd} \frac{a_{ijK}}{a_{ijk}}$$

Donde: Y_{hijkd} es el valor de la variable de interés en el dominio d , en la categoría de tamaño k de la j -ésima subparcela del conglomerado i , en el estrato h .

a_{ijk} es el área muestreada para la categoría de tamaño k , en la j -ésima subparcela del conglomerado i , siendo a_{ijK} el área de muestreo por categoría de tamaño más grande.

El valor promedio de cada atributo por estrato para el dominio d (\underline{Y}_{hd}) se calcula mediante la ecuación:

$$\underline{Y}_{hd} = \frac{\sum_i^{nh} y_{hid}}{\sum_i^{nh} a_{hi}}$$

Donde: a_{hi} es el área del conglomerado i en el estrato h .

La varianza muestral ($V(\underline{Y}_{hd})$) para el promedio del atributo de interés en el dominio d , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V(\underline{Y}_{hd}) = \frac{n_h^2}{n_h - 1} \frac{\sum_i^{nh} y_{hid}^2 - 2\underline{y}_{hd} \sum_i^{nh} y_{hid} a_{hi} + \underline{y}_{hd}^2 \sum_i^{nh} a_{hi}^2}{(\sum_i^{nh} a_{hi})^2}$$

n_h es el número de conglomerados en el estrato h .

valor promedio del atributo en todos los estratos (\underline{Y}_d) es:

$$\underline{Y}_d = \sum_{h=1}^H W_h \underline{Y}_{hd}$$

Donde: W_h es la proporción del estrato h en el área total del país.

Teniendo esto, el valor total poblacional para el atributo de interés es:

$$\hat{Y}_d = A_T \underline{Y}_d$$

Donde: A_T es el área total del país.

Y la varianza asociada al valor estimado para el país es:

$$V(\hat{Y}_d) = A_T^2 V(\underline{Y}_d) = \frac{A_T^2}{n} \left[\sum_{h=1}^H W_h V(\underline{Y}_{hd}) + \sum_{h=1}^H (1 - W_h) \frac{V(\underline{Y}_{hd})}{n} \right]$$

Donde: $V(\underline{Y}_d)$ es la varianza asociada al promedio del atributo de interés en todos los estratos.

a. Estimación variable auxiliar (área)

El valor promedio de la variable auxiliar por estrato para el dominio d (\underline{X}_{hd}) se calcula mediante la ecuación:

$$\underline{X}_{hd} = \frac{\sum_i^{nh} a_{hid}}{\sum_i^{nh} a_{hi}}$$

Donde: a_{hid} es el área del conglomerado i en el dominio de estimación d en el estrato h .

El valor promedio de la variable auxiliar (área muestreada) en el dominio de interés d para todos los estratos (\underline{X}_d) es:

$$\underline{X}_d = \sum_{h=1}^H W_h \underline{X}_{hd}$$

El valor total poblacional para la variable auxiliar es:

$$\hat{X}_d = A_T \underline{X}_d$$

Cuya varianza asociada se estima como:

$$V(\hat{X}_d) = A_T^2 V(\underline{X}_d) = \frac{A_T^2}{n} \left[\sum_{h=1}^H W_h V(\underline{X}_{hd}) + \sum_{h=1}^H (1 - W_h) \frac{V(\underline{X}_{hd})}{n} \right]$$

Donde: $V(\underline{X}_{hd})$ es la varianza asociada al promedio de la variable auxiliar en el dominio d , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V(\underline{X}_{hd}) = \frac{n_h^2}{n_h - 1} \frac{\sum_i^{n_h} a_{hid}^2 - 2\underline{X}_{hd} \sum_i^{n_h} a_{hid} a_{hi} + \underline{X}_{hd}^2 \sum_i^{n_h} a_{hi}^2}{(\sum_i^{n_h} a_{hi})^2}$$

b. Estimador de razón

El estimador de razón, el cual consiste en una proporción o cociente de medias, permite estimar la variable de interés en función de una variable auxiliar. En el caso del IFN, el cociente de medias se obtiene como la razón entre el valor total estimado del atributo de interés (y) en el dominio d , sobre el área total muestreada en el dominio d , lo cual da como resultado el valor promedio del atributo de interés por unidad de área (ha), estimado como:

$$\hat{R}_d = \frac{\hat{Y}_d}{\hat{X}_d} = \frac{A_T \sum_h^H W_h \underline{Y}_{hd}}{A_T \sum_h^H W_h \underline{X}_{hd}}$$

La varianza de la proporción, o del cociente de medias, se estima como:

$$V(\hat{R}_d) = \frac{1}{\hat{X}_d^2} [v(\hat{Y}_d) + \hat{R}_d^2 v(\hat{X}_d) - 2 \hat{R}_d \text{cov}(\hat{Y}_d, \hat{X}_d)]$$

Donde: $(\text{cov}(\hat{Y}_d, \hat{X}_d))$ es la covarianza entre \hat{Y}_d, \hat{X}_d la cual se estima como:

$$\text{cov}(\hat{Y}_d, \hat{X}_d) = \frac{A_T^2}{n} \left[\sum_h^H W_h \text{cov}(Y_{hd}, X_{hd}) + \sum_h^H (1 - W_h) \frac{\text{cov}(Y_{hd}, X_{hd})}{n} \right]$$

Y la covarianza del estrato h $\text{cov}(Y_{hd}, X_{hd})$:

$$\text{cov}(Y_{hd}, X_{hd}) = \frac{n_h^2}{(n_h - 1)} \frac{\sum_i^{n_h} y_{hid} a_{hid} - \underline{y}_{hd} \sum_i^{n_h} a_{hi} a_{hid} - \underline{x}_{hd} \sum_i^{n_h} a_{hi} y_{hid} + (\sum_i^{n_h} a_{hi}^2) \underline{y}_{hd} \underline{x}_{hd}}{(\sum_i^{n_h} a_{hi})^2}$$

A partir de la varianza estimada para el estimador de razón, se obtiene el intervalo de confianza del 95% para \hat{R}_d :

$$IC_{\hat{R}_d} = \hat{R}_d \pm \sqrt{V(\hat{R}_d)} \times t_{(0.05, n-1)}$$

Finalmente, el error de muestreo (EM) para el atributo de interés se estima mediante la ecuación:

$$EM (\%) = 100 \left(\frac{\sqrt{V(\hat{R}_d)}}{\hat{R}_d} \right) t_{(0.05, n-1)}$$

c. Estimación de emisiones.

Se estimó la biomasa total (BT) a partir de la suma de la biomasa aérea (BA) y biomasa subterránea (BS) por hectárea para cada una de las cinco regiones naturales. Posteriormente se determinó el carbono contenido de la biomasa total (CBF) para cada una de las regiones naturales (Tabla 2), como el producto de la BT y la fracción de carbono de la materia seca (*f*) sugerida por las Directrices del IPCC (2006), según la siguiente ecuación:

$$CBF_i = BT_i * f$$

Donde:

CBF_i = Es el carbono contenido de la biomasa total de la región i

BT_i = Es la biomasa total de la región i

f = Fracción de carbono de la materia seca (0,47)

El dióxido de carbono equivalente contenido en la biomasa total por hectárea (CBFeq) es el producto entre el carbono contenido en la biomasa total por hectárea (CBF) y la constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO₂), igual a 44/12, según la siguiente ecuación:

$$CBFeq_i = CBF_i * (3,67)$$

Donde:

CBFeq_i = Es el dióxido de carbono equivalente contenido de la biomasa total de la región i

CBF_i = Es el carbono contenido de la biomasa total del bioma i

3,67 = Constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO₂)

Tabla 2. Biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS), biomasa total (BT), dióxido de carbono equivalente contenido de la biomasa total de la región (CBFeq) para cinco regiones naturales.

