

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, agosto de 2020

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

OSCAR FABIÁN MERCHÁN

APOYO TÉCNICO Y CONTROL DE CALIDAD

ADRIANA PATRICIA YEPES, FAO – COLOMBIA

MARIEKE SANDLER, FAO

IVÁN DARÍO VALENCIA, ECDBC - MINISTERIO DE AMBIENTE

LIZET JIMENA ROBAYO ROCHA - IDEAM



El ambiente
es de todos

Minambiente

Tabla de contenido

GLOSARIO	5
INTRODUCCIÓN	6
1. Área de cubrimiento del nref	6
2. Contexto Nacional	8
2.1 Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques - EICDGB	10
3. Definición de Bosque	11
4. Actividades REDD+ incluidas	11
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	12
7.3 Datos de actividad	12
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	18
7.3.4 Fase 4: Cálculos y reportes.	20
7.4 Factores de emisión	24
7.4.1 Origen y tratamiento de los datos de campo	25
7.4.2 Post-Estratificación	27
7.4.3 Estimadores	27
7.4.4 Calibración	29
7.5 Estimación de emisiones.	30
7.6 Circunstancias nacionales	32
7.6.1 Comportamiento observado en los motores de deforestación durante las negociaciones y luego de la firma del acuerdo de paz	34
7.6.2 Supuestos y aproximación modelada al cálculo del ajuste por circunstancias nacionales	35
7.6.3 Modelo logístico	36
7.6.4 Ajuste del NREF por circunstancias nacionales 2018-2022	40
8. Construcción del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales	42
8.1 Cálculo del NREF	42



8.2	Cálculo de incertidumbre del NREF	43
9.	Consistencia entre reportes de emisiones presentados a la CMNUCC	46
9.1	Consistencia entre el NREF nacional y el segundo Reporte Bienal de Actualización (RBA)	46
9.2	Diferencias entre el NREF del bioma Amazónico versus el NREF Nacional	46
10.	Necesidades de creación de capacidades, mejoras y avances.	47
10.1	Fortalecimiento de capacidades	48
11.	Referencias bibliográficas	51
12.	Anexos	55



Listado de Figuras

Figura 1 Mapa de Biomas de Colombia (Regiones Naturales).....	7
Figura 2 Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMBByC.....	14
Figura 3. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8.	15
Figura 4. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2.	17
Figura 5. Ventana de interpretación de los puntos de muestreo en el aplicativo qGIS Acatama.....	20
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	23
Figura 8. Mapa de distribución de conglomerados del IFN a nivel de nacional y bioma para el NREF.....	24
Figura 9. Estimación del bosque susceptible a ser deforestado (K)	38
Figura 10. Proyección nacional de pérdida de bosque natural	39
Figura 11. Proyección nacional de pérdida de bosque natural con el ajuste del intervalo inferior.....	41

Listado de Tablas

Tabla 1 Monitoreo de datos de actividad de deforestación – (Cambio en la Superficie de Bosque CSB) para la construcción del Nivel de Referencia.....	21
Tabla 2. Modelo Asintótico de Weibull para determinación de alturas.....	25
Tabla 3. Ecuaciones alométricas propuestas para estimación de biomasa aérea propuestas por Chave et al. (2014), Sierra et al. (2007) y Tipeolo et al. (2002) para árboles, palmas y helechos respectivamente.	26
Tabla 4 Biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS), biomasa total (BT), dióxido de carbono equivalente contenido en la biomasa total (CBF _{eq}) por bioma.....	31
Tabla 5 Carbono orgánico del suelo (COS), COS _{20AÑOS} y COSeq para cinco biomas.....	31
Tabla 6 Estimación de Factores de Emisión del bosque natural por cada bioma en Colombia.	32
Tabla 7. Coeficiente de crecimiento (b) estimados por bioma.	37
Tabla 8 Área de bosque susceptible a la deforestación (K) estimada por bioma.	39
Tabla 9 Intervalos de confianza para el ajuste por cambio en las circunstancias nacionales	40
Tabla 10 Ajuste anual del NREF por circunstancias nacionales. Período 2018-2022.....	41
Tabla 11 Resumen de insumos seleccionados para la simulación de la deforestación	42
Tabla 12 Estimación del NREF a nivel nacional en Colombia.	43
Tabla 13 Cálculo de la incertidumbre Nacional.....	45

GLOSARIO

AFOLU:	Agricultura Silvicultura y Usos del Suelo
BA:	Biomasa Aérea
BS:	Biomasa Subterránea
BT:	Biomasa Total
CMNUCC:	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
DAP:	Diámetro a la Altura del Pecho (cm)
EE:	Emisiones Estimadas
EICDGB:	Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques
ER:	Emisiones Reducidas
ENREDD+:	Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación
FARC:	Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
H:	Altura de los árboles o palmas (m)
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: <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
MADS:	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MRV:	Medición, Reporte y verificación
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.
RBA:	Reporte Bienal de Actualización
REM:	REDD Early Movers
SMBYC:	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
WD:	Densidad de la madera (por sus siglas en inglés: <i>Wood Density</i>)



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 (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 NREF, 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 este nuevo NREF, 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

La superficie de Colombia es de 2.070.408 km², de los cuales 1.141.748 km² corresponden a su extensión continental y los restantes 928.660 km² a su extensión marítima. Colombia cuenta con seis grandes biomas: Andes, Caribe, Pacífico, Orinoquía, Amazonía e Insular. 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 colombiano¹. 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

¹ De acuerdo con lo anterior, el presente Nivel de Referencia de Emisiones Forestales -NREF- no incluye el bioma insular de Colombia, sino los cinco biomas del territorio continental: Andes, Caribe, Pacífico, Orinoquía y Amazonía.

(Rodríguez *et al.* 2006, Narváz y León 2001). Su distribución se puede ver en la Figura 1. A continuación, se describe cada uno de los biomas.

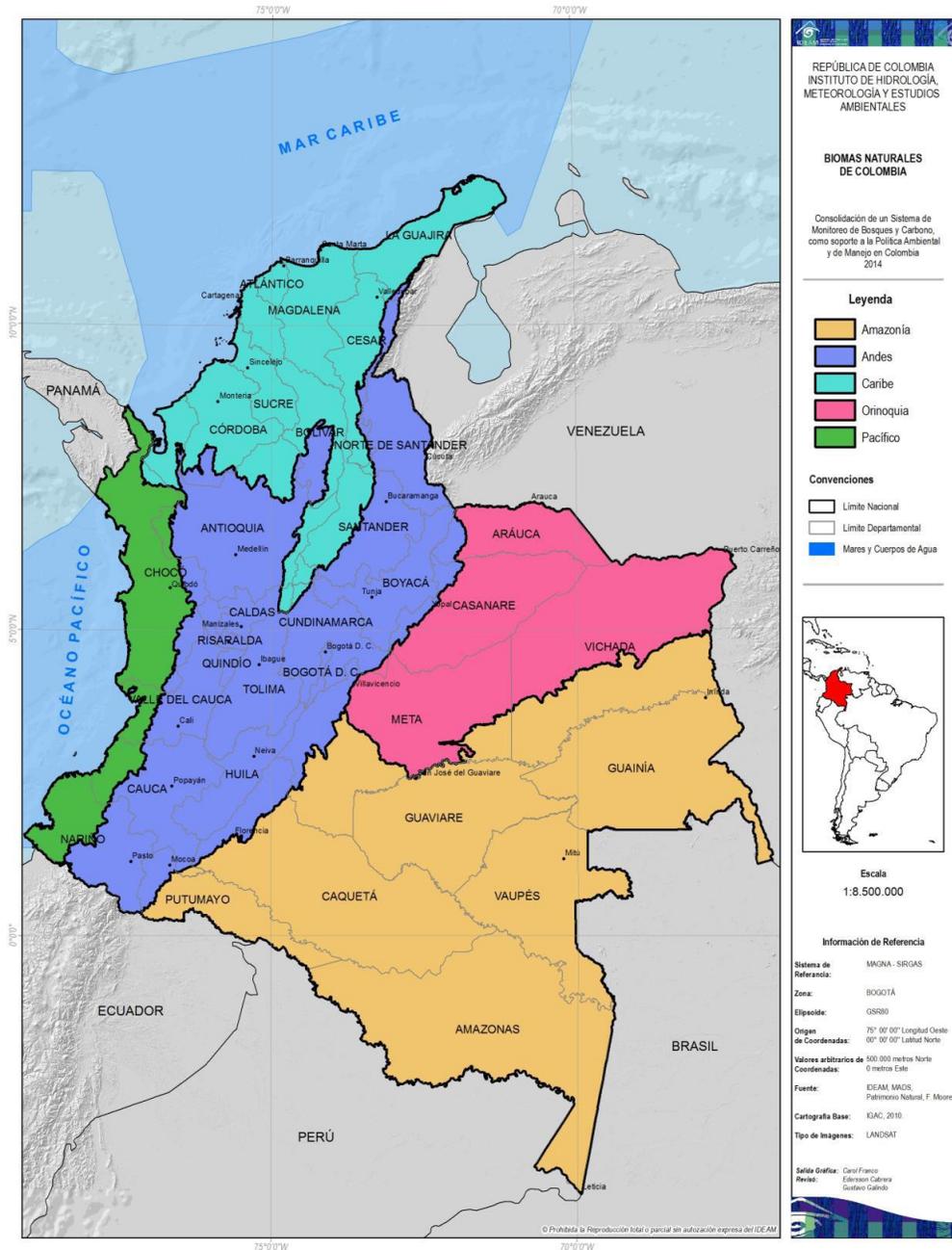


Figura 1 Mapa de Biomas de Colombia (Regiones Naturales).

Bioma Amazónico: el límite noroccidental corresponde al denominado piedemonte entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonía y Orinoquia; el límite nororiental corresponde al límite norte de distribución del bosque amazónico con las sabanas de la Orinoquia; 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).

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 Amazonía 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 Amazonía y la 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 biomas, 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 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Con 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 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018), 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 *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.

Con 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 período 1990 - 2011 en aportes a la fuerza laboral total no superó el 5%.

De acuerdo con un estudio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y ONF Andina (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 quemadas 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 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y ONF Andina 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 Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). 2018). 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 a 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 (respectivamente), concentradas principalmente en el bioma amazónico.

2.1 Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques - EICDGB

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”*²

La EICDGB tiene alcance nacional; sin embargo, su implementación se realiza 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 desde la fecha de adopción 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.

² Fuente: https://redd.unfccc.int/files/eicdgb_bosques_territorios_de_vida_web.pdf

- 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 Nacional de Cambio Climático, y con ello, mejorar la resiliencia climática del país y lograr 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 Kioto (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 (INGEI), 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 NREF 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 NREF 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 CO_2 .

7. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES NACIONAL

7.1 Escala

El alcance del presente NREF 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 (MINAMBIENTE) 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 descargadas de manera gratuita del servidor del Earth Resources Observation and Science Center - EROS del Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS, 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 programa³.

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 13 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

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 QGIS⁴.

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.

³ 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>.

