
PROPUESTA DEL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES DE COLOMBIA PARA EL PERIODO 2023-2027 COMO MECANISMO PARA OPTAR AL PAGO POR RESULTADOS DE REDD+ BAJO LA CMNUCC

BOGOTÁ D.C. ENERO 2024



MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - AMBIENTE

MARIA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ- Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

SANDRA YOLIMA SGUERRA CASTAÑEDA – Viceministra de Políticas y Normalización Ambiental

FRANCISCO JAVIER CANAL ALBÁN – Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio

SEBASTIÁN CARRANZA TOVAR – Director de Cambio Climático y Gestión del Riesgo

ADRIANA RIVERA BRUSATIN – Director de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO - Directora General

LINA MARÍA CABALLERO - Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

ELIZABETH PATIÑO CORREA - Subdirectora de Estudios Ambientales

EQUIPO TÉCNICO

AMBIENTE

MARIA ALEJANDRA GARZÓN -DCCGR

FREDY ALEJANDRO GOMEZ - DCCGR

BEATRIZ HELENA VILLANUEVA - DCCGR

CAROLINA GARZÓN LAMPREA - DCCGR

ARTURO JIMENEZ ROJAS -DCCGR

MARIA CRISTINA CIFUENTES – DCCGR

MARIA ANGELICA ARENAS – DCCGR

DANNA CASTAÑEDA - DCCGR

HUGO JEIMER GARCIA – DBBSE

IVÁN PÉREZ - SEA

LINA KATHERINE VERGARA – SMByC

EDILNEYI ZÚÑIGA - SMByC

ALEXANDER CUBILLOS - SMByC

MARÍA CECILIA CARDONA - SEA

CLAUDIA OLARTE - IFN

AMPARO RODRIGUEZ - IFN

ANDRÉS RODRÍGUEZ - IFN

LIZET ROBAYO - SEA

LUIS ENRIQUE CAICEDO - SEA

SAMANTHA CORREDOR – SEA

LEONARDO PINEDA - SEA

IDEAM

CONSTANTINO HERNÁNDEZ - SEA

EDERSSON CABRERA - SMByC

GUSTAVO GALINDO - SMByC

JOSÉ JULIÁN GONZÁLEZ - SMByC

APOYO TÉCNICO Y CONTROL DE CALIDAD

JAVIER ARISTIZABAL - FAO COLOMBIA

JUAN D. TURRIAGO - BIOCARBONO ORINOQUIA

ADRIANA P. YEPES - FAO DIVISIÓN FORESTAL

LUCIO A. SANTOS - FAO DIVISIÓN FORESTAL

Diseño de portada: CAMILO ANDRES SARMIENTO

Bogotá D.C
Enero de 2024

CITA SUGERIDA:

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – IDEAM (2024). Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales de Colombia para el periodo 2023 – 2027 como mecanismo para optar al pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) – Programa ONU REDD Colombia. 87 p.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	11
2. ÁREA DE CUBRIMIENTO DEL NREF	11
3. CONTEXTO NACIONAL	14
3.1. Estrategia Nacional REDD+: Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques – EICDGB	16
3.2. CONPES 4021 – Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques	20
3.3 Contribución Nacionalmente Determinada (Actualización 2020)	20
4. DEFINICIÓN DE BOSQUE	22
5. ACTIVIDADES REDD+ INCLUIDAS	22
5.1. Deforestación	23
5.2. Degradación forestal	23
6. SUMIDEROS INCLUIDOS	24
7. GASES INCLUIDOS	24
8. CONSTRUCCION DEL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES NACIONALES	24
8.1. Escala	24
8.2. Periodo de Referencia	24
8.3 Proyección del NREF	25
8.4 Datos de Actividad	25
8.4.1 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por deforestación	25
8.4.1.1 Preprocesamiento digital de imágenes de satélite	26
8.4.1.2 Procesamiento digital de imágenes de satélite	30
8.4.1.3 Evaluación de exactitud temática	32
8.4.1.4 Cálculos y reportes	35
8.4.2 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por degradación forestal	38
8.4.2.1 Datos empleados para la estimación de la degradación forestal	38
8.4.2.2 Definición de distancia al borde y pre-procesamiento de la información	38
8.4.2.3 Procesamiento	39
8.4.2.4 Cuantificación de áreas de cambio	41
8.5 FACTORES DE EMISIÓN	41
8.5.1 Origen y tratamiento de los datos de campo	43
8.5.2 Cálculos dasométricos, de suelo y detritos de madera	45
8.5.3 Reservas de biomasa y carbono en ecosistemas boscosos de Colombia	49
8.5.4 Factores de emisión por deforestación	51
8.5.5 Factores de emisión por degradación forestal	54
8.6 CIRCUNSTANCIAS NACIONALES	56
8.6.1 Principales causas directas de la deforestación en el período de 2013-2022	56
8.6.2 Factores ambientales y sociopolíticos relevantes para el análisis de circunstancias nacionales para la actividad de deforestación	57
8.6.3 Supuestos y aproximación modelada al cálculo del ajuste por circunstancias nacionales para la actividad de deforestación	60

8.6.4 Modelo logístico	61
8.6.4.1 Estimación de la tasa de crecimiento (b)	62
8.6.4.2 Estimación del área de bosque susceptible a la deforestación (K)	62
8.6.4.3 Proyección nacional de pérdida de bosque natural 2018-2022	64
8.6.4.4 Estimación del error	65
8.6.5 Ajuste del NREF por circunstancias nacionales 2023-2027	65
8.7 CONSTRUCCION DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES.....	66
8.7.1 Línea base de emisiones por deforestación.....	66
8.7.2 Línea base de emisiones por degradación forestal.....	68
8.7.1 Cálculo del NREF.....	69
8.7.1.1 Promedio histórico de las emisiones por deforestación	70
8.7.1.2 Promedio histórico de las emisiones por degradación forestal	70
8.7.1.3 Emisiones proyectadas por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales	71
8.7.1.4 Emisiones proyectadas por degradación forestal.....	71
8.7.1.5 Nivel de referencia nacional de emisiones forestales para el periodo 2023 – 2027	72
8.7.2 Incertidumbre del NREF.....	73
9. CONSISTENCIA ENTRE REPORTES DE GESTIÓN DE GEI PRESENTADOS A LA CMNUCC	76
9.1 Consistencia entre NREF nacional y el Tercer Reporte Bianual de Actualización	76
9.2 Diferencias entre el NREF nacional 2018 – 2022 y el presente NREF nacional.....	77
10. PLAN DE MEJORAS Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES.....	79
10.1 Refinamiento de los factores de emisión para deforestación.....	79
10.2 Unidades de muestreo permanente para el monitoreo continuo del bosque	79
10.3 Tipificación de la deforestación y emisiones netas	80
10.4 Refinamiento de los factores de emisión para degradación forestal	80
10.5 Modelación de circunstancias nacionales asociadas a la degradación forestal.....	80
10.6 Diferenciación de contenidos de carbono en suelos minerales y suelos orgánicos	80
10.7 Inclusión de las mejoras del presente NREF como parte del primer BTR.....	81
11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82

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 de emisiones forestales.....	36
Tabla 2. Re categorización MSPA.....	41
Tabla 3. Escenarios de tamaño de muestra	44
Tabla 4. Tamaños de muestra por región	44
Tabla 5. Parámetros del modelo Weibull por región y habito de crecimiento.....	47
Tabla 6. Cantidad de biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma	49
Tabla 7. Carbono almacenado en la biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma	50
Tabla 8. Carbono orgánico del suelo (COS) acumulado en los ecosistemas boscosos de Colombia.....	50
Tabla 9. Contenidos de carbono en los diferentes componentes de los detritos de madera	51
Tabla 10. Biomasa aérea por hectárea en bosques estratificados (núcleo y borde) para todos los biomas	52
Tabla 11. Biomasa subterránea por hectárea en bosques estratificados (núcleo y borde) para todos los biomas	52
Tabla 12. Biomasa total para cada estrato de bosque y por bioma	52
Tabla 13. Estimación del carbono total contenido en cada estrato de bosque y desagregados por bioma	53
Tabla 14. Factores de emisión para cada estrato de bosque y desagregados por bioma	53
Tabla 15. Pérdida de biomasa aérea como parte del proceso de transición entre un bosque núcleo (intacto) y un bosque borde (degradado) para cada bioma	55
Tabla 16. Pérdida de biomasa subterránea como parte del proceso de transición entre un bosque núcleo (intacto) y un bosque borde (degradado) para cada bioma	55
Tabla 17. Pérdida de biomasa total por efecto de la degradación forestal en la transición de bosque núcleo (intacto) a bosque borde (degradado) en cada bioma.....	56
Tabla 18. Contenidos de carbono y su equivalencia en CO ₂ para estimar los factores de emisión asociados a degradación forestal para los diferentes biomas	56
Tabla 19. Tasa de crecimiento de la deforestación (b) estimada por bioma	62
Tabla 20. Área de bosque susceptible a ser deforestado (K) estimada por bioma (ha)	63
Tabla 21. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.....	64
Tabla 22. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.....	65
Tabla 23. Datos de actividad por deforestación desagregados por bioma y por estratos de bosque para el periodo de referencia.....	67
Tabla 24. Datos de actividad por degradación forestal desagregados por bioma para el periodo de referencia	69
Tabla 25. Promedio histórico de las emisiones por deforestación calculado a partir del periodo de referencia	70

Tabla 26. Promedio histórico de las emisiones por degradación forestal calculado a partir del periodo de referencia	70
Tabla 27. Emisiones por deforestación proyectadas para el periodo 2023 - 2027.....	71
Tabla 28. Emisiones por degradación forestal proyectadas para el periodo 2023 – 2027.	72
Tabla 29. Nivel de referencia de emisiones forestales para el periodo 2023 - 2027.....	72