Bioma	BA (tm.s/ha)	BS (tm.s/ha)	BT (tm.s/ha)	CBF (tc/ha)	CBFeq (tCO ₂ eq/ha)
Amazonía	258	57	315	148	544
Andes	154	35	189	89	326
Caribe	130	30	160	75	277
Orinoquía	86	21	106	50	183
Pacífico	140	32	173	81	298

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. 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 (Tabla 3). Para esto se calculó la tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años (COS_{20años}), dividiendo el COS de cada región natural sobre 20, según la siguiente ecuación.

$$COS_{20 \text{ AÑOS } i} = \frac{COS_i}{20 \text{ años}}$$

Donde:

$COS_{20 \text{ AÑOS } i}$ = tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años ($COS_{20 \text{ años}}$) por hectárea de la región i

COS_i = contenido de carbono del suelo de la región i

20 AÑOS = Años en que se asume se da la pérdida del carbono orgánico del suelo, siguiendo los parámetros por defecto del IPCC (2006).

Tabla 3. Carbono orgánico del suelo (COS), $COS_{20 \text{ AÑOS}}$ y $COSeq$ para cinco regiones naturales.

Bioma	COS (TC/ha)	$COS_{20 \text{ AÑOS}}$ (TC/ha)	$COSeq$ (tCO ₂ eq/ha)
Amazonía	74	4	14
Andes	125	6	23
Caribe	101	5	19
Orinoquía	65	3	12
Pacífico	92	5	17

Al igual que la BT, el dióxido de carbono equivalente contenido en los suelos por hectárea ($COSeq$) es el producto entre la tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años ($COS_{20 \text{ años}}$) y la constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO₂), como lo muestra la siguiente ecuación:

$$COSeq_i = COS_{20 \text{ AÑOS } i} * (3,67)$$

Donde:

$COSeq_i$ = Dióxido de carbono equivalente del suelo emitido anualmente por hectárea deforestada de la región i.

$COS_{20 \text{ años } i}$ = tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años ($COS_{20 \text{ años}}$) por hectárea de la región i

3,67 = Constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO₂).

La Tabla 4 resume la estimación del factor de emisión del bosque natural por cada bioma en Colombia, incluyendo los sumideros de BA, BS y COS, expresados en t CO₂eq/ha.

Tabla 4. Estimación de Factores de Emisión del bosque natural por cada bioma en Colombia.

REGIÓN (Bioma)	BA (t CO ₂ /ha)	BS (t CO ₂ /ha)	BT (t CO ₂ /ha)	$COS_{20 \text{ años}}$ (t CO ₂ /ha)	Emisiones Totales (t CO ₂ ha ⁻¹ año ⁻¹)
Amazonía	445	98	543	14	557
Andes	265	60	326	23	349
Caribe	224	52	276	19	295
Orinoquía	148	36	184	12	196
Pacífico	241	55	296	17	313

Fuente: Inventario Forestal Nacional, IDEAM (2018).

7.5 Circunstancias nacionales

La Decisión 12 / CP.17 invita a las partes a incluir detalles sobre cómo se han considerado las circunstancias nacionales en el caso de ajustar el NREF. En vista de esta disposición, Colombia considera que además del análisis histórico de la deforestación acumulada de los últimos diez años, a nivel nacional y regional, es necesario ponderar el importante efecto que eventos sociopolíticos recientes han tenido y tendrán en la dinámica de transformación de los bosques. Para ello, desarrolló un modelo de proyección con el que calculó un ajuste sobre el promedio de deforestación 2008-2017, que incorpora al análisis de motores históricos de deforestación los efectos del reciente Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera con el grupo guerrillero denominado Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) suscrito el 24 de noviembre de 2016¹¹.

Debe señalarse que el modelo propuesto no refleja las medidas de política y de implementación en campo adoptadas en los años más recientes por parte del estado colombiano para contrarrestar los procesos de deforestación. En el análisis efectuado, se consideraron dentro del escenario tendencial los impactos generados por el programa Visión Amazonía, el cual, si bien ha logrado importantes avances en reducción de la deforestación, debe señalarse que los mismos se circunscriben a una región específica del territorio nacional, pero difícilmente tales acciones, tienen un efecto en los bosques del resto del país.

En consecuencia, se debe enfatizar que si bien el modelo propuesto pronostica un comportamiento de la deforestación al alza, esto se debe a que no se incluyen aquellas medidas de política cuya implementación comenzó de 2018 en adelante. Entre ellas, se tienen:

- Decreto 926 de 2017: expedido en Junio de 2017, sobre la no causación del impuesto al carbono, permite a empresas que presenten certificados de reducción de emisiones exclusivamente de proyectos nacionales, no pagar o reducir el valor a pagar de dicho impuesto. Este mecanismo de no causación del impuesto al carbono, permitió durante el segundo semestre de 2017, como medida transitoria, solicitudes con resultados de mitigación de GEI provenientes de proyectos en el exterior; a partir de enero de 2018, únicamente se permite aplicar al mecanismo con resultados de mitigación de GEI provenientes de proyectos implementados a nivel nacional. Se espera que la no causación del impuesto al carbono estimule el desarrollo de iniciativas REDD+ (particularmente a nivel de proyectos), cuyos resultados podrían empezar a verse reflejados en un horizonte de tiempo mayor a 3 años.
- Política Nacional de Cambio Climático (PNCC): lanzada en 2017, ha generado un robusto marco de gobernanza climática cimentada en el diseño de estrategias que ayudarán con el cumplimiento de los objetivos trazados por el estado colombiano en materia de reducción de emisiones.
- Estrategia Integral de Control a la Deforestación y la Gestión de Bosques (EICDGB): publicada en 2018, constituye la estrategia nacional REDD+ (ENREDD+) de Colombia y se convierte en uno de los pilares que sustentan la PNCC. Gran parte sus líneas de acción están por implementarse, luego el impacto de la estrategia se espera que se evidencie durante la vigencia del nuevo NREF.
- Ley 1931 de 2018 de Cambio Climático: emitida en 2018, propone un derrotero de la gestión de cambio climático en todos los niveles territoriales. No obstante, gran parte de las provisiones allí consignadas, aún se encuentran en proceso de reglamentación, como los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales y el Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático. Se espera que dichas reglamentaciones, en conjunto con la puesta en marcha de varias de las estrategias y mecanismos creados a través de la ley se logren efectos significativos sobre la reducción de las

¹¹ <http://www.altocomisionadopalapaz.gov.co/procesos-y-conversaciones/Paginas/Texto-completo-del-Acuerdo-Final-para-la-Terminacion-del-conflicto.aspx>

emisiones de GEI en el país, incluyendo los procesos de deforestación relacionados con una precaria planificación territorial.