⁴ <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/>

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 2⁵.



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

⁵ Para una documentación adicional sobre el funcionamiento de la Herramienta Cloud Masking ver: https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/cloud_filters/

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/arrnorm>).

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.

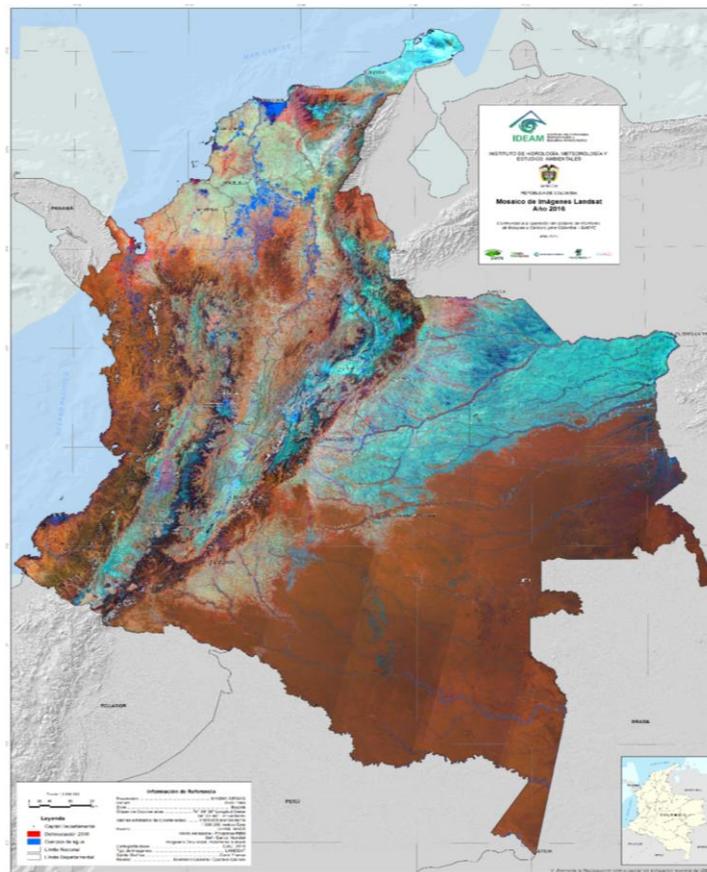


Figura 3. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8.

La construcción de estos compuestos para todo el país se realiza mediante herramientas propias desarrolladas en lenguaje de programación Python⁶. 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 mediana⁷. 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 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 7. 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 pixeles del compuesto temporal de medianas generado en el paso anterior, para luego realizar una reclasificación de los valores de los pixeles 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 8. 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

⁶ (<https://smbyc.bitbucket.io/stackcomposed/>)

⁷ Mayor información acerca del protocolo está disponible en: <https://tinyurl.com/ru3balg>.

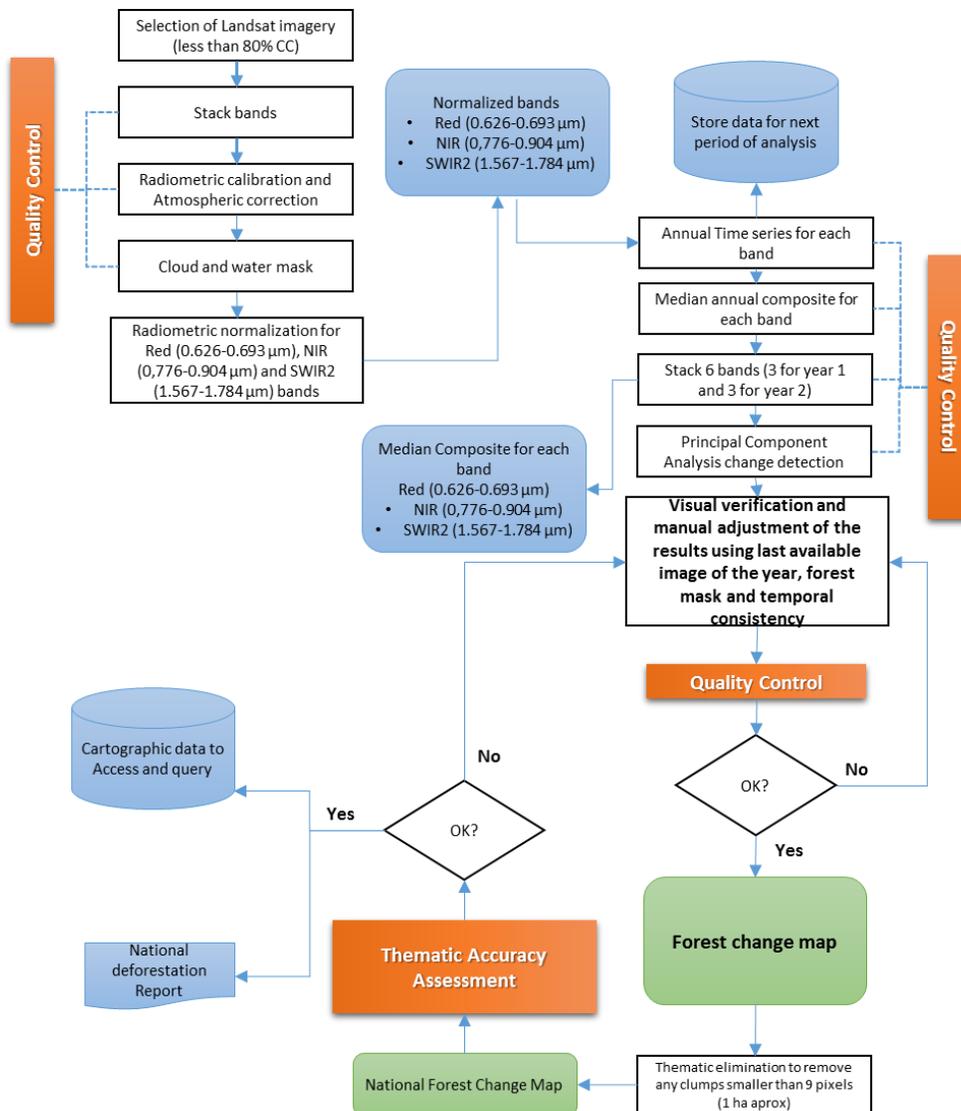


Figura 4. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2.

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.

Adicionalmente, y junto con la información de sensores remotos, se utiliza información de contexto en formato punto y polígono proporcionada por: Federación Nacional de Cafeteros, Federación Nacional de Productores de Madera, CeniPALMA y de otros gremios para identificar áreas de cambios asociadas a coberturas cafeteras, de plantaciones forestales, de palma y o de otros cultivos agroforestales que no deben ser incluidos en los reportes de bosque ni de deforestación pero sí en los reportes de otras áreas forestales.

Paso 9. 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 (IPCC 2003), en línea con lo propuesto en el documento de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques -GFOI⁸). 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 10: 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,

8

https://www.reddcompass.org/uncertainty?p_p_id=pyramid_WAR_gfoimgdwamrvsystemportlet_INSTANCE_66u8qECQZ63L&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2a-1&p_p_col_count=1&p_r_p_1316845383_MGD_THEME=Measurement+%2B+Estimation&p_r_p_1316845383_MGD_CONCEPT=Uncertainty&fid=%2Fmgd%2F3.7#gfoi-mgd-content



El ambiente
es de todos

Minambiente

cada uno de los estratos se subdivide teniendo en cuenta las tendencias históricas de la deforestación, basadas en un mapa de riesgo de deforestación que identifica dos áreas principales (bajo riesgo y alto riesgo).

En la (Ecuación 1), 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}):

$$W_i = \frac{A_{m,i}}{A_{tot}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

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, tal como se observa a continuación

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

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 11. Implementación del muestreo: La implementación del muestreo, al igual que la interpretación de los puntos de muestreo) se realiza en **Acatama**⁹.

Paso 12. 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).

⁹ Software de desarrollo propio que está disponible para QGIS en: <https://bitbucket.org/smbyc/qgisplugin-acatama>

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 este¹⁰.

Paso 13. 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 *et al.* 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.

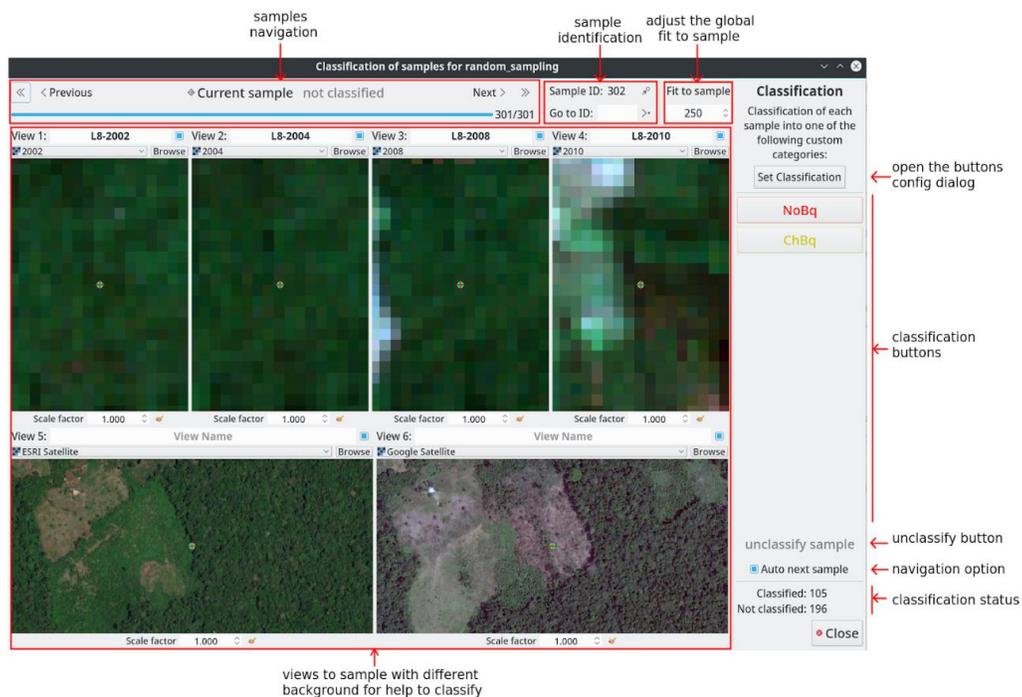


Figura 5. Ventana de interpretación de los puntos de muestreo en el aplicativo qGIS Acatama

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.