Listado de Figuras

Figura 1. Mapa de biomas de Colombia (Regiones Naturales)	13
Figura 2. Hectáreas sembradas en plantaciones forestales comerciales para el periodo.15	
Figura 3. Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMyC	28
Figura 4. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8.....	29
Figura 5. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2	30
Figura 6. Ventana de interpretación de los puntos de muestreo en el aplicativo qGIS Acatama	35
Figura 7. Monitoreo del cambio de la superficie de bosque para el período 2013 - 2022 .37	
Figura 8. Superficie de bosque natural original – superficie de bosque natural recategorizado	39
Figura 9. Categorías generadas por el algoritmo MSPA.....	40
Figura 10. Re-categorización MSPA a tres clases.....	41
Figura 11. Identificación de cambios en la superficie de bosque (deforestación y degradación)	42
Figura 12. Ubicación geográfica de los 953 conglomerados implementados en la fase 2015 – 2022 del IFN	45
Figura 13. Línea de tiempo de los eventos sociopolíticos y climáticos relevantes en Colombia durante período 2013-2022.....	58
Figura 14. Estimación del bosque susceptible de deforestación (K)	63
Figura 15. Proyección nacional de pérdida de bosque natural. Período 2023-2027.	64
Figura 16. Emisiones totales nacionales proyectadas debidas a la deforestación y la degradación forestal para el periodo 2023 - 2027	73

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1. Calculo de la proporción de área mapeada	33
Ecuación 2. Calculo del tamaño de muestra.....	34
Ecuación 3. Calculo del tamaño de muestra.....	43
Ecuación 4. Calculo del diámetro normal a partir del factor de reducción diamétrica (FRD)	46
Ecuación 5. Calculo de la altura total del árbol en función del diámetro normal (dap)....	47
Ecuación 6. Biomasa aérea por árbol.....	47
Ecuación 7. Biomasa aérea para palmas y helechos arbóreos.....	48
Ecuación 8. Biomasa subterránea.....	48
Ecuación 9. Estimación del carbono total.....	48
Ecuación 10. Cambio en las existencias de biomasa aérea de bosque núcleo a bosque borde	54
Ecuación 11. Cambio en las existencias de biomasa subterránea de bosque núcleo a bosque borde.....	55
Ecuación 12. Modelo logístico de crecimiento.....	61
Ecuación 13. Modelo logístico de crecimiento modificado	62
Ecuación 14. Calculo del error de porcentaje medio absoluto (MAPE)	65
Ecuación 15. Emisiones nacionales debidas a la deforestación	66
Ecuación 16. Emisiones anuales debidas a la deforestación a nivel de bioma	68
Ecuación 17. Emisiones nacionales debidas a la degradación forestal	68
Ecuación 18. Emisiones anuales debidas a la degradación forestal a nivel de bioma	69
Ecuación 19. Calculo de las emisiones por deforestación con ajuste por circunstancias nacionales	71
Ecuación 20. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea	74
Ecuación 21. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea	74
Ecuación 22. Incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones brutas.....	74
Ecuación 23. Incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad.....	74
Ecuación 24. Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo.....	75
Ecuación 25. Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma.....	75
Ecuación 26. Incertidumbre nacional de los factores de emisión.....	75

GLOSARIO

AFOLU:	Agricultura, Silvicultura y Usos del Suelo
AIC:	Criterio de Información de Akaike
AMP:	Árboles muertos en pie
BA:	Biomasa Aérea
BS:	Biomasa Subterránea
BT:	Biomasa Total
BTR:	Reporte bienal de transparencia (por sus siglas en inglés: biennial transparency report)
CMNUCC:	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONPES:	Consejo Nacional de Política Económica y Social
COS:	Carbono orgánico del suelo
COVID - 19:	Enfermedad por coronavirus 2019 (acrónimo del inglés: coronavirus disease 2019)
DAP:	Diámetro a la Altura del Pecho (cm)
DCI:	Declaración Conjunta de Intención
DM:	Detritos de madera
DFM	Detritos finos de madera
DGM	Detritos gruesos de madera
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 Debidas a la Deforestación y Degradación Forestal
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
IF:	Incendio Forestal
IFN:	Inventario Forestal Nacional

IPCC:	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por su traducción del inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change)
Ambiente:	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MRV:	Medición, Reporte y verificación
MSN:	Metros sobre el nivel del mar
MSPA:	Morphological Spatial Pattern Analysis
NDC:	Contribución determinada a nivel nacional (por su traducción del inglés: Nationally Determined Contribution)
NREF:	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación, Manejo Forestal Sostenible, Conservación y Aumento de los stocks/contenidos de carbono
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: Wood Density)

1. INTRODUCCION

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 tercer Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) para el periodo 2023 – 2027, a fin de 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 mantiene el enfoque presentado en el anterior NREF para proyectar el comportamiento de la deforestación, en donde las circunstancias nacionales no son uniformes 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.

2. 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. De acuerdo con la decisión 12/CP.17, se presenta un NREF nacional, el cual corresponde al

área de los cinco biomas incluidos en el territorio continental colombiano, y su parte insular alojada en los biomas de Caribe y Pacífico. El concepto de bioma define ambientes extensos y uniformes de la geobiosfera (Walter, 1977), y corresponde a un área homogénea en términos biofísicos. En Colombia se pueden identificar cinco grandes biomas (Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico), delimitados con base en criterios biogeográficos, principalmente asociados a la distribución natural del bosque, a la geomorfología y/o rangos altitudinales (Rodríguez *et al.*, 2006; Narváez & León, 2001). Su distribución puede observarse en la Figura 1. A continuación, se describe cada uno de ellos.

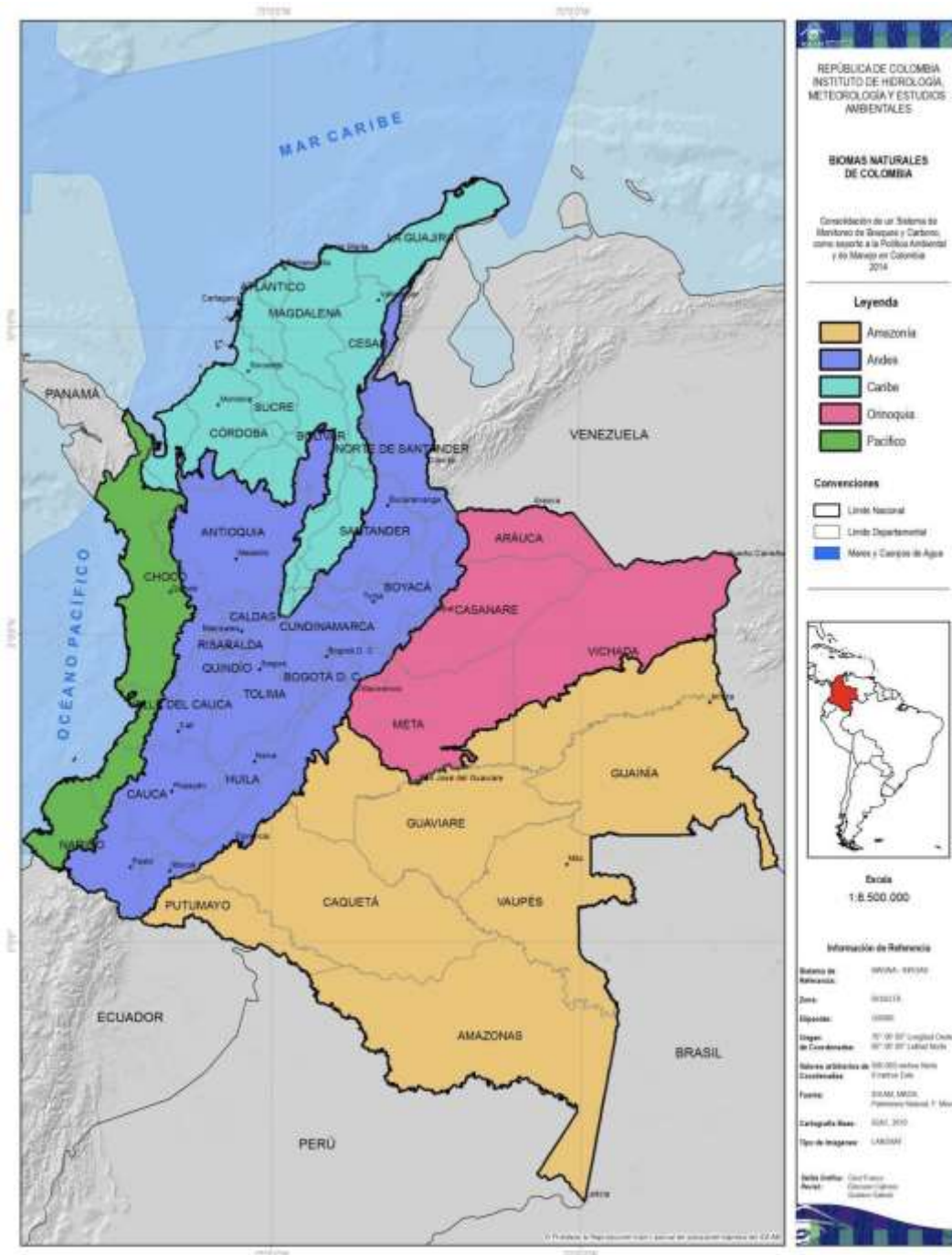
Bioma Amazónico: el límite noroccidental corresponde al denominado piedemonte entre los 400-500 msnm donde convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonía y Orinoquía; el límite nororiental corresponde al límite norte de distribución del bosque amazónico con las sabanas de la Orinoquía; y al oriente y sur hasta las fronteras internacionales con la República Bolivariana de Venezuela, República Federativa de Brasil, República del Perú y República del Ecuador.

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.

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



Fuente: IDEAM, 2014

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.

Territorio insular: como parte del proceso de mejoramiento técnico, el presente NREF incorpora el territorio insular, el cual comprende el conjunto de islas de tipo continental y oceánico. Son islas continentales los archipiélagos de San Bernardo y del Rosario, isla Fuerte, Tortuguilla, Barú y Tierra Bomba. Por su parte, de tipo oceánico son el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el mar Caribe y las islas de Gorgona, Gorgonilla, El Gallo, El Morro y Malpelo en el océano Pacífico (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2008). Para efectos del presente nivel de referencia, las islas del Caribe colombiano se anexionan al bioma Caribe mientras que Gorgona y Malpelo se integran al bioma Pacífico.