- Delimitación de la Frontera Agrícola nacional: dada por la Resolución 261 de 2018 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, implementa uno de los compromisos del acuerdo de paz y establece un límite geográfico a los usos agropecuarios, en donde no debe haber usos agropecuarios en zonas deforestadas con posterioridad al 31 de diciembre de 2010.
- Decreto 1007 de junio de 2018 que tiene por objeto reglamentar el incentivo de pago por servicios ambientales por regulación y calidad hídrica, conservación de la biodiversidad, y reducción y captura de gases efecto invernadero.
- Acuerdos Cero Deforestación: generados como parte del involucramiento del país en Tropical Forest Alliance 2020, se han firmado cuatro acuerdos con agrocadenas productivas (aceite de palma, cacao, carne bovina y lácteos) entre noviembre de 2017 a mayo de 2019. Debido a la incidencia que tienen la palma, el cacao y la ganadería sobre la reducción de la cobertura forestal, es de prever que la implementación de dichas alianzas tendrá importantes repercusiones en cuanto a evitar la ampliación de la frontera agropecuaria y su consecuente impacto sobre los bosques del país.
- CONALDEF: en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, se crea el Consejo Nacional de Lucha contra la Deforestación y otros Crímenes Asociados el cual genera un marco institucional integrado para frenar la deforestación con medidas de vigilancia y control.
- Operación Artemisa: lanzada por el gobierno nacional en abril de 2019, constituye una medida de comando y control que intenta recuperar áreas sometidas a procesos de deforestación por parte de diversos actores y, además, acompañarlo de medidas de carácter judicial para castigar a quienes promuevan o ejecuten dicha práctica sobre el recurso forestal.
- Desarrollo Sostenible Bajo en Carbono en la Orinoquia: En el marco de la Iniciativa Paisajes Forestales Sostenibles del Fondo BioCarbono, el Gobierno colombiano firmó con el Banco Mundial un acuerdo por 20 millones de dólares para el alistamiento de un programa de pago por resultados de reducción de emisiones enfocado en la región de la Orinoquia. Si bien el proyecto fue acordado en 2015, su implementación comenzó recién en 2019 y se ejecutará en los siguientes 4 años. Aunque se trata de una fase de alistamiento, se prevé que las medidas propuestas en el componente de uso y manejo del suelo puedan tener un impacto en la reducción de la deforestación asociada a las agrocadenas productivas que han sido priorizadas debido a su importancia para la región y su impacto en las emisiones asociadas.

Se espera que las anteriores medidas, redefinan el comportamiento de la deforestación en los años correspondientes a este Nivel de Referencia y modifiquen la tendencia al alza que se ha evidenciado en los últimos años.

7.5.1 Comportamiento observado en los motores de deforestación durante las negociaciones y luego de la firma del acuerdo de paz

La firma del acuerdo de paz a finales de 2016 marcó el inicio oficial en la implementación de los términos acordados entre las FARC y el Estado. Sin embargo, los efectos sociales y ambientales de un proceso de esta naturaleza comenzaron mucho antes de la firma. Numerosos factores, como la interpretación de la información disponible sobre los acuerdos, la magnitud de la inversión estatal y privada durante el proceso de paz, la aplicación de políticas o medidas durante la negociación (restitución de tierras, construcción de carreteras, entre otros), los acuerdos unilaterales o bilaterales de cese del fuego, la suspensión de la fumigación aérea de cultivos ilícitos, la demanda activa de cocaína, la consolidación de nuevas economías criminales, entre otros, afectaron las expectativas de las partes interesadas y desempeñaron un papel clave al analizar la intervención de los bosques al inicio del período de posconflicto (González et al., 2018).

Desde el inicio de las conversaciones de paz entre el Estado colombiano y las FARC en el año 2012, los expertos advirtieron que el proceso podría tener consecuencias negativas para los bosques, principalmente debido al acceso a áreas restringidas durante el conflicto armado y la falta de planificación para el desarrollo sostenible de estos territorios (MADS-IDEAM, 2014). Los resultados del monitoreo y la información socioeconómica recopilados por el sistema nacional de monitoreo de bosques de Colombia, han demostrado que se ha dado una mayor presión humana sobre los recursos forestales a partir del año 2013. Esto fue ratificado por los expertos de LULUCF en el reporte de análisis técnico del anexo técnico del Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia, quienes concluyeron que los efectos en la dinámica de deforestación comenzaron con el inicio de las negociaciones de paz en 2013 y que las tasas de deforestación recientes no muestran un cambio hacia una tendencia decreciente o de estabilización. Por lo tanto, consideran que los datos proporcionados por Colombia indican que el período de transición, después del cual habrá una disminución o estabilización de la tasa de deforestación, probablemente sea más largo de lo inicialmente esperado (IDEAM, MADS, DNP, CANCELLERIA 2018).

Entre 2013 y 2014 hubo una reducción cercana al 40% en la intensidad de la confrontación. Las FARC pasaron de operar en 242 municipios a 26 veredas (pequeñas áreas rurales dentro de los municipios), abandonando más del 98% del área donde operaban y creando un nuevo escenario de intervención territorial (Fundación Paz y Reconciliación, 2018a). Sin embargo, su repliegue no significó la llegada inmediata de las instituciones estatales en todos los municipios, generando que en muchas de estas zonas se haya creado una situación de vacío de poder o anarquía criminal (Ávila, 2017), y que muchas de ellas hayan sido ocupadas por otros actores que están impulsando nuevos procesos de deforestación. Así, economías en torno a los cultivos ilícitos, la extracción ilícita de minerales, la tala ilegal, el tráfico de madera y la ocupación de áreas protegidas, se consolidaron durante el desarrollo del proceso de paz con las FARC y luego de la firma del acuerdo final (Garzón et al., 2016; Álvarez et al., 2018; Fundación Paz y Reconciliación, 2018b).

Los efectos de esta consolidación han tenido un impacto a nivel nacional con un aumento del 44% en la deforestación entre 2015 y 2016 (124,035 ha / año a 178,597 ha / año), y un 23% entre 2016 y 2017 (178,597 ha / año a 219,973 ha / año respectivamente), principalmente como resultado de las acciones de actores ilegales que, bajo las nuevas condiciones de accesibilidad al territorio, han promovido procesos masivos de acaparamiento de tierras, minería ilegal y la expansión de la frontera agropecuaria a través del cultivo de coca (González et al., 2018). Los cultivos de coca en todo el país aumentaron un 52% entre 2015 y 2016, y un 17% entre 2016 y 2017 (UNODC-Gobierno de Colombia, 2018a). Las áreas con evidencia de explotación de oro aluvial también aumentaron entre 2014 y 2016, pasando de 78,939 ha/año a 83,620 ha/año (aumento del 6%) (UNODC-Gobierno de Colombia, 2018b). Además, se han identificado procesos de recolonización de territorios previamente ocupados por las FARC y una reconfiguración de los actores armados ilegales en los cinco biomas que conforman el país, particularmente en las áreas con mayor concentración de deforestación. Estos grupos han impuesto cambios en las reglas locales del uso de la tierra y los recursos naturales, alentando la tala indiscriminada de bosques (Fundación Paz y Reconciliación, 2018a).

La Fundación Paz y Reconciliación (2018b) indica que dos años después de la firma del acuerdo de paz entre las FARC y el Estado, lo que inicialmente se planteó como desafíos ambientales posteriores al conflicto, hoy se reconoce como pasivo ecológico. La deforestación en Colombia ha ocupado su lugar entre los problemas más graves del país, lo que no solo se refleja en el aumento constante de las cifras nacionales durante los últimos años, sino también en el reconocimiento común de que sus efectos negativos van desde la escala local hasta el nivel global.