¹⁰ Se utilizan imágenes de alta resolución procedentes de Google Earth Engine, imágenes Bing, etc

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 Orinoquía	Bioma Pacífico
2001	135.119	77.068	27.810	12.005	8.259	9.977
2002	135.119	77.068	27.810	12.005	8.259	9.977
2003	179.102	96.092	34.251	24.875	14.358	9.526
2004	179.102	96.092	34.251	24.875	14.358	9.526
2005	138.574	82.752	20.200	18.969	10.559	6.093
2006	138.574	82.752	20.200	18.969	10.559	6.093
2007	140.121	79.622	20.751	18.873	14.685	6.191
2008	140.121	79.622	20.751	18.873	14.685	6.191
2009	120.517	69.669	20.270	11.269	11.635	7.672
2010	120.517	69.669	20.270	11.269	11.635	7.672
2011	139.772	93.670	23.907	11.372	7.202	3.622
2012	139.772	93.670	23.907	11.372	7.202	3.622
2013	116.128	67.246	24.331	11.799	8.027	4.726
2014	137.341	63.898	32.184	18.154	9.761	13.345
2015	123.841	56.962	29.159	16.462	9.109	12.150
2016	177.764	69.781	45.453	24.372	9.352	28.806



2017	219.552	144.019	36.629	15.665	9.856	13.382
PROMEDIO (2000-2017)	145.943	82.332	27.184	16.540	10.559	9.328
PROMEDIO (2008-2017)	143.533	80.821	27.686	15.061	9.846	10.119

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)¹¹.

Los resultados de monitoreo de datos de actividad evaluados permiten identificar que para el periodo de referencia 2008 - 2017 la deforestación fue de 143.533 ha/año a nivel nacional (línea azul en la Figura 6). A nivel de biomas, se identifica que la Amazonía 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 7.6 donde se propone un ajuste por circunstancias nacionales para el cálculo del NREF.

¹¹ Los insumos cartográficos para la obtención de la deforestación por periodo son consultables en (<http://smbyc.ideam.gov.co>).

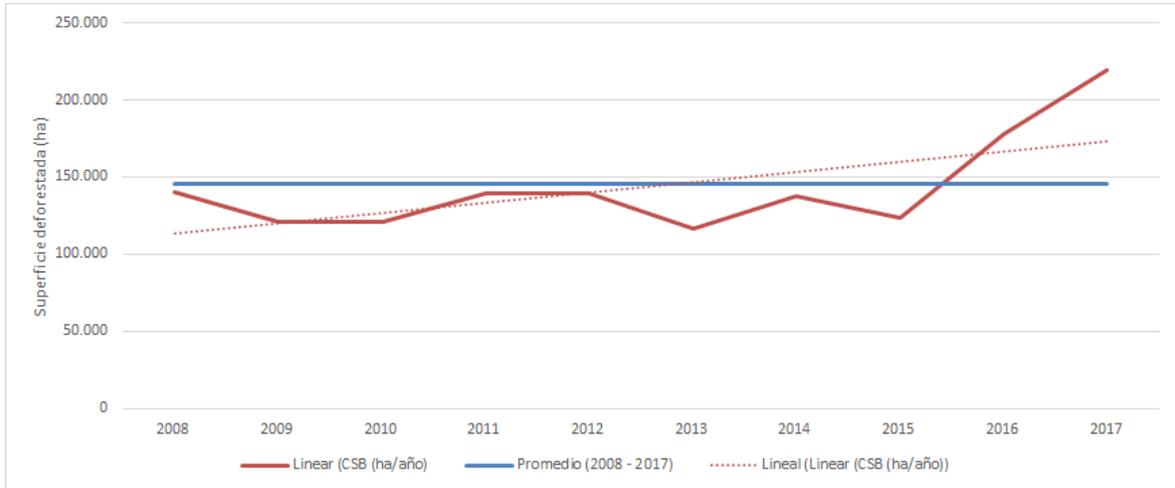


Figura 6. Monitoreo del cambio en la Superficie de bosque en Colombia. Periodo 2008 – 2017.

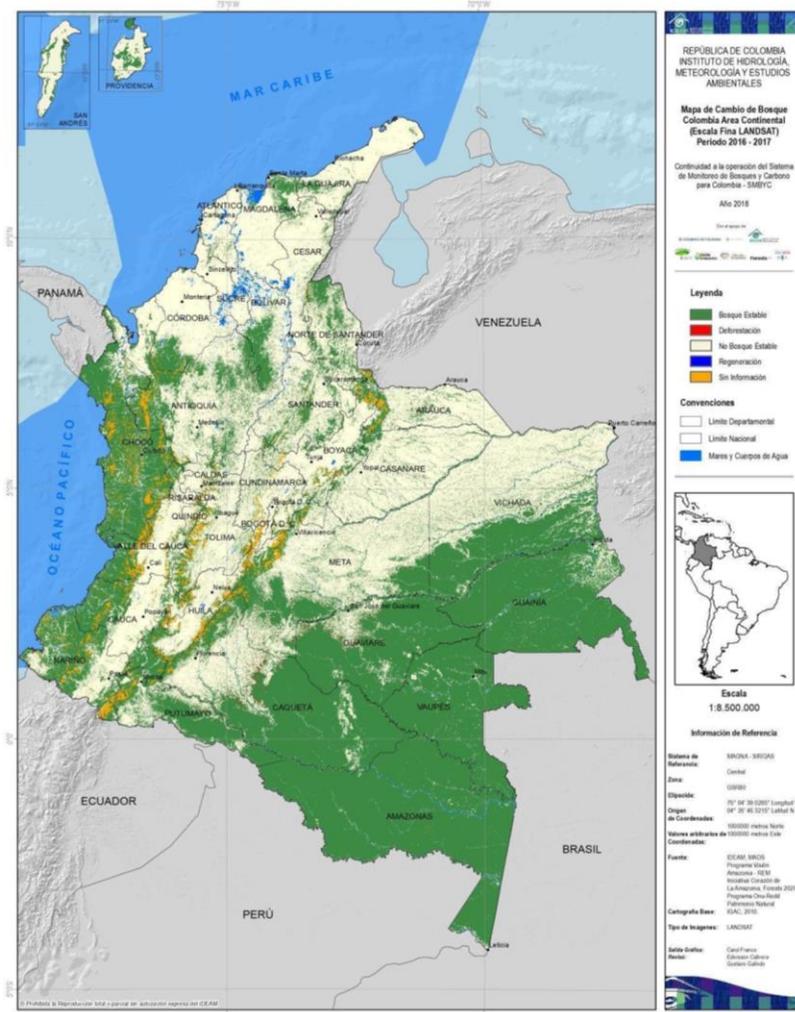


Figura 7. Mapa de Superficie deforestada en Colombia. Año 2017

7.4 Factores de emisión

Los factores de emisión presentados en este documento, se calculan a partir de la información proveniente del Inventario Forestal Nacional (IFN)¹², para tres depósitos forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica del suelo, cuyas estimaciones se obtienen a nivel nacional. En la Figura 8 se muestra la distribución de conglomerados a partir del marco geoestadístico implementado en el IFN.

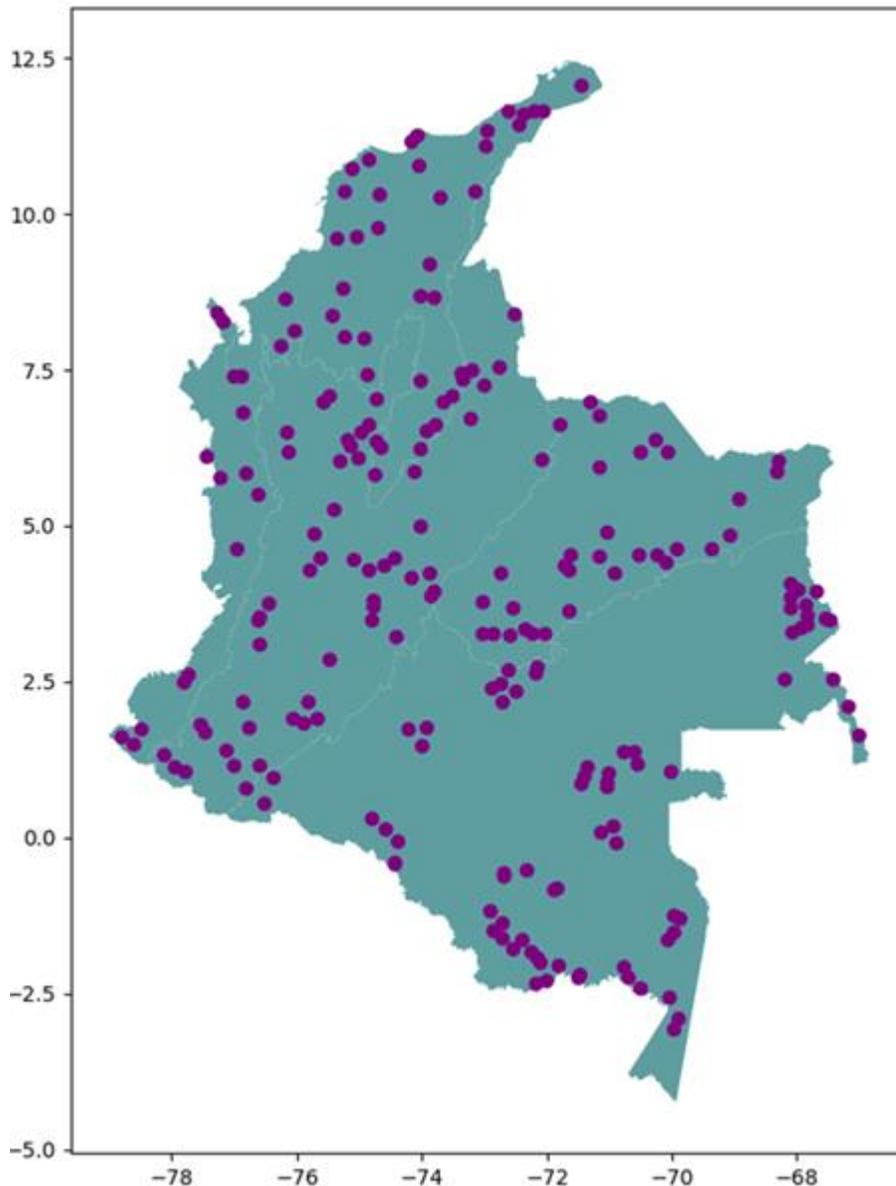


Figura 8. Mapa de distribución de conglomerados del IFN a nivel nacional y bioma para el NREF.

¹² Los factores de emisión del NREF de Colombia se estimaron a partir de la información de 303 conglomerados del IFN, correspondientes al 30% de la muestra total, la cual en la actualidad sigue en implementación.

7.4.1 Origen y tratamiento de los datos de campo

Un reto constante para el sector ambiental en Colombia ha estado ligado al conocimiento de la oferta y el estado de los recursos naturales renovables, en especial de los bosques. Con el fin de avanzar en el tema, y de conformidad con la Ley 99 de 1993, el IDEAM en coordinación con entidades del Sistema Nacional ambiental –SINA viene ejecutando la implementación de la línea base del inventario Forestal Nacional (IFN). Ejercicio este que conduce a mejorar el conocimiento sobre la oferta, composición, estructura y función ecosistémica de los bosques y así disponer de información confiable, eficaz y oportuna para la adecuada toma de decisiones.