3. CONTEXTO NACIONAL

El territorio colombiano se localiza en el extremo noroccidental de América del Sur ocupando aproximadamente el 6,4% de la superficie de éste subcontinente. Geográficamente, se ubica entre los 4° 13' de latitud sur y los 16° 10' de latitud norte; y entre los 66° 50' y 84° 46' de longitud oeste. Abarca una superficie total de 2.070.408 km² del cual el 55% corresponde a su área continental y el 45% restante comprende su extensión marítima (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2011). En 2022, la población estimada superaba los 51,6 millones de habitantes, de los cuales el 76% se encontraba en las áreas urbanas y el 24% en áreas rurales (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023).

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 2022, 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.

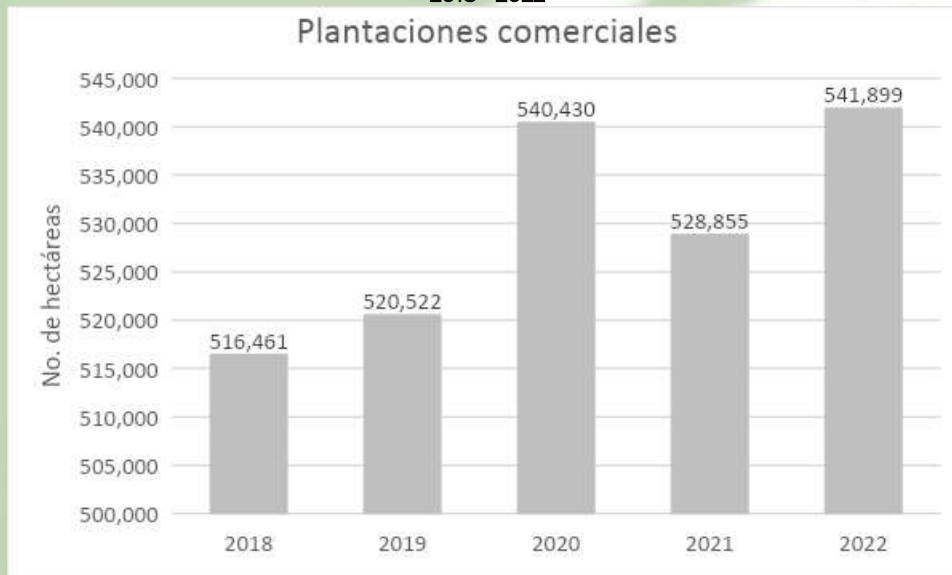
En 2020, el país presentó un descenso en su PIB de -7,3% como consecuencia de los efectos económicos asociados a la pandemia de COVID-19 y, posteriormente, experimentó un crecimiento económico del 11% en 2021 respecto del año inmediatamente anterior. En este contexto, el sector de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca presentó un crecimiento del 3,1%.

La distribución de los bosques nacionales por regiones biogeográficas señala que el 66% de ellos hacen parte del bioma amazónico, seguido del bioma andino con el 18%, el Pacífico con el 9%, la Orinoquía con el 4% y el bioma Caribe con el 3% restante. El Sistema Nacional de Parques Naturales Nacionales (SPNN) cubre una extensión que comprende el 21% del territorio continental e insular de Colombia y, el mismo alberga 12,3 millones de hectáreas de bosque lo que corresponde al 20,6% de la superficie total de bosques de Colombia. En cuanto a la tenencia de la tierra, el 42,5% pertenece a privados, el 30,1% se

encuentran tituladas a comunidades étnicas y otras minorías, el 11,5% corresponden a terrenos baldíos y otras tierras que pertenecen al estado, el 10% pertenecen al sistema de áreas protegidas y el restante 5,9% lo ocupan los centros urbanos (López, 2020). No obstante, estas cifras serán objeto de ajuste y precisión cuando se efectué la actualización predial correspondiente mediante la adopción del catastro multipropósito, dado que hasta enero de 2019 menos del 6% del total de predios contaban con información catastral actualizada y se espera que el 100% de estos hayan alcanzado esta condición en 2025 (Departamento Nacional de Planeación, 2019).

A diciembre de 2022, el país contaba con 541.899 hectáreas de plantaciones comerciales establecidas lo que representó una variación del 4,9% respecto de 2018 y un aumento del 2,4% respecto del año 2021 (Figura 2). Lo anterior se debió al proceso de aprovechamiento de algunas plantaciones ya maduras en 2021 lo que redujo paulatinamente su extensión durante dicho año (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a).

Figura 2. Hectáreas sembradas en plantaciones forestales comerciales para el periodo 2018 - 2022



Fuente: Adaptado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023

La distribución geográfica de estas plantaciones indica que el 41% de las hectáreas plantadas se encuentran en la región Andina, el 34% en la Orinoquía, el 15% en la región Pacífica, el 10% en el Caribe y menos del 1% en la Amazonía. De igual forma, el 81% de las hectáreas plantadas corresponden a especies exóticas y el 19% restante a nativas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a). Tomando como referencia el periodo 2019 – 2022, se puede inferir que el volumen promedio anual de productos maderables y no maderables es de más de 3 millones de metros cúbicos de los cuales, el 79% procede de las plantaciones comerciales y el 21% restante del bosque natural (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a).

La cadena de valor del sector silvícola y de extracción de madera ha experimentado un crecimiento sostenido de aproximadamente 7% promedio anual durante el periodo 2005

– 2022 pasando de 0,85 a 3,72 billones, lo que implica una participación del 3,07% dentro del sector de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca. En cuanto a la balanza comercial del sector de maderas y muebles, tanto las importaciones como las exportaciones presentaron variaciones positivas en el periodo 2021 – 2022 creciendo un 23,8% y 1,9%, respectivamente; sin embargo, la balanza comercial del sector sigue manteniendo un comportamiento deficitario (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a). Se estima que para 2021, se generaron 0,32 millones de pesos por cada tonelada consumida de insumos naturales del bosque derivada de esta actividad económica (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023).

Por otra parte, la leña representó el 67,2% de los productos forestales maderables del año 2021 lo que implicaba una extracción de 5,7 millones de toneladas que procedían tanto del bosque como de otras fuentes de abastecimiento (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023).

3.1. Estrategia Nacional REDD+: Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques – EICDGB “Bosques Territorios de Vida”

La EICDGB¹ responde a las provisiones emanadas de la Decisión 1/CP. 16, pero en particular, de lo indicado en el párrafo 71 en lo concerniente a desarrollar una estrategia nacional o un plan de acción sobre REDD+. Después de un amplio proceso de consultas y de concertación con pueblos indígenas, comunidades étnicas y campesinas, ésta estrategia fue adoptada en diciembre de 2017, con el propósito de fijar el derrotero que el Estado colombiano debería seguir para combatir la deforestación. La EICDGB (2017) establece cinco metas a 2030:

. La EICDGB (2017) establece cinco metas a 2030:

- Alcanzar la deforestación bruta cero.
- Aumentar la calidad de vida de las poblaciones locales en áreas forestales.
- Fortalecer la gobernanza territorial de los grupos étnicos, comunidades campesinas y rurales que dependen de los bosques.
- Lograr una reducción de 32,4 millones de toneladas de CO_{2eq.} por deforestación evitada.
- Registrar una balanza comercial positiva del sector forestal.

La Estrategia se fundamenta en cinco objetivos, los cuales definen su marco de acción:

- 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.

¹ Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/eicdgb_bosques_territorios_de_vida_web.pdf

- Fomentar una economía forestal basada en los bienes y servicios de los bosques para el desarrollo integral y el cierre de la frontera agropecuaria.
- Disminuir la degradación y deforestación a través de la gestión transectorial de la política y normativa para el ordenamiento ambiental y territorial.
- 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.
- Realizar los ajustes institucionales, normativos 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 en Colombia.

Adicionalmente, y en su esfuerzo por detener la pérdida de cobertura forestal en el territorio nacional, el Estado colombiano ha emprendido diferentes acciones y medidas en el marco de la implementación de la EICDGB, entre las que se destacan las siguientes:

- ***Declaración Conjunta de Intención – DCI***

En el marco de la vigésimo primera Conferencia de las Partes de la CMNUCC (COP-21) realizada en París en 2015, Colombia suscribió una alianza con Alemania, Noruega y el Reino Unido para reducir la deforestación neta en la Amazonía colombiana, la cual se ha desarrollado en dos fases: la primera (DCI original) que comprendió el periodo 2015 – 2019 y la segunda (DCI renovada) que se encuentra actualmente en ejecución cobijando el periodo 2020 – 2025 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

La DCI se fundamenta en dos modalidades de colaboración: la modalidad I que corresponde al diseño e implementación de 63 hitos de política pública que contribuyen con los objetivos trazados por esta alianza y la modalidad II que implica la reducción de emisiones verificadas debidas a REDD+ para optar a pago por resultados. El balance de esta primera fase indica que Colombia avanzó en el cumplimiento del 76% de los hitos establecidos en la modalidad I y, en lo que respecta a la modalidad II, el país redujo la deforestación en el bioma amazónico por debajo de su primer NREF de alcance subnacional para el periodo comprendido entre 2013 – 2016.

Durante la vigesimoquinta Conferencia de las Partes (COP-25) llevada a cabo en Madrid en 2019, los cuatro gobiernos acordaron una renovación de la DCI la cual contempla un marco de actuación hasta el año 2025 y persigue como objetivo lograr una reducción significativa de las emisiones de GEI por deforestación y degradación forestal mediante la inclusión de nuevos hitos de política e intervenciones con enfoque territorial, además de alentar la conservación de los bosques mediante incentivos y otros instrumentos de financiamiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

- ***Programa Visión Amazonía***

Se constituye en el primer programa nacional REDD+ el cual fue implementado en la región amazónica colombiana, bajo la titularidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El programa ha sido una iniciativa del gobierno colombiano quien ha contado con el apoyo de los gobiernos de Noruega, Alemania y Reino Unido, los cuales han reconocido los esfuerzos del país por reducir la deforestación a través de un esquema de pago por resultados. Durante los 5 años que operó la iniciativa REM (REDD Early Movers) en su primera versión, el financiamiento fue cercano a US \$61 millones. En enero del 2022 se concertó entre la Mesa Regional Amazónica (MRA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el desarrollo de la consulta previa del programa y desde diciembre del 2022 se encuentra desarrollando la fase de aprestamiento de la segunda fase de REM

Visión Amazonía fundamenta su estrategia de intervención en el territorio en cinco pilares: gobernanza forestal, desarrollo sectorial sostenible, desarrollo agroambiental, gobernanza ambiental con pueblos indígenas y condiciones habilitantes. Lo anterior ha permitido obtener importantes resultados en materia de reducción de la deforestación en el bioma amazónico.