7.5.2 Supuestos y aproximación modelada al cálculo del ajuste por circunstancias nacionales

El análisis parte del supuesto que las nuevas condiciones socioeconómicas y políticas, así como las tendencias de deforestación generadas por el proceso de negociación y el acuerdo resultante entre el Estado colombiano y las FARC, que expandieron y reforzaron los impulsores históricos de la pérdida de bosques a nivel regional,

continuarán teniendo un efecto decisivo en la pérdida y degradación de los bosques naturales a nivel nacional, hasta el momento en que la tendencia actual llegue a un punto de estabilización y se revierta. Esto implica un período de transición en el que dos factores principales desempeñarán un papel clave en la intervención de los bosques: i) el crecimiento de la deforestación y ii) la accesibilidad a los bosques. Como se mencionó anteriormente, los datos históricos disponibles para analizar el comportamiento de la deforestación en el país muestran un cambio distintivo que puede atribuirse a las negociaciones de paz y a la firma del acuerdo final (Figura 10). Por lo tanto, cualquier enfoque para proyectar la deforestación no solo debe tener en cuenta la deforestación acumulada durante el período de referencia, sino también reflejar los cambios recientes en las tendencias históricas. Por otra parte, la intervención de los bosques está condicionada por el nivel de accesibilidad al recurso, donde las áreas aisladas o aquellas con restricciones biofísicas o sociales tienen menos probabilidades de ser deforestadas, mientras que otras áreas forestales presentan un mayor riesgo y, por lo tanto, son más susceptibles a la deforestación (González et al., 2018). Finalmente, todos estos factores deben analizarse utilizando una aproximación regional que considere las diferencias subnacionales en las dinámicas y patrones de deforestación.

Teniendo en cuenta los supuestos presentados y las tendencias de deforestación observadas, se utilizó un conjunto de modelos logísticos regionales para proyectar la deforestación nacional durante el período 2018-2022. La diferencia aritmética entre la deforestación modelada y la deforestación proyectada utilizando el promedio histórico (2008-2017), se utilizó para estimar el ajuste anual por las circunstancias nacionales.

7.5.3 Modelo logístico

El Anexo 1 presenta una descripción detallada del proceso de análisis utilizado para construir el ajuste por circunstancias nacionales para el NREF nacional, utilizando una aproximación regional. El comportamiento futuro de la deforestación se proyectó para cada uno de los cinco biomas del país, utilizando un modelo de crecimiento logístico en el que se argumenta que, la expansión de la deforestación sobre el bosque remanente puede ocurrir exponencialmente si las condiciones que determinan el crecimiento no se ven afectadas por situaciones exógenas. Sin embargo, también establece que existen condiciones que no permiten que este crecimiento ocurra indefinidamente, lo que significa que hay un límite para la pérdida de bosques. La ecuación general para el modelo logístico se define como (Poveda y Manrique, 2007):

$$N_t = k_1 + \frac{k_2}{1 + e^{a+bt}}$$

Donde:

k_1	Área mínima deforestada
k_2	Área máxima deforestada
N_t	Deforestación proyectada en el tiempo t
t	Período de proyección
b	Tasa de cambio entre períodos
a	Constante

Dado que la variable a modelar es el área deforestada, se podría argumentar que en realidad siempre hay un valor mínimo de pérdida de cobertura forestal. Sin embargo, se eligió un enfoque más conservador donde se permite un valor de deforestación cero. Teniendo en cuenta este nuevo supuesto, la ecuación se modifica de la siguiente manera:

$$k_1 = 0$$

Resultando:

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{a+bt}}$$

Donde:

K Área de bosque susceptible a la deforestación

Se requieren dos parámetros básicos para el modelo: la tasa de crecimiento (b) y el área de bosque susceptible a la deforestación (K), que corresponde al área máxima de crecimiento de la deforestación.

a. Estimación de la tasa de crecimiento (b)

Para evaluar el crecimiento de la deforestación, el modelo incorpora la deforestación acumulada de las series históricas 2000-2017 disponibles para cada bioma. También utiliza la tasa de cambio observada entre 2016-2017 (b) para representar adecuadamente la velocidad de los cambios recientes en las tendencias de deforestación, causadas por el proceso de negociación y el acuerdo resultante entre el Estado colombiano y las FARC. Las tasas de crecimiento estimadas para cada bioma se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Tasa de crecimiento de la deforestación (b) estimada por bioma.

Bioma	Tasa de crecimiento exponencial de deforestación estimada para el año 2017
Amazonia	10,4
Pacífico	8,4
Andes	8,1
Caribe	5,6
Orinoquía	5,6

b. Estimación del área de bosque susceptible a la deforestación (K)

El modelo incorpora el efecto de accesibilidad forestal descrito en la sección anterior a través del parámetro K . El área de “bosque susceptible a la deforestación” (K) se calculó restando el área denominada “bosque no deforestable” del área total de bosque disponible (susceptible de ser deforestado) en el año 2017 (Figura 9).

El bosque no deforestable se estimó utilizando tres variables: i) bosque protegido, ii) bosque no accesible y iii) área de bosque mínimo. La categoría de **bosque protegido** incluye áreas de bosque ubicadas dentro de zonas con disposiciones sobre el uso del suelo específicas o figuras de manejo especial para su protección como Parques Nacionales Naturales, resguardos indígenas y territorios colectivos de comunidades afrodescendientes donde la conservación del bosque natural se demostró estadísticamente. Las áreas en que no fue posible demostrar estadísticamente el impacto positivo de estas figuras de manejo sobre la conservación, no fueron tenidas en cuenta dentro de la categoría de bosque protegido.

La categoría de **bosque no accesible** corresponde a las áreas forestales restantes ubicadas en pendientes fuertes o en zonas distantes de las carreteras. Finalmente, la categoría de área de **bosque mínimo** se agregó como una medida conservadora para tener en cuenta la proporción de bosque (diferente de las dos categorías anteriores) que, debido a diferentes factores, generalmente permanece en cualquier municipio, incluso después de que el mismo haya estado expuesto a altas tasas de deforestación.

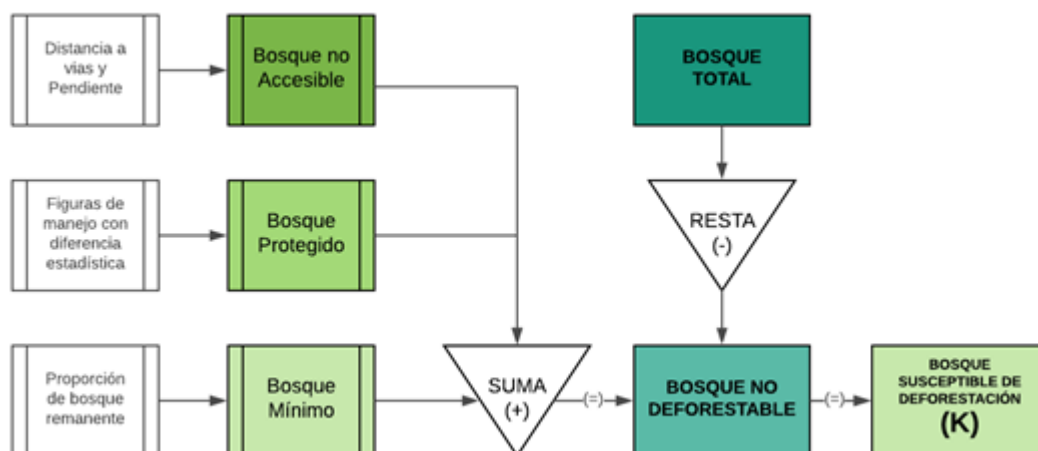


Figura 9. Estimación del bosque susceptible a ser deforestado (K)

Los valores estimados de K para cada bioma se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Área de bosque susceptible a ser deforestado (K) estimada por bioma.