Con base en un riguroso diseño del marco geoestadístico, y en una metodología estandarizada para la toma de datos en campo, dicho Instituto desde el año 2015 se ha venido efectuando los respectivos muestreos de campo, con base en conglomerados conformados, cada uno, por cinco (5) parcelas circulares de 0,707 hectáreas cada una, dispuestas en cruz y distanciadas entre los centros de cada subparcela 80 m. Así, se tiene un área total de 0,3535 hectáreas por conglomerado. La toma de los datos biométricos ha implicado 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 le mide el diámetro a la altura del pecho (DAP) o diámetro a 1,3 m de altura.

Bajo la metodología explicada en el párrafo anterior y tomando como base 303 conglomerados, levantados durante el período 2015-2018, se realizaron los cálculos de los indicadores y salidas de información para determinar los factores de emisión que son presentados en este documento.

Posteriormente, para la estimación de la altura de todos los individuos registrados, se generan modelos de regresión diámetro-altura, empleando la información de los individuos medidos en campo. El ajuste de los modelos se realizó de forma independiente para cada una de los cinco (5) biomas del país, para lo cual se utilizó el modelo asintótico de Weibull, para árboles y para palmas.

Tabla 2. Modelo Asintótico de Weibull para determinación de alturas

Hábito	Modelo Weibull	No. Ecuación
Árboles	$H = 35,060904 * (1 - \exp(-0,057470 * (DAP^{0,72741})))$	Ecuación 3
Palmas	$H = 13,995250 * (1 - \exp(-0,050930 * (DAP^{1,40739})))$	Ecuación 4

Donde H es la altura en metros (m) y DAP diámetro en centímetros (cm), es el diámetro a la altura del pecho.

Adicionalmente, a cada individuo se le tomó una muestra botánica, para ser determinada y homologada por la Red de Herbarios de Colombia. La actualización de nomenclatura y taxonomía de los nombres científicos, así como la verificación de su clasificación dentro del sistema 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 de la densidad por género, familia o el promedio de la densidad de las especies registradas en cada conglomerado, respectivamente.

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

Tabla 3. Ecuaciones alométricas propuestas para estimación de biomasa aérea propuestas por Chave *et al.* (2014), Sierra *et al.* (2007) y Tipeolo *et al.* (2002) para árboles, palmas y helechos respectivamente.

Hábito	Ecuación alométrica	No. Ecuación
Árboles	$AGB = 0,0673 * (((DAP^2) * H * WD)^{0,976})$	Ecuación 5
Helechos	$AGB = -4266348 / (1 - (2792284 * \exp(-0,313677 * (H))))$	Ecuación 6
Palmas	$AGB = \exp(0,360 + (1,218 * \ln(H)))$	Ecuación 7

Dónde: *AGB* es biomasa aérea en kilogramos
WD la densidad de madera
DAP en (cm) y,
H es la altura estimada (m).

Dado que el rango de aplicabilidad de dicha ecuación alométrica es para individuos con un diámetro entre 5 a 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 la biomasa aérea.

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

$$BRG = \exp(-1.085 + 0.9256 \log(AGB)) \quad (\text{Ecuación 8})$$

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

Los datos de carbono del suelo 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.

$$Densidad = \frac{\text{Peso de masa seca de suelo (g)}}{\text{Volumen de suelo (cm}^3\text{)}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

El volumen de suelo se obtiene como:

$$Volumen = \pi \times r^2 \times h \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde *r* es el radio del cilindro utilizado para tomar la muestra de suelo; y *h* es la altura del cilindro con el cual se toma la muestra de la densidad aparente.



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.

$$C = \text{Concentración} \times (\text{Densidad} \times 100) \times \text{Profundidad} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Finalmente, el carbono total se obtuvo mediante la fórmula:

$$CT = 0,47 * \text{Biomasa tota} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Entendiendo la biomasa total como la suma de la biomasa aérea (AGB) y la biomasa subterránea (BRG).

7.4.2 Post-Estratificación

El IFN fue diseñado bajo un esquema post-estratificado de muestreo simple y aleatorio. Como estratos se emplearon la capa Bosque-No bosque del año 2017 producida por el IDEAM a través del SMBYC, y los biomas de Colombia. A partir de dichas fuentes se estiman los pesos específicos de cada estrato, que corresponden a la proporción del área del país que ocupa cada estrato. La post-estratificación es un caso particular de la metodología de calibración, en este caso se realiza una post-estratificación a dos vías: bosque-no bosque y biomas, de tal forma que las estimaciones sean consistentes con las áreas de ambos post-estratos.

7.4.3 Estimadores

En cuanto a las características de interés, éstas corresponden a los aspectos relacionados con las variables, categorías de análisis e indicadores, cuya información se recogerá a través de la muestra.

En este contexto, cabe resaltar que las características poblacionales de interés o parámetros, desde la perspectiva muestral, son de tres tipos: totales, razones o indicadores especiales.

Para el caso de los totales, estos se definen como la suma sobre el universo de la variable en estudio y_k , que corresponde al valor de y para la k – ésima unidad de observación:

$$t_y = \sum_U y_k \quad (\text{Ecuación 13})$$

Así, desde un punto de vista práctico, el parámetro que se estudia con base en encuestas poblacionales multipropósito a través de métodos probabilísticos, en la gran mayoría de los casos, es de tipo razón.

Una razón se define como el cociente de dos totales. Un caso particular de una razón son las proporciones o porcentajes (también, el promedio aritmético) que se definen como el cociente entre dos frecuencias. Es decir, en una investigación en la que para cada elemento se estudian dos características Y y Z , y se tienen los totales t_y y t_z , entonces la razón se define como:

$$R = \frac{t_y}{t_z} = \frac{\sum_U y_k}{\sum_U z_k} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Como se observará más adelante, para propósitos del cálculo del tamaño de muestra, el parámetro trazador será de tipo proporción.

Bajo un diseño MASC se tiene que el total poblacional es:

$$t_y = \sum_{k \in U} y_k = \sum_{i=1}^{N_I} \sum_{k \in U_i} y_k = \sum_{i=1}^{N_I} t_{yi} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde N_I es el total de conglomerados del universo y y_k la variable de interés.

A su vez el promedio poblacional viene dado por:

$$\bar{y}_U = \frac{\sum_{k \in U} y_k}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_I} \sum_{k \in U_i} y_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_I} N_i \bar{y}_i \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{k \in U_i} y_k \quad (\text{Ecuación 17})$$

Es el promedio de la variable y_k en el i -ésimo conglomerado y N_i es el total de elementos por conglomerado. Así el total poblacional estimado, su varianza y su estimador de varianza son respectivamente:

$$\hat{t}_{y,\pi} = \frac{N_I}{n_I} \sum_{S_I} t_{yi}$$

$$Var_{MAC}(\hat{t}_{y,\pi}) = \frac{N_I^2}{n_I} \left(1 - \frac{n_I}{N_I}\right) S_{t_{yU_I}}^2$$

$$\widehat{Var}_{MAC}(\hat{t}_{y,\pi}) = \frac{N_I^2}{n_I} \left(1 - \frac{n_I}{N_I}\right) S_{t_{y^*I}}^2$$

(Ecuaciones 18, 19 y 20)

Donde

$$S_{t_{yU_I}}^2 = \frac{1}{N_I - 1} \sum_{i \in U_I} (t_{yi} - \bar{t}_{U_I})^2$$

(Ecuación 21)

Con

$$\bar{t}_{U_I} = \sum_{i=1}^{N_I} t_{yi} / N_I \quad (\text{Ecuación 22})$$

Y donde n_I es el tamaño de muestra de conglomerados

Para una razón se tiene que

$$u_k = (y_k - \hat{R}z_k) \frac{1}{\hat{t}_{z,\pi}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

En ese caso la varianza estimada de la razón estimada es:

$$\hat{V}_{MASC}(\hat{R}) = \frac{N_I^2}{n_I} \left(1 - \frac{n_I}{N_I}\right) S_{tusI}^2 \quad (\text{Ecuación 24})$$

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

$$IC_{\hat{R}_d} = \hat{R}_d \pm \sqrt{V(\hat{R}_d)} \times t_{(0.05, n-1)} \quad (\text{Ecuación 25})$$

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

$$EM (\%) = 100 \left(\frac{\sqrt{V(\hat{R}_d)}}{\hat{R}_d} \right) t_{(0.05, n-1)} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Factores De Expansión

Para un diseño MASC la probabilidad de inclusión se define como:

$$\pi_I = \frac{n_I}{N_I} \quad (\text{Ecuación 27})$$

En consecuencia el factor de expansión es:

$$Fexp = \frac{N_I}{n_I} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde N_I es el total de conglomerados teóricos del país y n_I el tamaño de muestra de conglomerados, de acuerdo al marco y muestreo de áreas definido se establece que

$$N_I = \frac{\text{Área del país}}{\text{Área del conglomerado}} = \frac{114.059.487 \text{ ha}}{0.3535 \text{ ha}} = 322.657.672 \quad (\text{Ecuación 29})$$

Teniendo en cuenta que el tamaño de muestra se basa en 303 conglomerados entonces:

$$Fexp = \frac{N_I}{n_I} = \frac{322.657.672}{303} = 1.064.877 \quad (\text{Ecuación 30})$$

7.4.4 Calibración

Como se mencionó en la sección del diseño muestral, se plantea una post-estratificación a 2 vías, es decir, teniendo en cuenta dos variables, en este caso las variables son la cobertura bosque-no bosque y el bioma, buscando que las áreas estimadas sean consistentes con las áreas totales de dichas variables.

La postestratificación a 2 vías, es un caso particular de los estimadores de calibración, en consecuencia se considera como vector de información auxiliar (variables cobertura y bioma)

$$X = (X^*, \hat{X}^0), \text{ donde } X^* = \sum_U x_k^* \text{ y } \hat{X}^0 = \sum_S \frac{x_k^0}{\pi_k} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Como pesos finales se consideran:

$$w_{2Bk} = w_k^0 v_k \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$\text{Con } v_k = 1 + \lambda_r' x_k^*, \text{ donde } \lambda_r' = (\sum_U x_k^* - \sum_r w_k^0 x_k^*)' (\sum_r w_k^0 x_k^* (x_k^*)')^{-1} \quad (\text{Ecuación 33})$$

En esta expresión se tiene:

$$w_k^0 = d_k v_k^0, \quad v_k^0 = 1 + (\lambda_r^0)' x_k^0$$

$$\text{con } (\lambda_r^0)' = (\sum_S d_k x_k^0 - \sum_r d_k x_k^0)' (\sum_r d_k x_k^0 (x_k^0)')^{-1} \quad (\text{Ecuación 34})$$

La estimación del total calibrado se calcula como:

$$\hat{t}_{y,calib} = \sum_{SI} w_{2Bk} t y_i \quad (\text{Ecuación 35})$$

Para implementar los estimadores de calibración se utilizará la función *calibrate* del paquete *survey* de R.