- ***Iniciativa Pago por Resultados Colombia REDD+ (GCF FAO)***

Cimentado en el Programa Visión Amazonía, la iniciativa de Pago por Resultados Colombia REDD+ 2015-2016 cuenta con el financiamiento del Fondo Verde del Clima (GCF por sus siglas en inglés), la implementación se realiza a través de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y tiene como propósito contribuir con la reducción de la deforestación en el bioma amazónico en el marco de la implementación de la Estrategia Nacional REDD+ (Estrategia Integral de Control a la Deforestación y la Gestión de Bosques - EICDGB).

Esta iniciativa refuerza las intervenciones hechas por el Programa Visión Amazonía a través del fortalecimiento del monitoreo y control del territorio, la gobernanza territorial y las capacidades de los pueblos indígenas y comunidades campesinas, con relación al manejo forestal sostenible y cierre de la frontera agropecuaria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Su implementación implica una inversión de 28,2 millones de dólares, cuya ejecución comenzó en 2022 y se extenderá hasta 2025.

- ***Proyecto Biocarbono Orinoquía – Paisajes sostenibles bajos en carbono***

Esta iniciativa co - implementada entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en trabajo conjunto con el IDEAM y la Unidad de Planeación Rural y Agropecuaria (UPRA) y asesorada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Agencia Presidencial para la

Cooperación Internacional (APC); busca identificar y desarrollar alternativas que permitan contribuir con la mejora de las condiciones para la planificación y producción agropecuaria sostenible, con el fin de garantizar la disminución en las emisiones de GEI. Uno de sus objetivos específicos contempla la planeación y ordenamiento integrales del territorio y el mejoramiento de la gobernanza para el control de la deforestación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023b).

El proyecto cuenta con el auspicio del Banco Mundial con recursos del Fondo Biocarbono, a partir de la implementación de la metodología de Iniciativas sobre Paisajes Forestales Sostenibles (ISFL por su traducción en inglés) y su ejecución gira en torno a tres componentes: a) la planeación integral y uso del suelo y gobernanza mejorada para el control de la deforestación, b) el uso y manejo sostenible del suelo y c) la definición del programa de reducción de emisiones (PRE) y del monitoreo, reporte y verificación.

Como iniciativa de mitigación de GEI², cuenta con dos componentes: un Programa de Desarrollo Bajo en Carbono (PDBC) agropecuario que cubre las cadenas agropecuarias de arroz, cacao, palma de aceite, marañón, ganadería bovina y plantaciones forestales y un Programa REDD+ para contribuir con la reducción de la deforestación de bosques naturales. Durante el 2023, el Proyecto Biocarbono Orinoquia publicó su Programa de Reducción de Emisiones y obtuvo su validación y verificación de tercera parte para optar a pagos por resultados por disminuir las emisiones del sector AFOLU en la región de la Orinoquía.

- ***Iniciativas de mitigación de GEI bajo el mecanismo REDD+ del mercado voluntario de carbono***

La expedición del Decreto 926 de 2017 catalizó el desarrollo de proyectos REDD+ en el territorio nacional debido al crecimiento en la demanda de reducción de emisiones de GEI como mecanismo alternativo al pago del impuesto al carbono. El número de proyectos registrados en la plataforma del RENARE, con corte a agosto de 2022, era de 103 iniciativas, la mayor parte de ellas concentradas en la regiones Amazónica y Pacífica en donde se encuentra la mayor superficie de bosque natural del país.

Hasta dicha fecha, en el país se habían transado 81,9 MtCO₂ eq. bajo el mecanismo de la no causación del impuesto al carbono, de las cuales, cerca del 40% procedían de proyectos REDD+ ubicados en el territorio nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

² Según lo dispuesto en la Resolución 1447 de 2018: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/15.-Resolucion-1447-de-2018.pdf>

3.2. CONPES 4021 – Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques

Los CONPES constituyen documentos de política pública que tienen como propósito solucionar problemáticas de carácter transversal que resultan estratégicos para el desarrollo económico y social del país. Considerando la naturaleza multisectorial de las causas de la deforestación y la degradación forestal, el Consejo Nacional de Política Económica y Social expidió en diciembre de 2020, la Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques (denominado de forma abreviada como CONPES 4021). Esta política tiene como objetivo la implementación de estrategias transectoriales para el control de la deforestación y la gestión de los bosques para impulsar el uso sostenible del capital natural, la economía forestal y el desarrollo comunitario en las áreas de mayor deforestación (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2020). Su marco de acción adopta los lineamientos de la Estrategia Integral de Control a la Deforestación y la Gestión de Bosques, los cuales convergen en cuatro objetivos:

- Consolidar alternativas sostenibles de producción, conservación y recuperación de los bienes y servicios ecosistémicos de los bosques para el desarrollo rural y la estabilización de la frontera agropecuaria.
- Mejorar la articulación transectorial y la armonización de los instrumentos de planificación sectorial, territorial y ambiental para el control de la deforestación y la gestión de los bosques.
- Fortalecer las capacidades institucionales en materia de prevención, investigación y judicialización para mejorar el control de las economías ilegales que promueven la deforestación.
- Mejorar la gestión de la información sobre el estado y presiones del recurso forestal, como soporte para el desarrollo de acciones orientadas a la administración y gestión sostenible de los bosques del país.

El plan de acción de esta política tiene un periodo de ejecución de 10 años (2021 – 2030) y comprende (4) cuatro estrategias, (12) doce líneas de acción y (56) cincuenta y seis medidas implementables con responsables asignados de los diferentes sectores económicos, además de plazos de ejecución y recursos requeridos. A junio de 2023, el avance de cumplimiento de las medidas era del 40%³.

3.3 Contribución Determinada a Nivel Nacional – NDC (Actualización 2020)

La NDC de Colombia, presentada ante la CMNUCCC en diciembre de 2020, comunicó como parte de la meta de mitigación del país su compromiso en emitir como máximo

³ Debe señalarse que el seguimiento al CONPES 4021 se efectúa con una periodicidad semestral durante todo el periodo de implementación de la política. El avance de cumplimiento es medido contra el total de acciones contemplada por la política por el Departamento Nacional de Planeación.

169,44 millones de tCO₂ eq. en 2030, lo que es equivalente a una reducción del 51% de las emisiones respecto a la proyección en el escenario de referencia.

En este escenario, el sector AFOLU representó más del 50% de las emisiones nacionales proyectadas, de las cuales, las emisiones por deforestación tienen una participación del 25,2%. Para construir esta proyección se empleó el Nivel de Referencia Nacional de Emisiones Forestales presentado a la CMNUCC en 2020, incluyendo las circunstancias nacionales.

Dicha NDC contempla como parte del portafolio de mitigación, medidas de reducción directamente relacionadas con el sector forestal tales como: el desarrollo y consolidación de la cadena productiva de las plantaciones forestales con fines comerciales como contribución a la captura de GEI, la restauración ecológica que busca acelerar el proceso de restablecimiento de áreas de ecosistema boscoso en línea con el plan nacional de restauración, y la reducción intersectorial de la deforestación.

Así mismo, se incluyen acciones orientadas a la masificación de soluciones basadas en la naturaleza en áreas boscosas y ecosistemas degradados para la conservación, dentro de las cuales se incluyen acciones de restauración ecológica, recuperación, rehabilitación, protección y uso sostenible de los ecosistemas y aquellas que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible considere compatibles, con énfasis en productos no maderables del bosque. Estas acciones como mínimo apuntarán a la restauración de por lo menos un millón de hectáreas acumuladas a 2030.

Por su parte, el portafolio de adaptación contempló medidas relacionadas con la gestión del riesgo de los incendios forestales (IF), a través de la implementación de siete (7) estrategias enfocadas en:

- La verificación de incendios forestales.
- Modelación para la identificación de los ecosistemas sensibles a este tipo de eventos.
- Monitoreo de áreas afectadas por incendios.
- Corresponsabilidad en la lucha contra los incendios forestales.
- Fortalecimiento institucional.
- Armonización y actualización de instrumentos de gestión de incendios forestales.

En línea con lo establecido en la NDC y la expedición de la Ley 2169 de 2021, Colombia se encuentra formulando el nivel del presupuesto de carbono nacional, el cual cuenta con consideraciones que incluyen el nivel del presupuesto global de carbono y presupuesto remanente de CO₂, así como el aporte de gases no-CO₂ como el metano al incremento de temperatura, esto en línea con la meta nacional de reducción de emisiones.

Al ser el presupuesto de carbono un ejercicio de carácter nacional y que busca reflejar la distribución del presupuesto global remanente basado en la mejor ciencia disponible y su alineación con trayectorias de reducción de emisiones construidas bajo diferentes enfoques de análisis y alcances, no incluirá en la primera publicación una desagregación sectorial, incluyendo el componente forestal.

La gestión forestal, dentro del marco de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), no solo representa un componente clave en la lucha contra el cambio climático, sino también, una oportunidad para priorizar la justicia social, el respeto a los derechos humanos, la promoción de la paz positiva⁴ y la seguridad humana. Este enfoque integral reconoce la estrecha interconexión entre la salud de los ecosistemas forestales y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos, por ello, se avanza en la transversalización de estos enfoques en el portafolio de medidas de la NDC de Colombia.

Desde la perspectiva de paz positiva, se destaca la importancia de la colaboración transversal entre diferentes sectores y partes interesadas en la gestión forestal. La cooperación efectiva no solo aborda los aspectos ambientales de la gestión, sino que también considera las dimensiones sociales y económicas.

4. DEFINICIÓN DE BOSQUE

La definición de bosque adoptada por Colombia corresponde a:

“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 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 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).