Bioma	Área de bosque susceptible a ser deforestado utilizado para la modelación
Amazonia	4.715.753
Andes	3.077.868
Caribe	834.884
Orinoquia	1.479.039
Pacífico	432.076
Nacional	10.539.620

c. Proyección nacional de pérdida de bosque natural 2018-2022

Las proyecciones por bioma se agregan para obtener una proyección de la deforestación nacional para el período 2018-2022. El resultado final se presenta en la Figura 10.

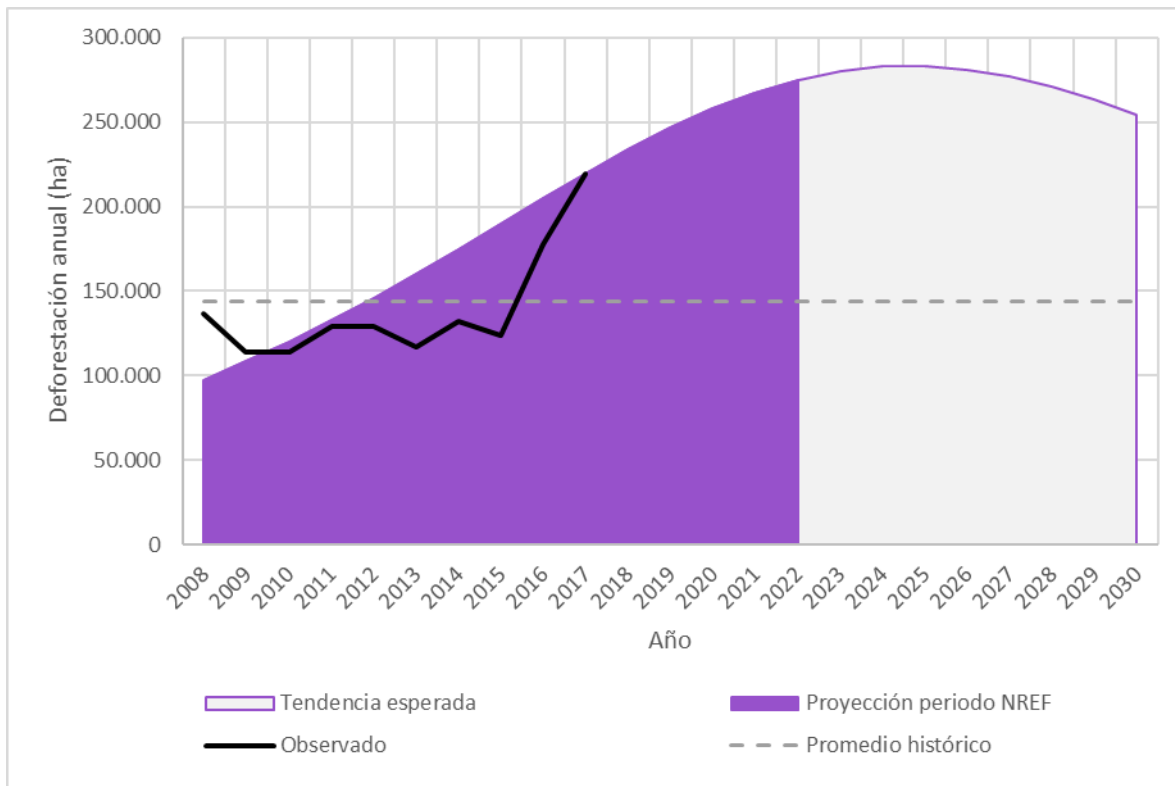


Figura 10. Proyección nacional de pérdida de bosque natural

d. Estimación del error

Cualquier proyección tiene asociado un nivel de incertidumbre, dado que a su vez este se convierte en un pronóstico de un fenómeno a partir de unas características observadas. Por tanto, se hace necesario establecer en qué medida el modelo utilizado, en este caso la función logística, podría ofrecer proyecciones precisas y confiables.

Para medir la incertidumbre o error del modelo, se utilizaron análisis cuantitativos a través del error cuadrático medio, y el porcentaje medio de error absoluto, los cuales permiten medir la dispersión de los datos observados frente a los proyectados.

A continuación se presentan las pautas que se siguieron para su cálculo.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n \cdot |A_t|}$$

Donde:

- A_t Deforestación observada en el periodo t
- F_t Deforestación proyectada en el periodo t
- n Total de periodos observados

El cálculo de errores se realizó para cada una de las proyecciones realizadas utilizando los diferentes periodos de tiempo.

Con base en el porcentaje del error medio absoluto se estimaron los intervalos de confianza para la estimación del ajuste por cambio en las circunstancias nacionales (Tabla 7).

Tabla 7. Intervalos de confianza para el ajuste por cambio en las circunstancias nacionales

Año	Promedio histórico 2008-2017	Ajuste adicional estimado por circunstancias nacionales		Intervalo superior ajuste adicional circunstancias nacionales		Intervalo inferior ajuste adicional circunstancias nacionales	
	(ha)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
2018	143.532,6	89.105,5	62,08%	132.608,8	92,39%	45.602,2	31,77%
2019	143.532,6	101.120,7	70,45%	146.870,9	102,33%	55.370,5	38,58%
2020	143.532,6	111.728,3	77,84%	159.462,1	111,10%	63.994,5	44,59%
2021	143.532,6	120.622,7	84,04%	170.019,8	118,45%	71.225,7	49,62%
2022	143.532,6	127.552,0	88,87%	178.244,8	124,18%	76.859,2	53,55%

7.5.4 Ajuste del NREF por circunstancias nacionales 2018-2022

El NREF incorpora un ajuste por las circunstancias nacionales estimadas utilizando el modelo logístico desarrollado para cada uno de los cinco biomas, los cuales fueron agregados para dar un resultado nacional. Colombia estimó un ajuste anual diferencial sobre el valor de las emisiones promedio del período de referencia 2008-2017. La Tabla 8 presenta el ajuste anual para el período 2018-2022 en el que se toma el intervalo de confianza inferior de la proyección, con lo cual se busca generar una estimación más conservadora.

Tabla 8. Ajuste anual del NREF por circunstancias nacionales. Período 2018-2022.

Año	Promedio histórico 2008-2017 (ha)	Ajuste circunstancias nacionales (ha)	Deforestación Total proyectada (promedio histórico + circunstancias nacionales)	Ajuste (%)
2018	143.532,6	45.602,2	189.134,8	31,77%
2019	143.532,6	55.370,5	198.903,1	38,58%
2020	143.532,6	63.994,5	207.527,1	44,59%
2021	143.532,6	71.225,7	214.758,3	49,62%
2022	143.532,6	76.859,2	220.391,8	53,55%

En la Figura 11 se puede observar la proyección teniendo en cuenta el ajuste con el intervalo inferior, el más conservador del modelo.