7.5 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 uno de los cinco biomas. Posteriormente se determinó el carbono contenido de la biomasa total (CBF) para cada uno de los biomas (Tabla 4), 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:

$$CBF_i = BT_i * f \quad (\text{Ecuación 36})$$

Donde:

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

BT_i = Es la biomasa total del bioma *i*

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

El dióxido de carbono equivalente contenido en la biomasa total por hectárea (CBF_{eq}) 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 (CO_2), igual a 44/12, según la siguiente ecuación:

$$CBF_{eq_i} = CBF_i * (44/12) \quad (\text{Ecuación 37})$$

Donde:

CBF_{eq_i} = Es el dióxido de carbono equivalente contenido de la biomasa total del bioma *i*



CBF_i = Es el carbono contenido de la biomasa total del bioma i
 $(44/12)$ = Constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO_2)

Tabla 4 Biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS), biomasa total (BT), dióxido de carbono equivalente contenido en la biomasa total (CBFeq) por bioma.

Bioma	BA (tm.s/ha)	BS (tm.s/ha)	BT (tm.s/ha)	CBF (tc/ha)	CBFeq (tCO ₂ eq/ha)
Amazonía	257,86	56,97	314,83	147,97	542,56
Andes	153,64	34,92	188,56	88,62	324,96
Caribe	130,25	30,06	160,31	75,35	276,27
Orinoquía	85,58	20,90	106,47	50,04	183,49
Pacífico	140,24	32,05	172,29	80,98	296,92

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 5). Bajo este supuesto se calculó la tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años (COS_{20años}), dividiendo el COS de cada bioma sobre 20, según la siguiente ecuación.

$$COS_{20 \text{ AÑOS } i} = \frac{COS_i}{20 \text{ años}} \quad (\text{Ecuación 38})$$

Donde:

COS_{20AÑOS-i} = tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años (COS_{20años}) por hectárea del bioma i

COS _{i} = contenido de carbono del suelo del bioma 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 5 Carbono orgánico del suelo (COS), COS_{20AÑOS} y COSeq para cinco biomas.

Bioma	COS (TC/ha)	COS _{20AÑOS} (TC/ha)	COSeq (tCO ₂ eq/ha)
Amazonía	73,76	3,69	13,52
Andes	124,65	6,23	22,85
Caribe	101,34	5,07	18,58
Orinoquía	64,51	3,23	11,83
Pacífico	92,49	4,62	16,96



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 ($COS_{20años}$) y la constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO_2), como lo muestra la siguiente ecuación:

$$COS_{eqi} = COS_{20AÑOSi} * (44/12) \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde:

$COSeq_i$ = Dióxido de carbono equivalente del suelo emitido anualmente por hectárea deforestada del bioma i.
 $COS_{20años-i}$ = tasa anual de carbono del suelo emitido en 20 años ($COS_{20años}$) por hectárea del bioma i
 $(44/12)$ = Constante de la proporción molecular entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO_2).

La Tabla 6 resume la estimación del factor de emisión del bosque natural para cada bioma en Colombia, incluyendo los sumideros de BA, BS y COS, expresados en $t\ CO_2eq/ha$.

Tabla 6 Estimación de Factores de Emisión del bosque natural por cada bioma en Colombia.

Bioma	BA (t CO_2/ha)	BS (t CO_2/ha)	BT (t CO_2/ha)	$COS_{20años}$ (t CO_2/ha)	Emisiones Totales (t $CO_2\ ha^{-1}\ año^{-1}$)
Amazonía	444,38	98,18	542,56	13,52	556,08
Andes	264,78	60,18	324,96	22,85	347,81
Caribe	224,47	51,80	276,27	18,58	294,84
Orinoquía	147,48	36,01	183,49	11,83	195,32
Pacífico	241,68	55,24	296,92	16,96	313,87

Fuente: Inventario Forestal Nacional, IDEAM (2018).

7.6 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 2016¹³.

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

¹³ <http://www.altocomisionadopalapaz.gov.co/procesos-y-conversaciones/Paginas/Texto-completo-del-Acuerdo-Final-para-la-Terminacion-del-conflicto.aspx>

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 un bioma específico 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 desde el año 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 se podrían empezar a ver 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 para 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 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 Orinoquía. 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 en los valores de deforestación que se ha evidenciado en los últimos años.

7.6.1 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 (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible y 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 AFOLU 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 *et al.* 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 (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito 2018). 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%) (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito 2019). 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.

7.6.2 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.

7.6.3 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):

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

Ecuación 40

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:

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{a+bt}} \quad (\text{Ecuación 41})$$

Donde:

- K Área de bosque susceptible a la deforestación

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

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

a. Coeficiente 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. Colombia identifica la firma del acuerdo de paz con la guerrilla de las FARC-EP, como el hito principal que determinará un cambio en el comportamiento de la deforestación en todo el territorio nacional. El periodo empleado (2016-2017) para calcular el coeficiente de crecimiento (b), corresponde al momento en el que el Estado colombiano firma el acuerdo definitivo y da inicio a su implementación formal. Los coeficientes de crecimiento (b) estimados para cada bioma se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Coeficiente de crecimiento (b) estimados por bioma.

Bioma	Coeficiente (b)
Amazonía	-0,15
Andes	-0,10
Caribe	-0,09
Orinoquía	-0,06
Pacífico	-0,14

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

Para la construcción del modelo de crecimiento logístico es necesario establecer un límite del crecimiento de la deforestación. Teóricamente, este límite podría estar determinado por el área total de bosque del país; sin embargo, con el fin de mantener un enfoque conservador, se asume que por diferentes factores no todas las áreas de bosque del país son susceptibles a ser deforestadas. El modelo incorpora este supuesto 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 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 Parques Nacionales o territorios indígenas (específicamente Resguardos Indígenas) para aquellas regiones donde la conservación del bosque natural se demostró estadísticamente. La categoría de **bosque no accesible** corresponde a las áreas forestales restantes, ubicadas en pendientes altas 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 como tal en cualquier territorio (en este caso municipio), incluso después de que el

mismo haya estado históricamente expuesto a altas tasas de deforestación. Los supuestos específicos para el cálculo del bosque susceptible a la deforestación se describen a continuación:

- **Supuesto 1 (S1):** Las áreas de Parques Nacionales Naturales (PNN), Resguardos Indígenas (RI) y Territorios Colectivos de Comunidades Negras (TCCN), se consideran como áreas de protección efectiva y se asume que el bosque contenido en dichas áreas no será susceptible a ser deforestado en la modelación, siempre y cuando exista una diferencia estadística significativa entre las tasas de deforestación dentro y fuera del área evaluada. Este análisis se llevó a cabo para cada uno de los cinco biomas. Como resultado, las áreas que no mostraron una diferencia estadística significativa fueron incluidas dentro del bosque susceptible a la deforestación.
- **Supuesto 2 (S2):** Las altas pendientes dificultan el desarrollo de actividades consideradas como motores de deforestación, por lo cual constituyen una limitante para su establecimiento en las áreas boscosas que allí se ubican. Por lo tanto, se define que los bosques localizados en pendientes iguales o superiores a 15° no serán deforestados y aquellos por debajo de 15° hacen parte del bosque susceptible a la deforestación.
- **Supuesto 3 (S3):** Cualquier área de bosque que se encuentre a una distancia de 15 km o más de una carretera se considera difícilmente accesible y se asume que no será deforestada. Por lo tanto, todas las áreas de bosque que estén a menos de 15 km de una carretera hacen parte del bosque susceptible a la deforestación.
- **Supuesto 4 (S4):** Existe una cantidad residual de bosque que por factores diferentes a los previamente evaluados se conserva al interior de determinado territorio. Este bosque residual o mínimo se estima a partir de análisis estadísticos realizados para cada uno de los biomas. Las áreas que no hagan parte de este bosque mínimo se consideran bosque susceptible a la deforestación.

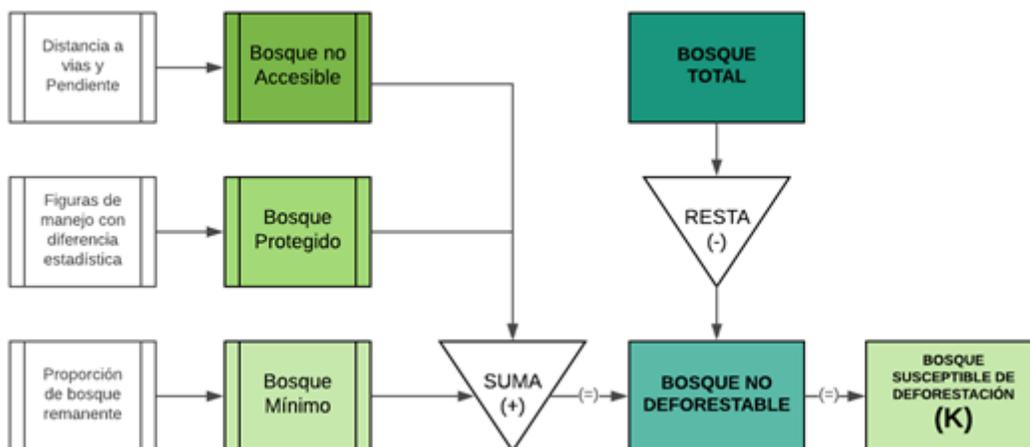


Figura 9. Estimación del bosque susceptible a ser deforestado (K)

La superposición de los supuestos 1, 2 y 3 genera la **suma de restricciones** de tipo espacial. El bosque mínimo es calculado a partir de las áreas restantes. La agrupación de los cuatro supuestos conforma el **bosque no deforestable**, el cual es sustraído del bosque total de cada bioma para obtener el **bosque susceptible a la deforestación**, es decir, la cantidad máxima de bosque que puede consumir el modelo para la proyección de la deforestación en cada bioma. A continuación, se describen los análisis específicos desarrollados para la

estimación de las variables evaluadas. Es importante señalar que, si bien el modelo emplea información espacialmente explícita para su construcción, sus resultados no lo son; es decir, el modelo proyecta la cantidad de bosque susceptible a ser deforestado en el tiempo (t) por tipo de bioma, mas no su localización. Los valores estimados de K para cada bioma se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8 Área de bosque susceptible a la deforestación (K) estimada por bioma.

Bioma	Área de bosque susceptible a ser deforestado utilizado para la modelación (ha)
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.