Se debe indicar que para efectos de otros reportes presentados por el país relacionados con el sector forestal y de uso del suelo (FOLU), se utiliza el término *“tierras forestales”*, el cual tiene un cubrimiento más amplio en cuanto a coberturas arbóreas dado que ello implica otras formaciones vegetales leñosas no consideradas como bosques naturales.

5. ACTIVIDADES REDD+ INCLUIDAS

El presente NREF para Colombia, incluye las emisiones de CO₂ debidas a la deforestación, y se considera la inclusión de la degradación forestal como actividad REDD+ adicional, lo

⁴ Este termino comprende un concepto que concibe la paz como una apuesta para canalizar acciones y esfuerzos tanto en procura de la solución de conflictos, como en la mejora de la calidad de la vida de la población, la atención de las necesidades humanas básicas, y el disfrute efectivo de los derechos humanos.

cual constituye una mejora técnica con respecto al NREF 2018-2022. A continuación, se presentan las definiciones de deforestación y degradación acogidas por el país:

5.1. Deforestación

Esta actividad se define 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; GOFC – GOLD, 2008). La deforestación constituye la actividad más predominante en término de emisiones de GEI del sector forestal y de uso del suelo (FOLU) en Colombia. En las últimas dos décadas el país ha perdido cerca de 3,3 millones de hectáreas, que representan una extensión de casi el 2,9% del territorio continental.

Para el presente NREF, Colombia mantiene el enfoque de reportar las emisiones asociadas a la deforestación bruta, es decir, no considera la cobertura vegetal emergente post-deforestación.

5.2. Degradación forestal

Esta actividad REDD+ se define como un cambio permanente o temporal en la cobertura forestal que no cae por debajo de los umbrales de la definición de bosque. El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), el cual es liderado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ha realizado diferentes esfuerzos encaminados a establecer una metodología que permita estimar la degradación de manera costo efectiva y con un bajo nivel de incertidumbre.

En consecuencia, se han desarrollado estudios basados en metodologías directas y metodologías indirectas. Bajo el primer enfoque metodológico, orientado en detectar cambios en el dosel, pequeños claros y/o cambios estructurales como resultado de perturbaciones forestales, se han empleado algoritmos diseñados para el análisis de series de tiempo de datos provenientes de sensores remotos pasivos. Específicamente, se realizaron pruebas con CCDC (Continuous Change Detection and Classification), Bfast (Breaks For Additive Season and Trend) y Landtrendr. El potencial de estos algoritmos es innegable. Sin embargo, aspectos como el ruido generado por procesos deficientes de enmascaramiento de nubes, ocasionan falsas detecciones. Además, existen limitaciones computacionales que hacen difícil escalar las detecciones a un nivel nacional o para integrar los datos con los obtenidos en campo con el Inventario Nacional Forestal.

Bajo el contexto de las metodologías indirectas, en las cuales la estimación de la degradación se efectúa a través de un proxy y no con mediciones directas a nivel de píxel, el SMByC realizó en el año 2018 un estudio en el cual se empleó el algoritmo Land Fragmentation Tool (LFT). En dicho estudio se definieron clases asociadas con la degradación (parche, perforado y núcleo) y con las áreas no degradadas (bosque núcleo) para cuantificar posteriormente la transición entre las mismas y obtener así un estimado de las áreas degradadas.

Finalmente, la estimación de la degradación se abordó desde una tercera perspectiva. En este caso, con base en un documento sobre las causas de degradación en Colombia elaborado en 2016 por el SMBYC, en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia,

se realizaron dos estudios encaminados a estimar las emisiones por tipo de actividad. Un primer análisis, realizado con el apoyo técnico de Winrock Internacional, denominado “*Estimación de Emisiones del Aprovechamiento Forestal por Tala Selectiva: Propuesta de un método operacional para Colombia*” abordó la estimación de emisiones asociadas a la extracción de leña en áreas de aprovechamiento forestal persistente (Casarim *et al.*, 2017). El segundo estudio cuantificó las emisiones relacionadas con el consumo de leña rural y urbano a nivel nacional con fines energéticos (cocción - calefacción) mediante la metodología WISDOM.

Si bien los estudios mencionados produjeron resultados piloto, la información disponible y las limitaciones técnicas impidieron generar un dato de degradación representativo para todo el territorio nacional y para un periodo largo de tiempo. Es por ello que el presente documento presenta las bases para la generación de una línea base de degradación basado en un análisis morfológico empleando algoritmo Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA).

6. SUMIDEROS INCLUIDOS

Este nuevo NREF considera una mejora técnica con respecto al anterior en lo que respecta a los depósitos de carbono, dado que, para esta oportunidad se incluyen los detritos de madera. Sin embargo, no se incluye la hojarasca debido a que el procedimiento de monitoreo en campo que se implementa en el marco de la ejecución del Inventario Forestal Nacional, no contempla la medición de este depósito de carbono. En consecuencia, el NREF propuesto para el periodo 2023 – 2027 considera los siguientes depósitos:

- Biomasa Aérea (BA).
- Biomasa Subterránea (BS).
- Carbono Orgánico del Suelo (COS).
- Detritos de Madera (DM), que incluye Detritos Gruesos y Detritos Finos.

7. GASES INCLUIDOS

El presente NREF solo considera el dióxido de carbono (CO₂) para efectos de las emisiones proyectadas.

8. CONSTRUCCIÓN DEL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES NACIONALES

8.1. Escala

El alcance del presente NREF es nacional, regionalizado a través de los cinco (5) grandes biomas descritos previamente. El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono

implementa una metodología que integra herramientas de preprocesamiento 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).

8.2. Periodo de Referencia

Al igual que su NREF precedente (periodo 2018 – 2022), Colombia mantiene el criterio de proyectar su NREF para el periodo 2023 – 2027, considerando un periodo de referencia de diez años consecutivos. Para efectos del presente ejercicio, se evalúa tanto la deforestación observada como la degradación forestal correspondiente a la temporalidad 2013 – 2022. Debe señalarse que el país adopta la decisión de proyectar la tendencia de deforestación sobre una base quinquenal, en virtud de lo establecido en el artículo 21º de la Resolución 1447 de 2018.

8.3 Proyección del NREF

La proyección del NREF comprende un periodo quinquenal desde el año 2023 hasta el 2027. Como se indicó en el numeral 8.2, mediante la Resolución 1447 de 2018, se determinó que el periodo de vigencia de esta proyección no debería ser menor de cinco años.

8.4 Datos de Actividad

La CMNUCC durante las Conferencias de las Partes de 2009 y 2010 (COP 15 y 16, respectivamente), y en Varsovia (COP19), instó a los países en desarrollo a establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que permitan cuantificar las emisiones / absorciones de GEI y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de carbono. Como una mejora técnica respecto del anterior nivel referencia, además de la deforestación, se incorpora la degradación forestal estimada para todo el territorio nacional.

La construcción del NREF se basa en la información generada por el SMByC, liderado por el IDEAM, bajo las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 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.

En los siguientes numerales se ofrece una explicación detallada sobre el abordaje metodológico para generar los datos de actividad de ambas actividades REDD+.

8.4.1 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por deforestación

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 programa⁵.

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 describen a continuación.

8.4.1.1 Preprocesamiento 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.

a. 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 QGIS⁶.

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

b. 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

⁵ 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>

⁶ <https://smbyc.bitbucket.io/geisplugins/cloudmasking/>

del infrarrojo térmico. En el caso de Landsat 8 OLI las capas de Aerosoles y Cirrus son también excluidas.

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

- Algoritmo para apilar las bandas: (https://smbyc.bitbucket.io/scripts/layer_stack/)
- Algoritmo para renombrar las imágenes de acuerdo a la estructura del SByC: (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/)

c. 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 LIT 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.

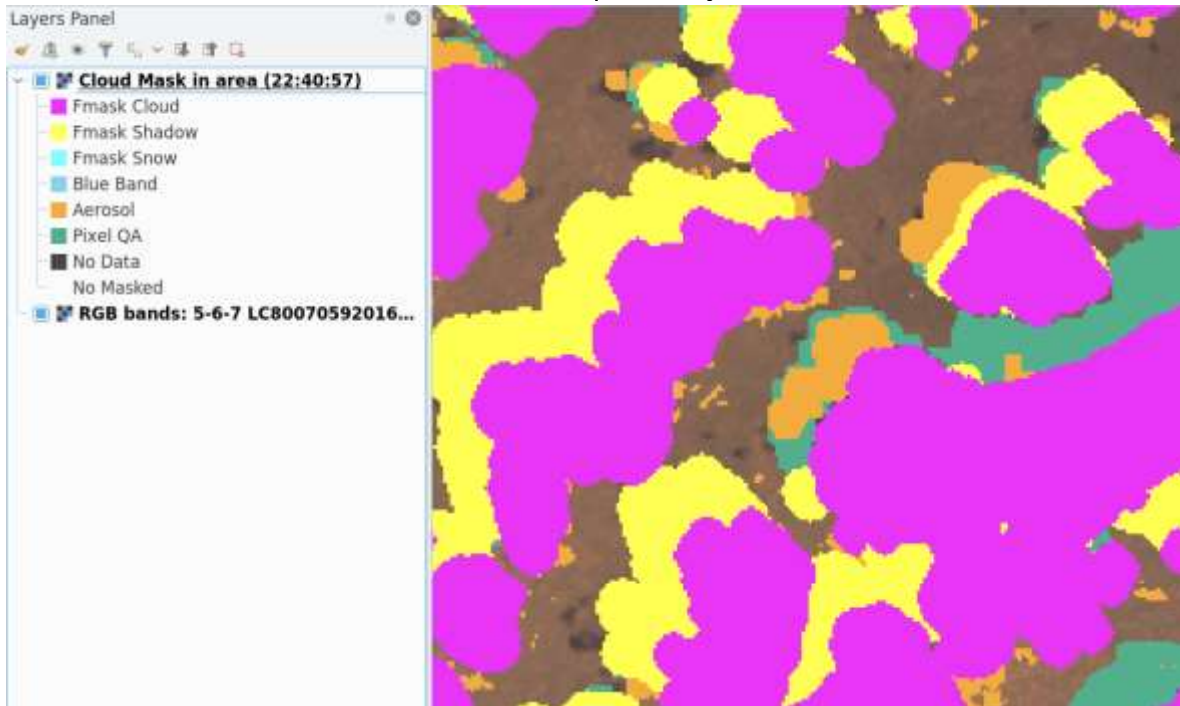
d. Paso 4: enmascaramiento de nubes y sombra

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 3⁷.