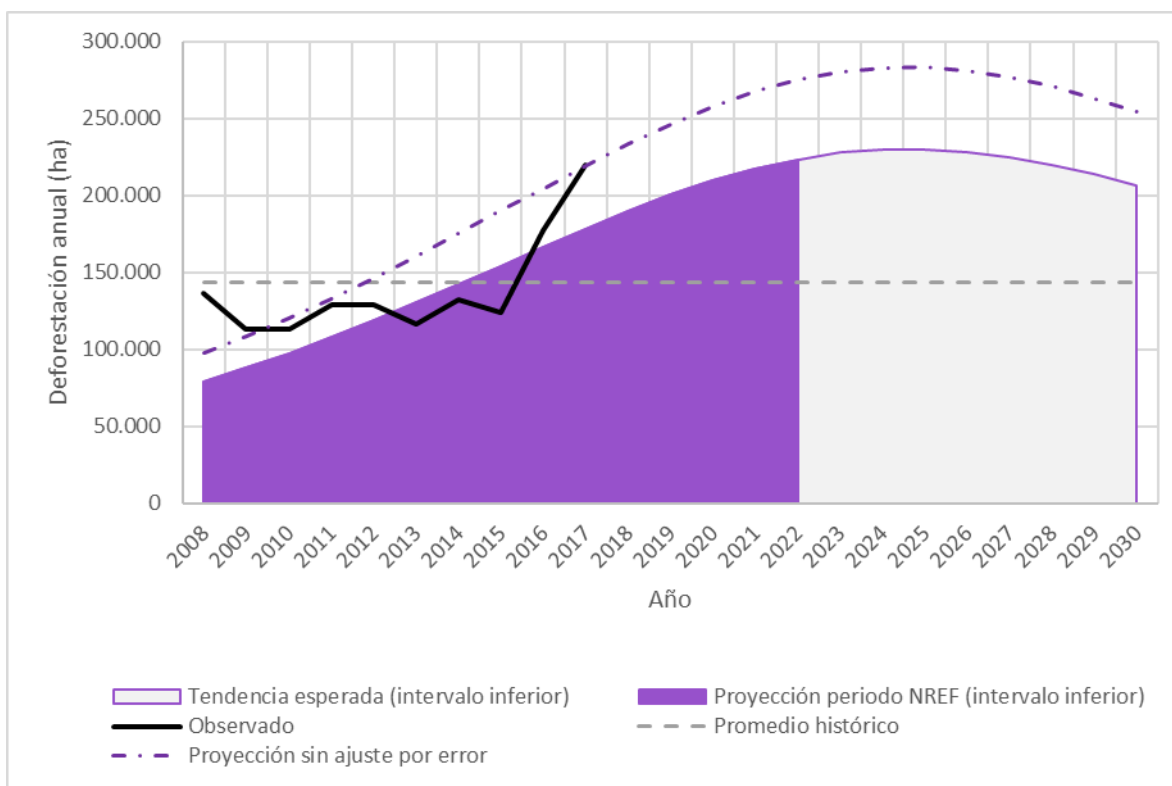


Figura 11. Proyección nacional de pérdida de bosque natural con el ajuste del intervalo inferior.

8. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES

La Tabla 9 resume la información seleccionada para los componentes de datos de actividad, factores de emisión y circunstancias nacionales. La construcción del NREF conllevó tres pasos:

- i. Determinación de los datos de actividad (acorde al numeral 7.3 del presente documento),
- ii. Determinación de los factores de emisión (acorde al numeral 7.4 del presente documento) y
- iii. Multiplicación del factor de emisión promedio por la deforestación promedio más un porcentaje anual de circunstancias nacionales durante el periodo 2018 – 2022 (acorde al numeral 7.5 del presente documento).

Tabla 9. Resumen de insumos seleccionados para la simulación de la deforestación

Componente	Insumo	Fuente
Datos de actividad	Capas de coberturas de Superficie de Bosque natural y deforestada. Unidad Mínima de Mapeo de 1 hectárea.	IDEAM (2018) basado en la de Superficie metodología propuesta por Galindo <i>et al.</i> , 2014).
Factores de emisión	Biomasa (t ha-1) y emisiones brutas (t CO2 ha-1) por bosque en cada bioma de Colombia.	Basado en IDEAM (2018). Inventario Forestal Nacional.
Circunstancias nacionales	Estimación conservadora de tendencias futuras de comportamiento de la deforestación basado en un modelo logístico que se implementa en cada bioma de Colombia.	Basado en la información secundaria reportada en el Anexo 1 del presente documento.

7.6 Cálculo del NREF

Se calcularon las emisiones de cada año (EA) del periodo 2000 – 2017 nacionales, correspondiente a la sumatoria de las emisiones de cada año por cada uno de los cinco biomas (EA_{bioma}), las cuales a su vez son el producto entre la deforestación anual (CSB_{Bioma} - Cambio en la superficie cubierta por bosque natural anualizada por bioma); apartado 7.3), por el CO_2 equivalente contenido en la biomasa forestal ($CBF_{eq} Bioma$) por hectárea más la sumatoria de la tasa de pérdida a 20 años del contenido del carbono orgánico del suelo (en CO_2 eq) por bioma por hectárea ($\sum COS_{Bioma - 20años}$).

$$EA = EA_{Amazonas} + EA_{Andes} + EA_{Caribe} + EA_{Orinoquia} + EA_{Pacífico}$$

$$EA_{bioma} = CSB_{Bioma} \times (CBF_{eq} Bioma + (\sum COS_{Bioma-20años}))$$

El cálculo del NREF corresponde al promedio de las emisiones EA del periodo 2008-2017 ($EA_{2008-2017}$), por el ajuste por circunstancias nacionales (CN) estimada para cada uno de los años del periodo 2018 – 2022 (apartado 7.4).

$$NREF = EA_{2008-2017} \times CN$$

En la Tabla 10 se presentan los resultados contenidos para cada uno de los biomas en Colombia y el consolidado a nivel nacional.

Tabla 10. Estimación del NREF a nivel nacional en Colombia.

AÑOS CN	% CN	Emisiones (t CO_2 eq)
$EA_{2008-2017}$		93.978.070
2018	32%	123.834.903
2019	39%	130.234.810
2020	45%	135.882.892
2021	50%	140.609.989
2022	54%	144.303.327

El NREF para Colombia tendrá un periodo de proyección de 5 años, es decir será aplicable para el periodo 2018 a 2022, luego de lo cual será actualizado.

7.7 Cálculo de incertidumbre del NREF

El cálculo de la incertidumbre para determinar la precisión del NREF se establece a partir de la información de datos de actividad y los factores de emisión usados para la estimación de las emisiones GEI.

El IPCC ha propuesto dos métodos para la estimación de la incertidumbre: el primero utiliza ecuaciones simples de propagación de errores, en términos generales, se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar expresadas como coeficientes de variación. El segundo utiliza la técnica de Monte Carlo, que consiste en la generación de muestras a partir de la distribución teórica de las fuentes de error (Eggleston H.S., L., Miwa K., & K., 2006).

Se realizó un análisis preliminar para la región de Amazonía utilizando los dos métodos y los resultados de incertidumbre fueron similares, sin embargo, se tomó la decisión de utilizar el método de propagación de error, considerando que se podía llegar a un resultado nacional a través de las estimaciones regionales.

Es importante resaltar que para utilizar el método de propagación de error es necesario que el coeficiente de variación (CVE) sea inferior a 0,3, condición que cumple cada una de las fuentes utilizadas, como se puede observar en la

Tabla 11.

La estimación de incertidumbre de emisión bruta por región se establece como:

$$\delta EB_r = \delta BA_r + \delta BS_r - \delta BA_r * \delta BS_r$$

Donde

δEB_r Incertidumbre emisiones brutas de la región r

δBA_r Incertidumbre del factor de la biomasa aérea de la región r

δBS_r Incertidumbre del factor de la biomasa subterránea de la región r

En este caso se asume que los dos factores son independientes.