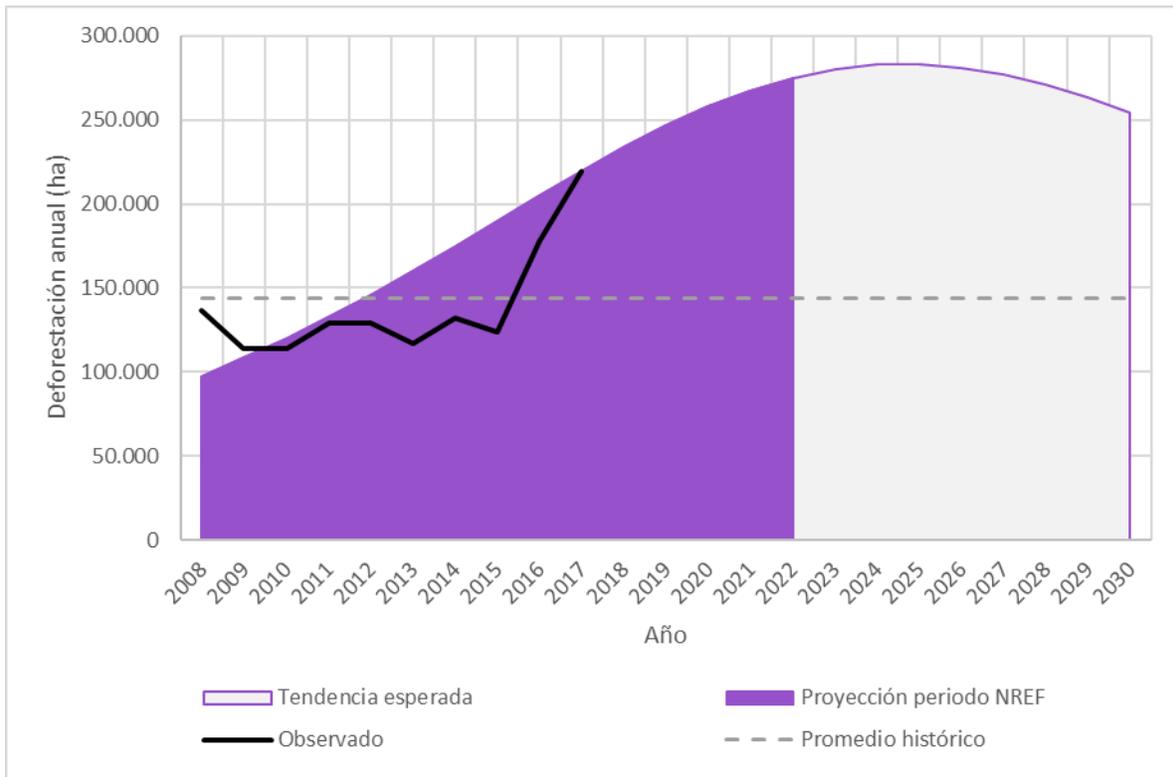


Figura 10. Proyección nacional de pérdida de bosque natural

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.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|}}{n} \quad (\text{Ecuación 42})$$

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 9).

Tabla 9 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	143.533	89.106	62,08%	132.609	92,39%	45.602	31,77%
2019	143.533	101.121	70,45%	146.871	102,33%	55.371	38,58%
2020	143.533	111.728	77,84%	159.462	111,10%	63.995	44,59%
2021	143.533	120.623	84,04%	170.020	118,45%	71.226	49,62%
2022	143.533	127.552	88,87%	178.245	124,18%	76.859	53,55%

7.6.4 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 10 presenta el ajuste anual para el período 2018-2022 en el que se toma el intervalo de confianza inferior de la proyección, con valores se encuentran dentro del intervalo de confianza y por tanto presentan el mismo nivel de incertidumbre.

Tabla 10 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	143.533	45.602	189.135	31,77%
2019	143.533	55.371	198.903	38,58%
2020	143.533	63.995	207.527	44,59%
2021	143.533	71.226	214.758	49,62%
2022	143.533	76.859	220.392	53,55%

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

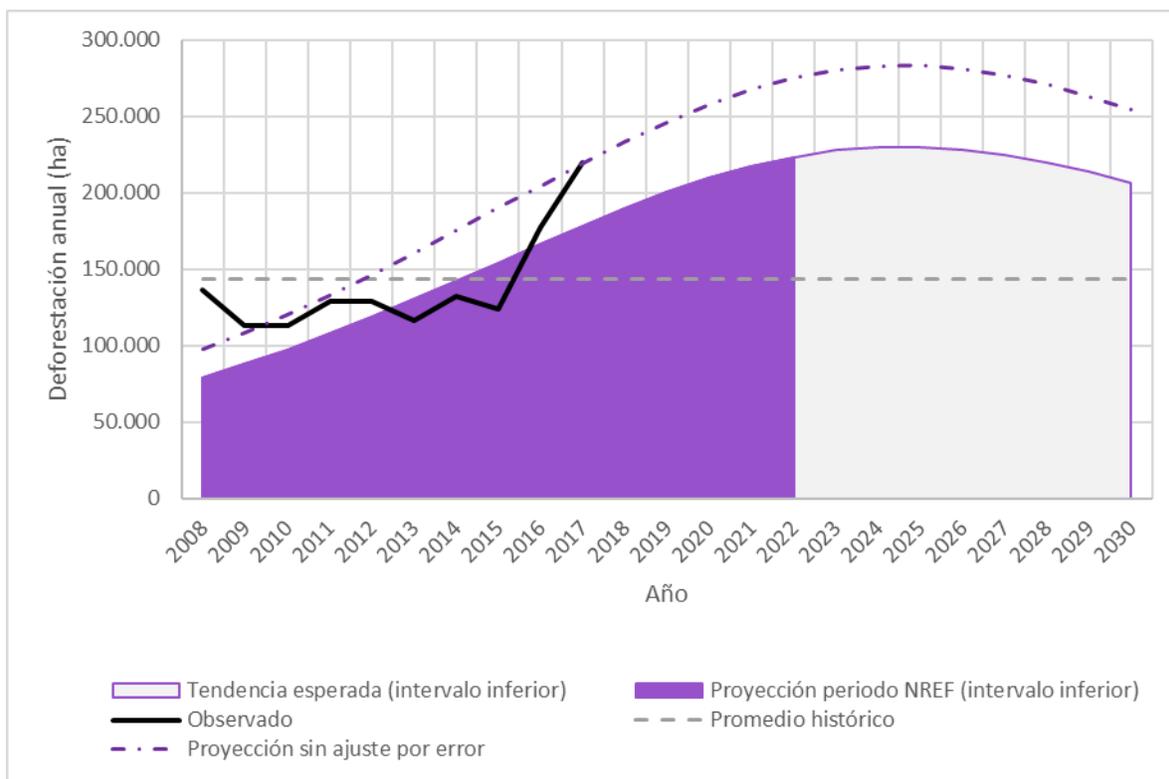


Figura 11. Proyección nacional de pérdida de bosque natural con el ajuste del intervalo inferior.

8. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES

La Tabla 11 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 7.6 del presente documento).

Tabla 11 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 CO ₂ 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.

8.1 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 el valor de la deforestación anual (CSB_{Bioma} - Cambio en la superficie cubierta por bosque natural anualizada por bioma); apartado 7.3), por el CO₂ 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 CO₂ eq) por bioma por hectárea ($\sum COS_{Bioma-20años}$).

$$EA = EA_{Amazonas} + EA_{Andes} + EA_{Caribe} + EA_{Orinoquia} + EA_{Pacífico} \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$EA_{bioma} = CSB_{Bioma} \times (CBF_{eq} \text{ Bioma} + (\sum COS_{Bioma-20años})) \quad (\text{Ecuación 44})$$

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 7.6).

$$NREF = EA_{2008-2017} \times CN \quad (\text{Ecuación 45})$$

En la

Tabla 12 se presentan los resultados contenidos para cada uno de los biomas en Colombia y el consolidado a nivel nacional.

Tabla 12 Estimación del NREF a nivel nacional en Colombia.

AÑOS CN	% CN	Emisiones (t CO ₂ eq)
<i>EA₂₀₀₈₋₂₀₁₇</i>		91.652.448,54
2018	32%	120.770.431,44
2019	39%	127.011.963,18
2020	45%	132.520.275,34
2021	50%	137.130.393,50
2022	54%	140.732.334,73

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

8.2 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 (IPCC 2006).

Se realizó un análisis preliminar para el bioma de la 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 es posible 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 de error utilizadas, como se puede observar en la Tabla 13.

Inicialmente, se establece la incertidumbre asociada a la estimación biomasa aérea y subterránea. De esta forma se tiene:

Incertidumbre asociada a la estimación de biomasa aérea:

$$\delta(AGB)_r = \frac{\sqrt{f_A^2 v(AGB_r)}}{f_A * AGB_r} \quad (\text{Ecuación 46})$$

Donde

f_A Fracción de carbono de la materia seca
 AGB_r Biomasa aérea estimada en bioma r
 $v(AGB_r)$ Varianza de biomasa aérea estimada

Incertidumbre asociada a la estimación de biomasa subterránea como

$$\delta(BRG)_r = \frac{\sqrt{f_A^2 v(BRG_r)}}{f_A * BRG_r} \quad (\text{Ecuación 47})$$

Donde

f_A Fracción de carbono de la materia seca
 BRG_r Biomasa subterránea estimada en bioma r
 $v(BRG_r)$ Varianza de biomasa subterránea estimada

Con dichos resultados se define la incertidumbre asociada la estimación de emisiones brutas

$$\delta(EB_r) = \sqrt{\delta(AGB_r)^2 + \delta(BRG_r)^2} \quad (\text{Ecuación 48})$$

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

$$\delta(EBC_r) = \sqrt{\delta(AGB_r)^2 + \delta(BRG_r)^2 + \delta(DA)^2} \quad (\text{Ecuación 49})$$

Donde

$\delta(DA)$ Incertidumbre asociada a datos de actividad (coeficiente de variación).

También se consideró necesario determinar el aporte a la incertidumbre, del carbono en suelo, para lo cual se definió su estimación como

$$\varepsilon(\overline{AC}_{rCO_2}) = \frac{\sqrt{v(\overline{AC}_{rCO_2})}}{\overline{AC}_{rCO_2}} \quad (\text{Ecuación 50})$$

Donde

\overline{AC}_{rCO_2} Promedio de emisiones acumuladas de carbono en suelo en el periodo $t, t+n$
 $v(\overline{AC}_{rCO_2})$ Varianza del promedio de emisiones acumuladas de carbono en suelo en el periodo $t, t+n$

*Nota: En este caso se tomó como periodo de estimación 2008-2017.

En este caso se obtiene la Incertidumbre asociada a emisiones brutas acumuladas para el bioma r

$$\delta FE_r = \sqrt{\delta(EB_r)^2 + \delta(\overline{AC}_{rCO_2})^2} \quad (\text{Ecuación 51})$$

Por último, se genera la Incertidumbre nacional de factores de emisión bruta como sigue

$$\delta FE = \sqrt{\sum_{r=1}^R W_r^2 \delta FE_r^2} \quad (\text{Ecuación 52})$$

Donde

W_r Porcentaje (peso) de bosque estable del bioma r con respecto al nivel nacional.

A continuación, se presentan los resultados de incertidumbre nacional y por bioma.