⁷ Para una documentación adicional sobre el funcionamiento de la Herramienta Cloud Masking ver:

https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/cloud_filters/

Figura 3. Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMByC



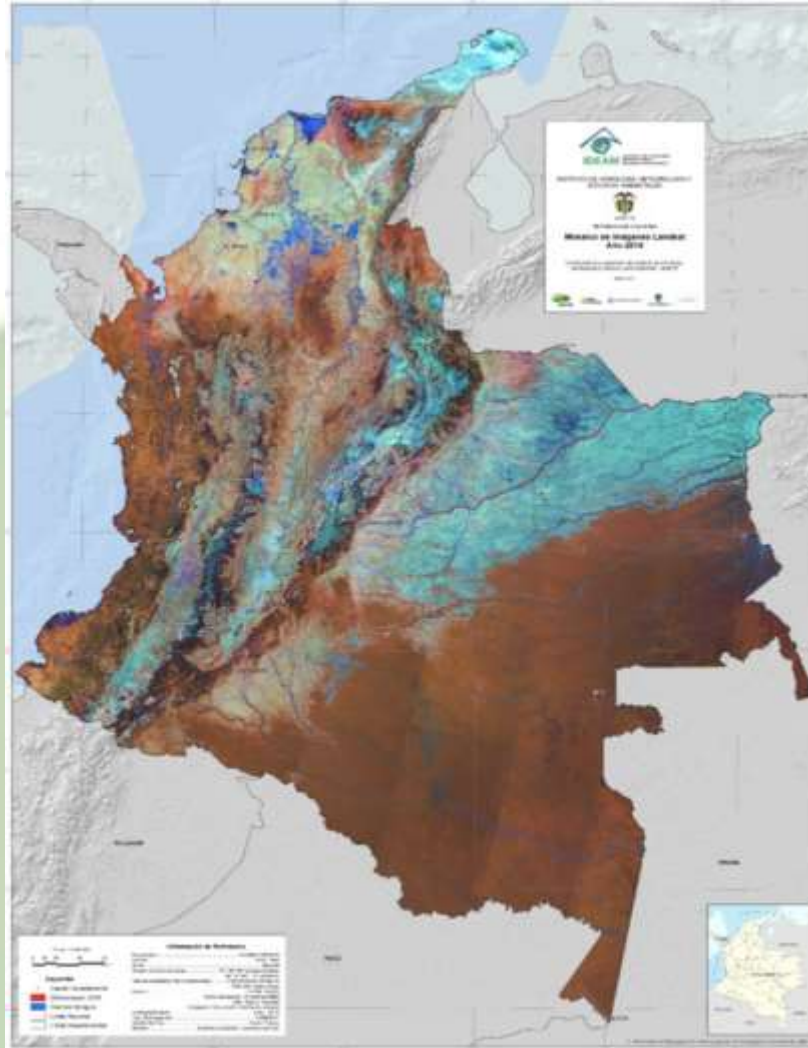
e. Paso 5: normalización radiométrica

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>).

f. 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 4).

Figura 4. Mosaico de mediana de superficie de reflectancia año 2017, imágenes Landsat 7 y 8

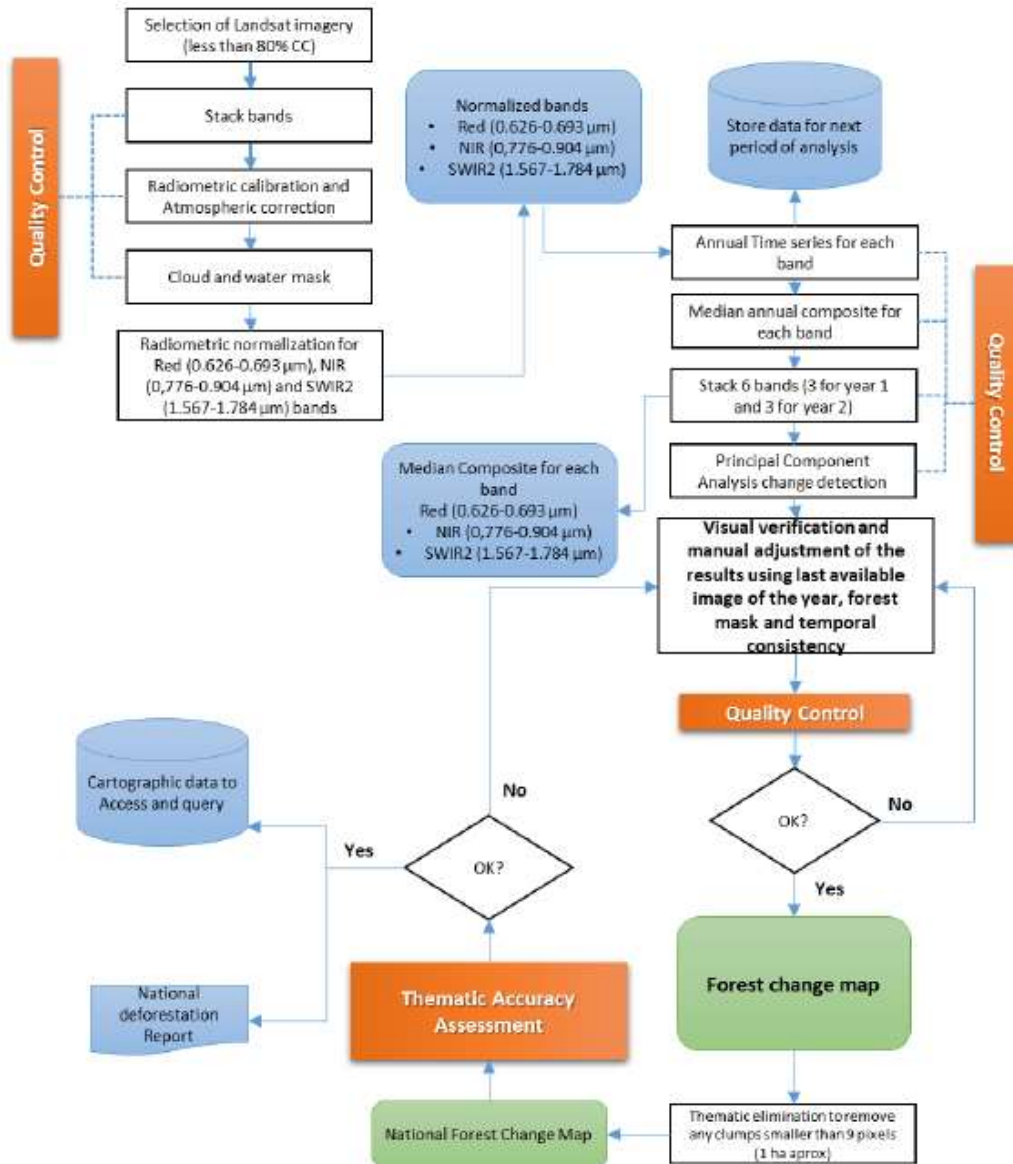


La construcción de estos compuestos para todo el país se realiza mediante herramientas propias desarrolladas en lenguaje de programación Python⁸. A pesar de que la utilización del compuesto de la mediana anual reduce las áreas sin información, también podría aumentar el error de omisión si el cambio 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

⁸ <https://smbyc.bitbucket.io/stackcomposed/>

que no fueron detectados utilizando el compuesto temporal de mediana⁹. La Figura 5 presenta el flujo de proceso.

Figura 5. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes V.2



8.4.1.2 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

⁹ Mayor información acerca del protocolo está disponible en: <https://tinyurl.com/ru3balg>.

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

a. 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 píxeles del compuesto temporal de medianas generado en el paso anterior, para luego realizar una reclasificación de los valores de los píxeles al valor de la clase correspondiente.

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

Para ajustar las áreas sin información detectadas para cada periodo de reporte, se aplica un análisis de series de tiempo con el cual se verifica la consistencia temporal. Para este proceso se tiene en cuenta la información del más reciente periodo de reporte y con ésta se ajustan las áreas sin información retrospectivamente para los otros periodos de reporte, como se presenta en la Figura 5.

b. 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

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 píxel 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.

c. 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.

8.4.1.3 Evaluación de 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 (GFOI)¹⁰. 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.

¹⁰https://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%20%2B%20Estimation&p_r_p_1316845383_MGD_CONCEPT=Uncertainty&fid=%2Fmgd%2F3.7#gfoi-mgd-content

- 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.

a. 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, 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}):

Ecuación 1. Cálculo de la proporción de área mapeada

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$W_i = \frac{A_{m,i}}{A_{tot}}$	Proporción del área mapeada.	Stehman, 2012

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:

Ecuación 2. Cálculo del tamaño de muestra

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (W_i S_i)}{S_0} \right]^2$	Tamaño de la muestra.	Cochran, 1977

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).

b. Paso 11: implementación del muestreo

La implementación del muestreo, al igual que la interpretación de los puntos de muestreo, se realiza en Acatama.

c. 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 SMyC. 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 6).