Así mismo, se tiene:

$$\delta BA_r = \sqrt{(\delta DA_r)^2 + (\delta FBA_r)^2}$$

Donde

δDA_r Incertidumbre dato de actividad de la región r

δFBA_r Incertidumbre del factor de la biomasa aérea de la región r

Y también

$$\delta BS_r = \sqrt{(\delta DA_r)^2 + (\delta FBS_r)^2}$$

Donde

δDA_r Incertidumbre dato de actividad de la región r

δFBS_r Incertidumbre factor de la biomasa subterránea de la región r

Finalmente se tiene como nivel de incertidumbre nacional como:

$$\delta EB = \sum_{r=1}^R W_r * \delta EB_r$$

δEB Incertidumbre nacional de emisiones brutas
 W_r Peso relativo de la región con respecto a la deforestación acumulada

Tabla 11. Cálculo de la incertidumbre Nacional

Región	Datos de actividad (Deforestación acumulada (ha))		Contenidos de carbono BA		Contenidos de carbono BS		Errores Emisiones brutas
	Observado	CVE	(TC/ha)	CVE	(T C/ha)	CVE	
Nacional	2.481.035,9	0,09	-	-	-	-	0,204
Amazonia	1.399.651,3	0,09	121,2	0,021	27,0	0,020	0,182
Andes	462.132,7	0,09	72,2	0,060	16,6	0,056	0,208
Caribe	281.177,8	0,09	61,2	0,097	14,1	0,089	0,246
Orinoquía	179.501,2	0,09	40,2	0,114	9,7	0,102	0,265
Pacífico	158.572,8	0,09	65,9	0,088	15,2	0,081	0,236

De acuerdo con los resultados, se tiene un nivel de incertidumbre del 20,4% para emisiones brutas a nivel nacional.

9. CONSISTENCIA ENTRE REPORTES DE EMISIONES PRESENTADOS A LA CMNUCC

7.8 Consistencia entre el NREF nacional y el segundo Reporte Bienal de Actualización (RBA)

Las emisiones estimadas asociadas a la deforestación del bosque en el módulo AFOLU, específicamente las incluidas en la categoría 3B-Tierras en el último inventario nacional de GEI presentado a la CMNUCC mediante el segundo reporte bienal de actualización (RBA2) (IDEAM et al, 2018), son consistentes con la definición de bosque, los datos de actividad (tasas de deforestación anual), factores (biomasa aérea, biomasa subterránea y carbono orgánico del suelo) y supuestos (distribución de la fuga de emisiones del depósito del suelo en 20 años) usados para el cálculo de emisiones presentados en el presente NREF.

Sin embargo el NREF nacional presenta algunas diferencias con las estimaciones del RBA2 las cuales se explican a continuación:

- El RBA2 utiliza la metodología de pérdidas y ganancias (IPCC 2006), para lo cual, además de la tasa anual de deforestación determina las coberturas/ usos de la tierra a la que se convierte el bosque al ser deforestado, mientras que el NREF estima las emisiones a partir de la deforestación bruta. Esta aproximación no se incluye aún en los NREF debido a que en la actualidad no está estandarizada la metodología de la tipificación de la deforestación para el periodo 2000-2010, con los avances incorporados para los años 2013 y 2014. Esta mejora está programada para desarrollarse en el transcurso de los siguientes años, la cual será reportada en los próximos RBA y actualizaciones del NREF.

- El RBA2 calcula las emisiones por deforestación a partir del año 1990 a diferencia del NREF que tiene en cuenta la información desarrollada por el país desde el año 2000. Esta diferencia determina un cambio en la estimación anual de las emisiones brutas asociadas al depósito de suelos, ya que el RBA2 incluye pérdidas rezagadas de carbono de los suelos del periodo 1990-2000. Sin embargo, estas diferencias dejarán de existir entre el NREF y el RBA2 cuando se reporte el año 2019, momento en el cual las emisiones derivadas del depósito de suelos y asociadas a la tasa de deforestación anual del periodo 1990-2000 dejan de contabilizarse. El NREF nacional no incluye datos de actividad del periodo 1990-2000, ya que la tasa anual de deforestación calculada corresponde a un solo periodo decenal de cambio de las coberturas de Bosque No-Bosque, el cual no es comparable con la metodología de estimación de la deforestación por periodos bienales y anuales utilizada a partir del año 2000.
- El RBA2 incluye en su cálculo el depósito de materia orgánica muerta a partir de los factores por defecto (Tier 1) suministrados por las Directrices del IPCC (2006). Este depósito no se incluye en los NREF ya que en la actualidad el país no tiene factores propios (Tier 2) para este depósito. Se espera incluir este componente en futuras actualizaciones de los NREF y los RBA2 una vez se tengan estimaciones adecuadas procedentes de la implementación del IFN..

7.9 Diferencias con el NREF anterior

Al comparar el presente NREF y el NREF del bioma amazónico sometido a la CMNUCC en 2014, se encuentran las siguientes diferencias:

- El alcance del nuevo NREF es nacional.
- Adicional al depósito de biomasa se incluye el depósito de suelos.
- El NREF es basado en el promedio histórico con un ajuste de circunstancias nacionales basado en la proyección de un modelo logístico.
- Los datos de actividad reportados en el *NREF del bioma amazónico* y los avances de resultados reportados en los Anexos técnicos del RBA1 y RBA2 (superficie histórica deforestada del periodo 2000-2012 y avances en la reducción de emisiones por deforestación de los años 2013, 2014, 2015 y 2016) son consistentes para esta región con este NREF.
- El contenido de carbono de la biomasa total del bioma amazónico difiere en un 4% con el reportado en el actual NREF (NREF bioma amazónico = 154,3 tC/ha vs NREF nacional = 148,1 tC/ha).

10. NECESIDADES DE CREACIÓN DE CAPACIDADES, MEJORAS Y AVANCES.

Con base en las recomendaciones realizadas en el marco de la evaluación técnica (TA) del anexo técnico del segundo reporte de actualización bienal (BUR, por sus siglas en ingles), el país deberá lograr un mejoramiento técnico en aspectos como:

- Asegurar la consistencia entre el NREF y los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (INGEI).
- Añadir los depósitos de carbono correspondientes a la necromasa y el carbono orgánico del suelo en los próximos esfuerzos de monitoreo y contabilización.
- Considerar la inclusión de otros gases de efecto de invernadero distintos del CO₂.

- Conducir investigaciones y análisis más profundos sobre el comportamiento de las circunstancias nacionales debido a las dinámicas sociales y económicas originadas después del Acuerdo de Paz.
- Reducir el nivel de incertidumbre de las estimaciones
- Incorporar los efectos de la degradación forestal en los futuros análisis.

Con relación a este último punto, se requiere incrementar las capacidades técnicas para entender cómo se comporta la degradación forestal en Colombia y como podría incorporarse en futuros niveles de referencia de emisiones forestales. El país requiere adelantar estudios de mayor especificidad relacionados con este fenómeno, de tal manera que lo pueda abordar desde un enfoque mucho más holístico, pero sobre todo de generar herramientas y procedimientos que permitan su monitoreo y control. En un intento por comprender las dinámicas asociadas a la degradación forestal, el país considera fundamental avanzar en los siguientes frentes de trabajo (IDEAM, 2018):

- Se requiere caracterizar de forma multiescalar las causas directas de degradación en cada una de las diferentes escalas de trabajo de la mano con los actores clave del manejo forestal.
- Es importante lograr una mayor profundización en el conocimiento de las dinámicas, las sinergias entre las distintas causas y/o motores y la relación de la degradación forestal como precursor de los procesos de deforestación.
- Mantener los procesos de monitoreo tanto de la deforestación como la degradación para identificar como ocurre su interrelacionamiento, cuál es su marco temporal de ocurrencia y para examinar su nivel de interdependencia.
- Evaluación de la eficacia e impacto de las políticas tanto en el sector forestal como agropecuario como estrategia para controlar y disminuir los procesos de pérdida de la cobertura forestal y de degradación del bosque.
- Fortalecimiento de los sistemas de información existentes en la Corporaciones Autónomas Regionales tanto de su aspecto estructural como desde la incorporación de variables con escalas temporales adecuadas.