Tabla 13 Cálculo de la incertidumbre Nacional

Bioma	Datos de actividad (Deforestación)		Factor de carbono AGB		Factor de carbono BGB		Carbono en suelo			Errores Emisiones brutas
	Observado	CVE	(TC/ha)	CVE	BGB (T C/ha)	CVE	COSf20 (TC/ha)	COS (TC/ha/20 AÑOS)	CVE COSf20 (TC/ha)	
Nacional	2.481.036	0,09	-	-	-	-	-	-	-	0.227
Amazonia	1.399.651	0,09	121,19	0,021	26,78	0,020	73,76	3,69	0,06	0,261
Andes	462.133	0,09	72,21	0,06	16,41	0,056	124,65	6,23	0,16	0,328
Caribe	281.178	0,09	61,22	0,097	14,13	0,089	101,34	5,07	0,20	0,367
Orinoquía	179.501	0,09	40,22	0,114	9,82	0,102	64,51	3,23	0,13	0,399
Pacífico	158.573	0,09	65,91	0,088	15,07	0,081	92,49	4,62	0,11	0,401

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

Es importante señalar que la información para estimar la incertidumbre del NREF utiliza los datos de actividad (deforestación) observados en el periodo 2000-2017. El periodo asociado a circunstancias nacionales es 2018-

2022, por lo cual no se incluyen datos de la modelación de deforestación, por tanto dichas medidas se calculan de forma independiente como se presenta en la tabla 8 del anexo técnico.

9. CONSISTENCIA ENTRE REPORTES DE EMISIONES PRESENTADOS A LA CMNUCC

9.1 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. Los resultados del RBA3 no se incluye aún en los NREF debido a que en la actualidad no se dispone de la metodología de la tipificación de la deforestación para el periodo 2000-2010 estandarizada, 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 RBA, una vez se tengan estimaciones adecuadas procedentes de la implementación del IFN.

9.2 Diferencias entre el NREF del bioma Amazónico versus el NREF Nacional

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

- El alcance del presente NREF es nacional. La estimación se efectúa a partir de un mismo planteamiento metodológico aplicado sobre los cinco biomas que componen el territorio nacional, luego el NREF puede ser desagregado para cada una de estos biomas.
- Adicional al depósito de biomasa aérea y subterránea, en el presente NREF se incluye el depósito de suelos.
- El NREF nacional se basa en el promedio histórico de la deforestación con un ajuste por circunstancias calculado mediante la proyección del modelo logístico generado.
- 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 este bioma en esta nueva versión del NREF.
- El contenido de carbono de la biomasa total (BA + BS) del bioma amazónico difiere al reducirse en un 4% con el reportado en el actual NREF nacional ($\text{NREF bioma amazónico}_{2013-2017} = 154,3 \text{ tC/ha}$ vs $\text{NREF bioma amazónico}_{2018-2022} = 148,1 \text{ tC/ha}$).

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

En línea con el “*stepwise approach*” mencionado en la decisión 12 / CP.17, párrafo 10, Colombia sigue la transición gradual a un NREF nacional, que en el futuro, permita incorporar todos los gases, depósitos y actividades REDD+. Para esto el país sigue desarrollando y validando metodologías (ejemplo: <http://smbyc.ideam.gov.co/AdmIF/KML/img/docs/EdDdBCAF.pdf>) para su incorporación. En la actualidad los gases, depósitos y actividades REDD+ que no se incorporaron en el NREF Nacional sometido, han sido excluidos ya que no cumplen con el mismo nivel de transparencia, completitud, consistencia y precisión de la información utilizadas hoy en día.

Es importante aclarar que, aunque en parte este desarrollo metodológico se ha utilizado para estimar algunas fuentes de emisión/absorción en los inventarios nacionales de GEI (RBA2), como es el caso de las categorías mencionadas por el AT, en este momento dichas estimaciones deben ser entendidas como un indicador del posible comportamiento de las actividades REDD+, debido a que estas presentan supuestos en su cálculo que deben ser mejorados como se plantea en el plan de mejora reportado en el NIR (https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NIR_BUR2_Colombia.pdf).

Con base en las recomendaciones realizadas en el marco de la evaluación técnica (TA) del anexo técnico del segundo reporte bienal de actualización (RBA2), el país deberá avanzar hacia 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 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, además de



los efectos colaterales que pueden sobrevenir por efecto de la pandemia de SARS-CoV-2 sobre los medios de vida de las comunidades locales que dependen de los bosques.

- Reducir el nivel de incertidumbre de las estimaciones con más y mejor información nacional.

10.1 Fortalecimiento de capacidades

Adicional a lo anterior Colombia considera que es importante incrementar las capacidades en las siguientes temáticas:

Deforestación

Es necesario seguir avanzando en la tipificación de la deforestación bruta, Colombia, a la fecha, no dispone de información suficiente sobre la implementación de prácticas de manejo forestal sostenible, o estudios de impacto de disturbios naturales, por lo cual solo ha incluido emisiones por deforestación bruta.

Actualmente el país se encuentra en proceso de implementar dicha metodología para el periodo completo (2000-2017), así como la evaluación de su impacto en la estimación de la incertidumbre. Lo anterior con el propósito de armonizar los resultados presentados en el RBA2 como un indicador de la estimación de emisiones netas. Se estima que con la tipificación de la deforestación se mejora la estimación del contenido de carbono del depósito suelos. De igual forma se hace necesario avanzar en la tipificación de las emisiones de bosque natural ahondando en las emisiones No CO₂ asociadas a turberas. En la actualidad, Colombia se esfuerza de manera continua por la mejora de la información utilizada para evaluar las emisiones de los suelos orgánicos drenados de manera general, y en particular, después de los eventos de deforestación, siguiendo lo planteado por el país en el plan de mejora, y expuesto en el documento NIR (IDEAM et al 2019). Actualmente se encuentra en desarrollo a escala subnacional, diferentes programas asociados a ecosistemas de Páramos y Humedales, los cuales contemplan como uno de sus objetivos, el mejoramiento de las hojas de ruta y los protocolos actuales para la estimación de datos de actividad y factores de emisión en el depósito de suelos. Lo que permitirá diferenciar entre suelos drenados presentes en bosque natural, y número de hectáreas deforestadas correspondientes a suelos drenados que hubiesen estado presentes en bosque natural.

Las emisiones de materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca) emitidas por deforestación, constituye un gran reto para la mejora de los reportes futuros en relación con las emisiones de GEI, pero existen pocos estudios que hayan evaluado este depósito de carbono, siendo los más relevantes: Yepes et al., (2011) que generó un ejercicio piloto implementado en bosques del departamento de Antioquia; y Phillips et al. (2019) que generó un análisis de gradiente altitudinal para los bosques del departamento de Putumayo. Por otra parte, Restrepo et al. (2012) estimaron los detritos para un bosque húmedo montano (bh-M) encontrando una alta variabilidad, lo cual no permite aún incorporar factores con un rango de incertidumbre adecuado, a la escala de análisis propuesta.

De otra parte el IDEAM, desde el año 2009, viene implementando el Protocolo para el monitoreo del ciclo del agua y del carbono en ecosistemas de alta montaña y en el cual se describe la metodología para el monitoreo del carbono presente en la biomasa muerta y hojarasca así como para el resto de compartimentos del ecosistema http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18643&shelfbrowse_itemnumber=19645.

El protocolo está siendo actualizado por el IDEAM, en asocio con la academia y entes privados, con el propósito de disponer de un estándar nacional homologado para levantar la información de datos de actividad- DA- y

factores de emisión - FE- en ecosistemas de Páramos y Humedales Alto Andino y que posteriormente permitirá estimar las emisiones y remociones de gases efecto invernadero en dichos ecosistemas; se espera que conforme avance la implementación del IFN se ajustarán los protocolos para el levantamiento de conglomerados en coberturas no boscosas (herbazales, sabanas, pastos, etc.), para estimar los contenidos de carbono en estos tipos de cobertura diferentes a bosques, una vez finalizado el primer ciclo de implementación del IFN.

Degradación forestal

Desde 2018 Colombia adelantó una primera aproximación al fenómeno de la degradación forestal, principalmente para identificar sus agentes causales más que, para determinar la magnitud de dicha actividad en términos de emisiones de GEI. Por consiguiente, debe señalarse que hasta la fecha no existen estudios locales que den cuenta de cuál es la contribución exacta de la degradación forestal en este aspecto.

Considerando las particularidades de cada una de las causas identificadas como precursoras de la degradación forestal en Colombia, los esfuerzos para cuantificar sus emisiones deben responder a enfoques diferenciados. Actualmente, el país intenta construir enfoques de análisis para el aprovechamiento ilegal de madera y para la extracción de leña como drivers iniciales de degradación. Aunque este abordaje aún es incipiente, Colombia se encuentra consolidando información técnica referente al consumo de leña en la población rural como driver de la degradación forestal en el país, tal como el censo poblacional del año 2018, consumos de leña actualizados a nivel departamental y la fracción no renovable de la biomasa, y que permita evidenciar consistencia con las estimaciones contenidas en el RBA2.

Por lo anterior se requiere incrementar las capacidades técnicas para entender cómo se comporta la degradación forestal en Colombia y cómo 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.
- Continuar avanzando en el conocimiento de los procesos de monitoreo tanto de la deforestación como de 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 públicas 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 entidades nacionales como IDEAM y entidades regionales como de las 33 Corporaciones Autónomas Regionales mediante el mantenimiento evolutivo de estos en procura de lograr la interoperabilidad entre subsistemas, mejora estructural tanto en la incorporación de nuevas variables con escalas temporales adecuadas.



- Fortalecimiento de capacidades en la implementación de métodos que coadyuven a mejoras en exactitud temática y medición de áreas (DA) mediante el uso de imágenes de satélite de alta resolución.
- Fortalecimiento nacional en lo relacionado con la disponibilidad de productos de sensoramiento remoto de alta resolución que faciliten la generación de DA así como avanzar en el conocimiento de la degradación forestal y su tipificación.

Otros Gases de Efecto Invernadero no CO₂

En la actualidad Colombia estima las emisiones de GEI no-CO₂ en la categoría 3C1 asociadas a quema de biomasa, a partir de información proveniente de estadísticas que reportan las corporaciones autónomas regionales sobre áreas incendiadas y las cuales son consolidadas en el Sistema Nacional de Información Forestal - SNIF del IDEAM bajo nivel metodológico 1. Para evitar doble contabilidad con las estimaciones de CO₂ asociadas a deforestación no se cuantifican perturbaciones en bosque en la categoría 3.B.1 Tierras Forestales. En término de emisiones de GEI, Colombia no considera las emisiones no CO₂ por el quemado de biomasa en Tierras forestales como categoría clave, debido a que las estimaciones reportadas en el RBA2 fueron de 993 Gg CO₂ eq, lo cual corresponde al 0.4% de las emisiones totales reportadas en el país del año 2014. Esta información también se encuentra en un nivel bajo de desarrollo por lo cual Colombia viene trabajando en aspectos como la evaluación de la incidencia de picos de incendios asociados a los fenómenos de variabilidad climática manejados a través del sistema de Gestión del Riesgo y en la mejora de modelos de información espacialmente explícita del SMByC asociados a la presencia de puntos de calor.

Por otra parte, en el RBA2 también se contabilizan las emisiones de CH₄ estimadas en la categoría 3B4 - Humedales y que corresponden a emisiones por difusión de embalses, para este tema el país se encuentra trabajando en la construcción de información de datos de actividad y factores de emisión requeridos para la estimación de emisiones de GEI en ecosistemas de páramo y carbono azul.