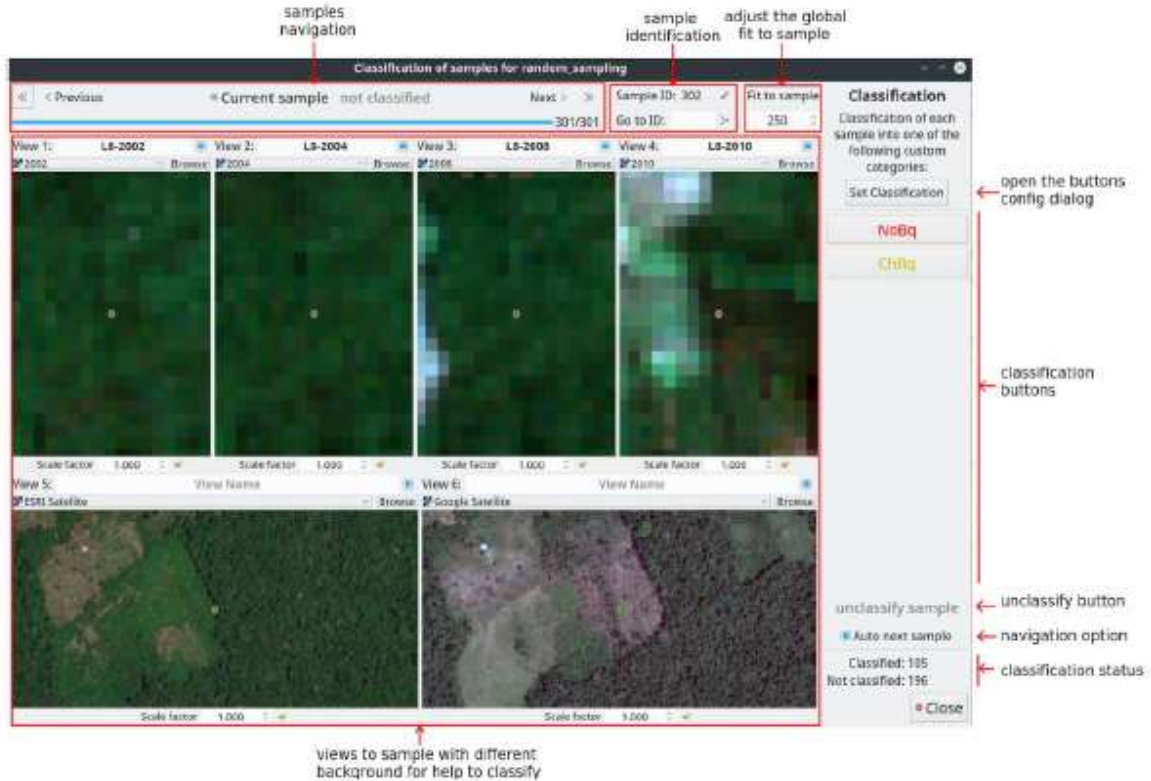
Como datos de referencia para la interpretación de los puntos de muestreo, se utilizan los compuestos de *mediana anual* y de *last pixel* de los datos de bosque y deforestación para el año de referencia se realiza mediante la construcción de los periodos a verificar y de los periodos anteriores y posteriores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

d. 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 6. Ventana de interpretación de los puntos de muestreo en el aplicativo qGIS Acatama



8.4.1.4 Cálculos y reportes

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

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

Después de la generación de cada período de monitoreo de la deforestación, se realiza un análisis de consistencia de la serie temporal, en el que se comprueba que, para cada uno de los píxeles marcados como deforestación, ese mismo píxel no se ha marcado en los períodos 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.

Debe señalarse que para el presente NREF, se mejoraron los procedimientos de control de calidad respecto a lo señalado previamente. Se efectuó una revisión para el periodo de referencia (2013 – 2022) y se efectuaron los ajustes correspondientes, asegurando que los pixeles fueran clasificados como bosque o deforestado con lo cual se garantiza la consistencia en la serie temporal analizada. Lo anterior condujo a un ajuste en las cifras que fueron presentadas en el NREF anterior y que se hacen evidentes a partir del año 2013 tal como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Monitoreo de datos de actividad de deforestación (Cambio en la superficie de bosque – CSB) para la construcción del nivel de referencia de emisiones forestales

Período de análisis	CSB Nacional (ha/año)	CSB Bioma Amazonía (ha/año)	CSB Bioma Andes (ha/año)	CSB Bioma Caribe (ha/año)	CSB Bioma Orinoquia (ha/año)	CSB Bioma Pacífico (ha/año)
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	116.127	67.243	24.331	11.803	8.026	4.725
2014	137.312	63.898	32.172	18.152	9.759	13.331
2015	123.834	56.960	29.156	16.462	9.107	12.149
2016	177.738	69.772	45.446	24.368	9.351	28.799
2017	219.488	143.992	36.621	15.657	9.851	13.366
2018	197.105	138.140	28.080	11.363	12.070	7.452
2019	158.840	98.228	25.199	12.785	8.511	14.117
2020	171.691	109.285	28.971	12.934	8.240	12.260
2021	174.068	112.878	29.894	9.542	8.349	13.404
2022	123.452	71.129	22.153	10.489	6.382	13.299
Promedio 2001-2022	150.276	87.694	27.109	15.376	10.138	9.958
Promedio 2013-2022	159.966	93.153	30.202	14.356	8.965	13.290

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 – 2022 a nivel nacional y regional.

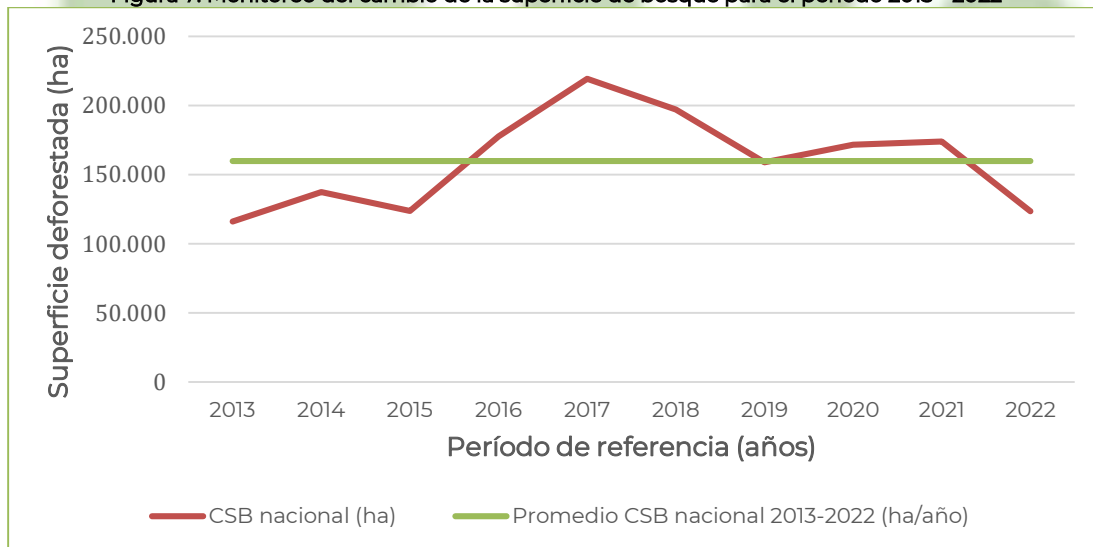
a. Cambio en la superficie cubierta por bosque (CSB)

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 2013 – 2022 (anualizados) constituyen los datos de actividad necesarios para la construcción del NREF (Tabla 1)¹¹. La información para el periodo de referencia será desagregada en dos datos de actividad para deforestación en virtud del enfoque metodológico adoptado para la estimación de la degradación tal como se explicará en el siguiente numeral. Dicha desagregación se detalla en el apartado de los factores de emisión por deforestación.

Los resultados de monitoreo de datos de actividad evaluados permiten identificar que para el periodo de referencia (2013 – 2022) la deforestación fue de 159.966 ha/año a nivel nacional (Figura 7). A nivel de biomas y en términos absolutos, se mantiene la tendencia identificada en el anterior NREF en donde la Amazonía y el bioma Andino concentran las mayores superficies deforestadas, mientras que el promedio más bajo es observado para la Orinoquía.

Figura 7. Monitoreo del cambio de la superficie de bosque para el período 2013 - 2022



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

8.4.2 Aspectos metodológicos para la generación de datos de actividad por degradación forestal

Al igual que para deforestación, el SMyC empleó el mismo protocolo indicado en el numeral 8.4.1 para el procesamiento digital de imágenes con el objetivo de generar información sobre la distribución, extensión y cambios en la cobertura boscosa, tomando como base varios de los productos generados en el monitoreo de la deforestación. A continuación, se describe la metodología propuesta para la estimación de la degradación a nivel nacional.

8.4.2.1 Datos empleados para la estimación de la degradación forestal

Para la estimación de la degradación se emplearon como insumos las capas de *cambio de la superficie de Bosque* y de *Bosque - No Bosque* nacionales elaboradas por el Grupo de procesamiento digital de imágenes del SMyC del IDEAM para los periodos anuales 2013-2022. A estas capas se les realizaron correcciones de consistencia temporal y ajuste de áreas sin información.

8.4.2.2 Definición de distancia al borde y pre-procesamiento de la información

a. Definición de distancia al borde

La distancia al borde del bosque está relacionada con la distancia a la cual son perceptibles, de manera significativa, los llamados “efectos de borde”. Entre ellos destacan efectos negativos en la composición, la retención de nutrientes, la productividad, las dinámicas tróficas, el microclima y la biomasa. Existen diversas aproximaciones metodológicas respecto a la definición de la distancia de borde. En un estudio previo realizado por el IDEAM (2018) la distancia de borde fue definida a través de la combinación de datos provenientes de una capa de biomasa y diferentes distancias al borde del bosque (50, 100, 120, 200, 250, 300, 350 y 400 m.) y se evaluó a qué distancia las diferencias en los contenidos promedio de biomasa era significativa. En tal estudio se encontró que las ecuaciones de regresión lineal fueron significativas para todas las distancias evaluadas. No obstante, debido a que los valores de R-cuadrado y de AIC no presentaron variaciones significativas al aumentar la distancia de borde, se seleccionó la mínima distancia (100 m) que presentó diferencias significativas en la biomasa aérea entre las clases de fragmentación (Ramírez-Delgado *et al.*, 2018).