Debe señalarse que Colombia ha logrado importantes avances durante éste nuevo proceso de construcción del NREF nacional tal como el mejoramiento de sus factores de emisión, los cuales han sido ajustados a partir de la información provista por el inventario forestal nacional (IFN), el cual, una vez concluido, arrojará mayor precisión a los resultados.

De igual forma, se ha conseguido un importante afianzamiento en el mejoramiento de información provista por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), que sin embargo, debe complementarse con medidas de monitoreo comunitario. En ese sentido, el país viene trabajando en fortalecer las capacidades técnicas de grupos comunitarios para incorporar la información obtenida en terreno en la toma de decisiones sobre la gestión de los bosques desde una escala nacional.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, E. Pardo, D. Cajiao A. 2018. Trayectorias y dinámicas territoriales de las disidencias de las FARC. Fundación Ideas para la Paz (FIP). Bogotá, Colombia.

Ávila, A. 2017. Una tragedia ambiental en Colombia. El País, febrero 6. http://internacional.elpais.com/internacional/2017/02/06/colombia/1486384363_280683.html.

Boyle, B., N. Hopkins, Z. Lu, J. A. Raygoza Garay, D. Mozzherin, T. Rees, N. Matasci, M. L. Narro, W. H. Piel, S. J. McKay, S. Lowry, C. Freeland, R. K. Peet y B. J. Enquist. 2013. The Taxonomic Name Resolution Service: An Online Tool for Automated Standardization of Plant Names. *BMC Bioinformatics* 14(1): 16.

Cairns M A, Brown S, Helmer E H and Baumgardner G A 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111, 1–11.

Chave, J., D. Coomes, S. Jansen, S. L. Lewis, N. G. Swenson y A. E. Zanne. 2009. Towards a Worldwide Wood Economics Spectrum. *Ecology Letters* 12(4): 351–366.

Cochran, W. (1977) *Sampling Techniques*. Wiley, New York. Springer, New York.

DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarto, D., Schalamadinger, B., & De Souza, C. (2006). Reducing greenhouse gas in temperate forests. *Remote Sensing Reviews*, 13, 207–234. Emissions from Deforestation in developing countries: Considerations for monitoring and measuring, report of the Global Terrestrial Observing System (GTOS) Number 46, GOFC-GOLD report 26 (p. 23). Roma, Italia.

FAO, 2000. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000. Food and Agriculture Organization. Roma

FAO. 2016. El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma.

Feldpausch, T., Lloyd, J., Lewis, S., Brien, R., Gloor, E., Monteagudo Mendoza, A. et al. (2012). Tree height integrated into pan-tropical forest biomass estimates. *Biogeosci. Disc.*, 9, 2567–2622

Fundación Paz & Reconciliación. 2018a. ¿Cómo va la paz? Pares-Fundación Paz & Reconciliación. La Iniciativa, Unión por la Paz. Bogotá, Colombia.

Fundación Paz & Reconciliación. 2018b. ¿Cómo va la paz?: La reestructuración unilateral del Acuerdo de Paz. Pares-Fundación Paz & Reconciliación. Bogotá, Colombia.

Galindo G., Espejo O. J., Rubiano J. C., Vergara L. K., Cabrera E. 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia.

García, A., Echeverría, C., Montero, E., Villar, E., Arévalo, I., Hernández, J., González, V., Rubio, J., Carvajal, R. y Baños, L. (2018). Reforestación y conservación de árboles nativos en el corregimiento de San Rafael municipio de San Sebastián, Magdalenan. MODULO ARQUITECTURA-CUC, vol. 20, no. 1, pp. 95-108.

Garzón, J., M. Llorente, E. Álvarez, y A. Preciado. 2016. Economías criminales en clave de postconflicto: Tendencias actuales y propuestas para hacerles frente. Fundación Ideas para la Paz (FIP). <http://cdn.ideaspaz.org/media/website/document/56acd739de508.pdf>.

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 forestation. GOFC-GOLD Report version (p. 243). Paises Bajos: Wageningen University.

González, J. Cubillos, A. Chadid, M. Cubillos, A. Arias, M. Zúñiga, E. Joubert, F. Pérez, I. Berrío, V. 2018. Caracterización de las principales causas y agentes de deforestación a nivel nacional período 2005-2015. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia. Bogotá, Colombia.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2018. Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds),. IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan.

MADS - IDEAM. 2014. Propuesta de nivel de referencia de las emisiones forestales por deforestación en el Bioma Amazónico de Colombia para pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá, Colombia.

MADS – ONF. 2015. Uso y legalidad de la madera en Colombia. Análisis parcial / Macía S., Fernán (Ed.) - ONF Andina Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ONF Andina.

MADS. 2018. Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá, Colombia.

MADS 2019. Importancia de los bosques, Colombia tercer país de la región en cobertura boscosa. En: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/2-noticias/1210-el-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-513>.

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. 2002. Definición de Bosque para proyectos de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura para el primer período de compromiso. 19 pp.

Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC)-Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI), Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2018 (Bogotá: UNODC-SIMCI, 2018).

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, 148, 42–57.

Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122–131.

Olthof, I., Pouliot, D., Fernandes, R., & Latifovic, R. (2005). Landsat-7 ETM+ radiometric normalization comparison for northern mapping applications. *Remote Sensing of Environment*, 95(3), 388–398.

Penman, J. ; Gytarsky, M. ; Hiraishi, T. ; Krug, T. ; Kruger, D. ; Pipatti, R. ; Buendia, L. ; Miwa, K. ; Ngara, T. ; Tanabe, K. ; Wagner, F. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, C/o Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan. Pp.v + 593 pp.

POTAPOV, P. V., TURUBANOVA, S., HANSEN, M. C., ADUSEI, B., BROICH, M., ALTSTATT, A., MANE, L. & JUSTICE, C. O. (2012). QUANTIFYING FOREST COVER LOSS IN DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO, 2000–2010, WITH LANDSAT ETM+ DATA. *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT*, 122, 106–116.

Poveda, G, H Manrique 2007. Aplicación de la curva logística a los censos de la ciudad de Medellín. *Ecos de Economía*. Medellín.

Scott, C. T. 2018. Estimation Using Ratio-to-Size Estimator Across Strata and Subpopulations. Reporte distribuido por el autor.

Stehman, S. 2012. Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change, *Remote Sensing Letters*, 3:2, 111-120.

UNODC - Gobierno de Colombia. 2018. Informe de monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2017. Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos – SIMCI. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Bogotá, Colombia.

Zanne, A. E., G. Lopez-Gonzalez, D. A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S. L. Lewis, R. B. Miller, N. G. Swenson, M. C. Wiemann y J. D. Chave. 2009. Data from: Towards a Worldwide Wood Economics Spectrum. Dryad Digital Repository.

12. ANEXOS

Anexo 1.