Depósitos no incluidos

Actualmente Colombia no incluye el depósito de materia orgánica muerta, sin embargo, se debe señalar que el país ha logrado importantes avances durante este nuevo proceso de construcción del NREF nacional, tal como el mejoramiento de sus factores de emisión, que 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 los depósitos utilizados actualmente y permitirá establecer el mecanismo para incluir el faltante.

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 se deberá complementar 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. De igual manera, desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se viene promoviendo y acompañando la realización de pilotajes sobre Manejo Forestal Comunitario, que, entre otros resultados, se espera, puedan comenzar a arrojar datos sobre esta actividad REDD+ en el futuro.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez E, D Pardo, A Cajiao. 2018. Trayectorias y dinámicas territoriales de las disidencias de las FARC. Bogotá, Colombia. Fundación Ideas para la Paz (FIP). 177 p. Disponible en: http://ideaspaz.org/media/website/FIP_Disidencias_Final.pdf

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

Boyle B, N Hopkins, Z Lu, J. Raygoza Garay, D Mozzherin, T Rees, N Matasci, M Narro, W Piel, S Mckay, S Lowry, C Freeland, R Peet, B Enquist. 2013. The Taxonomic Name Resolution Service: An Online Tool for Automated Standardization of Plant Names. *BMC Bioinformatics* 14(1): 16. DOI: 10.1186/1471-2105-14-16

Cairns M, S Brown, E Helmer, G Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1–11. DOI: 10.1007/s004420050201

Chave, J, D Coomes, S Jansen, S Lewis, N Swenson, A Zanne. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12(4): 351–366. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x

Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A, et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob Chang Biol*; 20(10):3177-3190. doi:10.1111/gcb.12629 Cochran W. 1977. *Sampling Techniques*. New York, USA. John Wiley & Sons. 417 p.

DeFries R, F Achard, S Brown, M Herold, D Murdiyarso, B Schlamadinger, C De Souza. 2006. Emissions from deforestation in developing countries: considerations for monitoring and measuring. Roma, Italia. Global Terrestrial Observing System (GTOS) Number 46 - GOF-C-GOLD report 26. 23 p. Disponible en: https://gofcgold.org/sites/default/files/docs/ReportSeries/GOLD_26.pdf

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, Italia. FAO. 119 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i5588s/i5588s.pdf>

Feldpausch T, J Lloyd, S Lewis, R Brienen, E Gloor, A Monteagudo, G Lopez, L Banin, K Abu, K Affum-Baffoe, M Alexiades, S Almeida, I Amaral, A Andrade, L Aragao, A Araujo, E Arets, L Arroyo, G Aymard, T Baker, O Bánki, N Berry, N Cardozo, J Chavé, J Comiskey, E Alvarez, A de Oliveira, A Di Fiore, G Djagbletey, T Domingues, T Erwin, P Fearnside, M França, M Freitas, N Higuchi, E Honorio, C Iida, E Jimenez, A Kassim, T Killeen, W Laurance, J Lovett, Y Malhi, B Marimom, B Marimom – Junior, E Lenza, A Marshall, C Mendoza, D Metcalfe, E Mitchard, D Neill, B Nelson, R Nilus, E Nogueira, A Parada, K Peth, A Pena, M Peñuela, N Pitman, A Prieta, C Quesada, F Ramirez, H Ramirez, J Reitsma, A Rudas, G Saiz, R Salomão, M Schwarz, N Silva, J Silva, M Silveira, B Sonké, J Stropp, H Taedoumg, S Tam, H ter Steege, J Terborgh, M Torello, G van der Heijden, R Vasquez, E Vilanova, V Vos, L White, S Willcock, H Woell, O Phillips. 2012. Tree height integrated into pan-tropical forest biomass estimates. *Biogeoscience* 9: 3381 – 3403. DOI: 10.5194/bg-9-3381-2012



Fundación Paz & Reconciliación. 2018a. ¿Cómo va la paz? Bogotá, Colombia. Pares-Fundación Paz & Reconciliación - La Iniciativa, Unión por la Paz. 202 p. Disponible en: <https://pares.com.co/2018/06/06/como-va-la-paz-2018/>

Fundación Paz & Reconciliación. 2018b. ¿Cómo va la paz?: La reestructuración unilateral del Acuerdo de Paz. Bogotá, Colombia. Pares-Fundación Paz & Reconciliación - La Iniciativa, Unión por la Paz. 314 p. Disponible en: <https://pares.com.co/wp-content/uploads/2018/11/informe-como-va-la-paz.pdf>

Galindo G, O Espejo, J Rubiano, L Vergara, E Cabrera. 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Bogotá D.C, Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 56 p. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/44688974/Protocolo+de+PDI+para+la+cuantificacion+de+la+deforestacion+en+colombia+v2_1_.pdf/00b95004-53dd-49f9-ab09-16d8803ccd92?version=1.0

García A, C Echeverría, E Montero, E Villar, I Arévalo, J Hernández, V González, J Rubio, R Carvajal, L Baños. 2018. Reforestación y conservación de árboles nativos en el corregimiento de San Rafael municipio de San Sebastián, Magdalena. *Modulo Arquitectura - CUC*. 20 (1): 95-108. DOI: 10.17981/moducuc.20.1.2018.09

Garzón J, M Llorente, E Álvarez, A Preciado. 2016. Economías criminales en clave de postconflicto: Tendencias actuales y propuestas para hacerles frente. Bogotá, Colombia. Fundación Ideas para la Paz (FIP). 32 p. Disponible en: <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). Países Bajos: Wageningen University.

González J, A Cubillos, M Chadid, A Cubillos, M Arias, E Zúñiga, F Joubert, I Pérez, V Berrío. 2018. Caracterización de las principales causas y agentes de deforestación a nivel nacional período 2005-2015. Bogotá, Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia. 229 p. Disponible en: <https://www.unredd.net/documents/un-redd-partner-countries-181/latin-america-the-caribbean-334/colombia-706/16766-caracterizacion-de-las-principales-causas-y-agentes-de-la-deforestacion-a-nivel-nacional-periodo-2005-2015.html>

IDEAM, PNUD, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento Nacional de Planeación, CANCELLEERÍA. 2018. Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Bogotá D.C, Colombia. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, FMAM. 355 p. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54

IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Hayama, Japan. IPCC – IGES. p (1)1 – (5)81. Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html

IPCC. 2006. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. En: Eggleston H, L Buendía, K Miwa, T Ngara, K Tanabe (eds). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan. IPCC – IGES. p (1)1 – (12)33. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>



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.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2018. Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques. Bogotá D.C, Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 346 p. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/gobernanza-forestal/control-a-la-deforestacion#:~:text=La%20Estrategia%20Integral%20de%20Control,rural%20integral%2C%20desarrollo%20de%20acciones>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2019. Importancia de los bosques, Colombia tercer país de la región en cobertura boscosa. Bogotá D.C, Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Nota de prensa digital. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/2-noticias/1210-el-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-513>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - 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. Bogotá D.C, Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 43 p. Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/nref_amazonia_colombia_espanol_19_12_2014_esp.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – ONF Andina. 2015. Uso y legalidad de la madera en Colombia. Análisis parcial. Bogotá D.C, Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - ONF Andina. 32 p. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza_forestal_2/12_Uso_y_Legalidad_de_la_Madera.pdf

Narváez, G., & G. León. 2001: Caracterización y zonificación climática de la Región Andina. Meteorología Colombiana. 4:121-126. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC). 2018. Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2017. Bogotá D.C, Colombia. Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI) - UNODC. 168 p. Disponible en: https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Colombia_Monitoreo_territorios_afectados_cultivos_ilicitos_2017_Resumen.pdf

Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC). 2019. Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2018. Bogotá D.C, Colombia. Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI) - UNODC. 115 p. Disponible en: https://www.unodc.org/documents/colombia/2019/Agosto/Informe_de_Monitoreo_de_Territorios_Afectador_por_Cultivos_Illicitos_en_Colombia_2018_.pdf

Olofsson P, G Foody, M Herold, S Stehman, C Woodcock. 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. DOI: 10.1016/j.rse.2012.10.031

Olofsson P, G Foody, M Herold, S Stehman, C Woodcock, M Wulder. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148: 42–57. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.015

Olthof I, D Pouliot, R Fernandes, R Latifovic. 2005. Landsat-7 ETM+ radiometric normalization comparison for northern mapping applications. *Remote Sensing of Environment* 95(3): 388–398. DOI: 10.1016/j.rse.2004.06.024

Phillips J, Ramirez S, Wayson C, Duque A. (2019). Differences in carbon stocks along an elevational gradient in tropical mountain forests of Colombia. *Biotropica* 00; 1-10.

Potapov P, S Turubanova, M Hansen, B Adusei, M Broich, A Altstatt, I Mane, C Justice. (2012). Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of Environment* 122: 106–116. DOI: 10.1016/j.rse.2011.08.027

Poveda G, H Manrique. 2007. Aplicación de la curva logística a los censos de la ciudad de Medellín. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 11(25): 7-60. Disponible en: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/view/1937/1948>

Restrepo, H., Orrego, S., y Galeano, O. (2012). Estructura de bosques secundarios y rastrojos montano bajos del Norte de Antioquia, Colombia. *Colombia Forestal*, 15(2), 173–189.

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

Sierra, C.A., del Valle, J.I., Orrego, S.A., Moreno, F.H., Harmon, M.E., Zapata, M., Colorado, G.J., Herrera, M.A., Lara, W., Restrepo, D.E., Berrouet, L.M., Loaiza, L.M., Benjumea, J.F., (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porcè region, Colombia. *Forest Ecology and Management*. 243, 299–309.

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. DOI: 10.1080/01431161.2010.541950

Tiepolo, G., Calmon, M., Rocha, A., (2002). Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. *International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring*. Extension Serie No. 153: 98-115.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2018). Lineamientos de política: plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva. Bogotá: UPRA. Recuperado de: <https://www.upra.gov.co/documents/10184/13821/PLANTACIONES+FORESTALES+CON+FINES+COMERCIALES+PARA+LA+OBTENCION+DE+MADERA+Y+SU+CADENA+PRODUCTIVA/051c6fbc-ae53-4bf6-8e45-a0d64939c391?version=1.1>

Walter, H 1980. *Vegetation of the Herat and ecological system of the geo-biosphere*. Springer Verlag. Berlin.

Yepes -Quintero A., Duque, A., Navarrete, D., Phillips, J., Cabrera, E., Corrales, A., Álvarez, E., Galindo, G., García, M., Idárraga, A. Vargas, D. 2011. Estimación de las reservas y pérdidas de carbono por deforestación en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia. *actual biol* 33 (95): 195-210, 2011. Zanne A, G Lopez, D Coomes, J Ilic, S Jansen, S Lewis, R Miller, N Swenson, M Wiemann, J Chave. 2009. Data from: Towards a Worldwide Wood Economics Spectrum. *Dryad Digital Repository*. DOI: 10.5061/dryad.234



12. ANEXOS

Anexo 1.