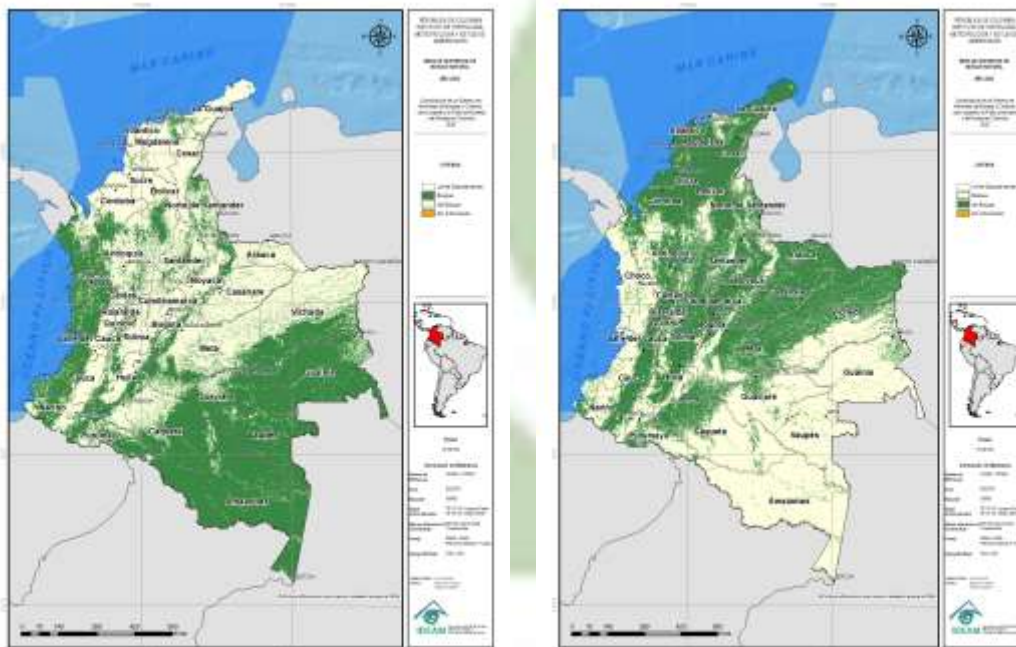
En adición a lo anterior, autores como Shapiro *et al.* (2020) realizaron estudios para evaluar el estado de conservación de los ecosistemas forestales aplicando el concepto de morfología con una distancia de borde de 300 metros. Así mismo, Molinario *et al.* (2017) estudiaron la dinámica de la cubierta forestal de la agricultura migratoria en la República Democrática del Congo desde el 2000 al 2010 aplicando una distancia de borde de 240 metros. Estos estudios utilizaron como insumo los sensores remotos para evaluar, ya sea de manera directa o indirecta, los efectos que sobre la vegetación tiene la cercanía al borde. En general se plantea que dichos efectos son observables a distancias que oscilan en el rango entre los 100 y los 300

metros. En este estudio se opta por utilizar una distancia de 120 metros en concordancia con dichos estudios y como una medida preventiva para evitar la sobre-estimación de las áreas degradadas.

e. Pre-procesamiento de la información

Las capas anuales de cobertura de bosque (*Bosque no Bosque*) empleadas en el estudio fueron ajustadas para poder ser procesadas con el algoritmo MSPA de la siguiente manera: *i)* recodificación de modo que las áreas de bosque se encontrarán en el primer bit y las áreas de no bosque en el segundo (Figura 8); *ii)* se ajustaron las capas para que su tipo de dato correspondiera a “4-bit”; *iii)* ajuste en la consistencia de la serie, reduciendo las áreas sin información y así también reducir el impacto que tiene el *no dato* en el modelo; *iv)* asegurar un adecuado corregistro entre todos los datos de la matriz histórica de la superficie continental e insular de San Andrés y Providencia tomando en cuenta todos los píxeles de 30,72 X 30,26 m en el sistema de proyección Magna SIRGAS y, *v)* ajuste de las áreas marcadas dos veces en la serie como deforestación.

Figura 8. Superficie de bosque natural original – superficie de bosque natural recategorizado



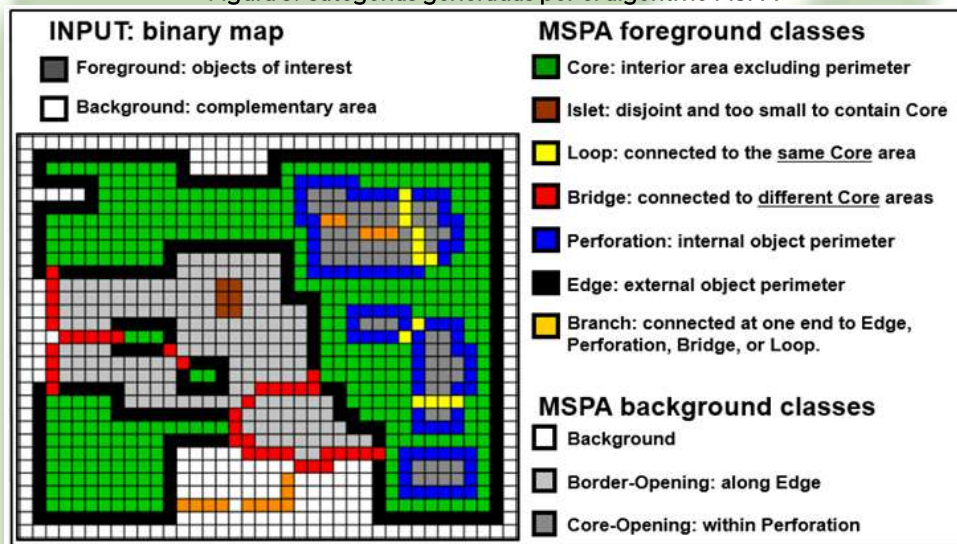
8.4.2.3 Procesamiento

a. Post estratificación

El algoritmo MSPA fue ejecutado a nivel nacional con los siguientes parámetros: conectividad: 8, ancho de borde: 4 píxeles (120 metros), transición: 1 e intext (fondo):

1. Los mapas binarios de *Bosque - no Bosque* fueron analizados con filtros morfológicos para derivar siete categorías morfológicas de los bosques que representan patrones espaciales diferentes (Figura 9): 1) *Núcleo* (core), área interior excluyendo el perímetro; 2) *Isla* (Islet), pequeños parches desconectados y muy pequeños como para contener áreas núcleo; 3) *Bucle* (Loop), áreas borde que conectan una misma área de núcleo; 4) *Puente* (Bridge), áreas de borde conectando diferentes núcleos; 5) *Perforación* (Perforation), objeto perimetral interno, aperturas internas en bosques núcleo; 6) *Borde* (Edge), objeto perimetral externo; 7) *Rama* (Branch), áreas que conectan al final de un Borde Puente o Bucle (Figura 9).

Figura 9. Categorías generadas por el algoritmo MSPA



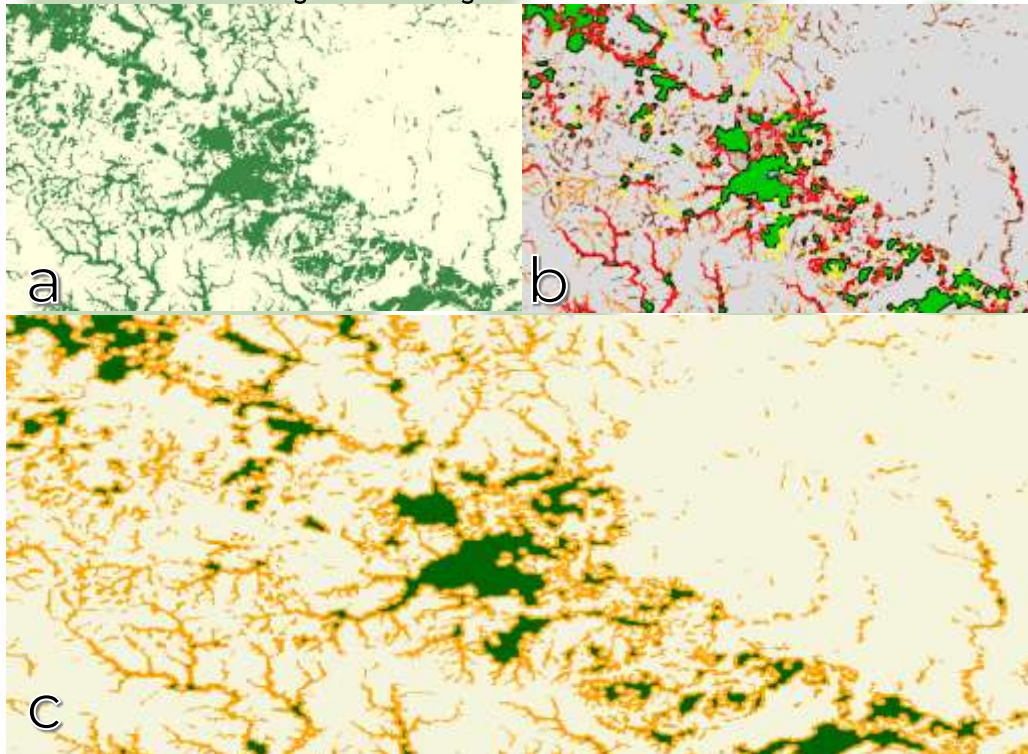
Sin embargo, en vista que los datos del Inventario Forestal Nacional recolectados, procesados y disponibles hasta el momento no son suficientes para obtener un dato representativo para cada una de las clases generadas por el algoritmo MSPA, y que adicionalmente en la literatura científica es usual emplear un número bajo de clases (CLEAR, 2023), a las siete categorías originales generadas por el MSPA se les realizó una post-estratificación de modo que se obtuvieron dos categorías: bosque núcleo y bosque borde. El primero representa todas aquellas áreas de bosque que pueden considerarse intactas. Mientras que el segundo (bosque de borde) son todas las áreas con algún tipo de efecto borde y se encuentran a menos de 120 m de un disturbio. (Tabla 2).

Tabla 2. Re categorización MSPA

Clase Original MSPA	Recategorización
Núcleo	Bosque Núcleo
Isla	Bosque Borde
Bucle	Bosque Borde
Puente	Bosque Borde
Perforación	Bosque Borde
Borde	Bosque Borde
Rama	Bosque Borde

Con relación a lo anterior, la Figura 10 muestra la secuencia desde el mapa de superficie de bosque (a), pasando por el resultado del algoritmo MSPA con todas sus clases (b), para que luego se puedan agrupar en **Bosque Núcleo** (verde), **Bosque Borde** (naranja) y **No Bosque** (beige) (c).

Figura 10. Re-categorización MSPA a tres clases

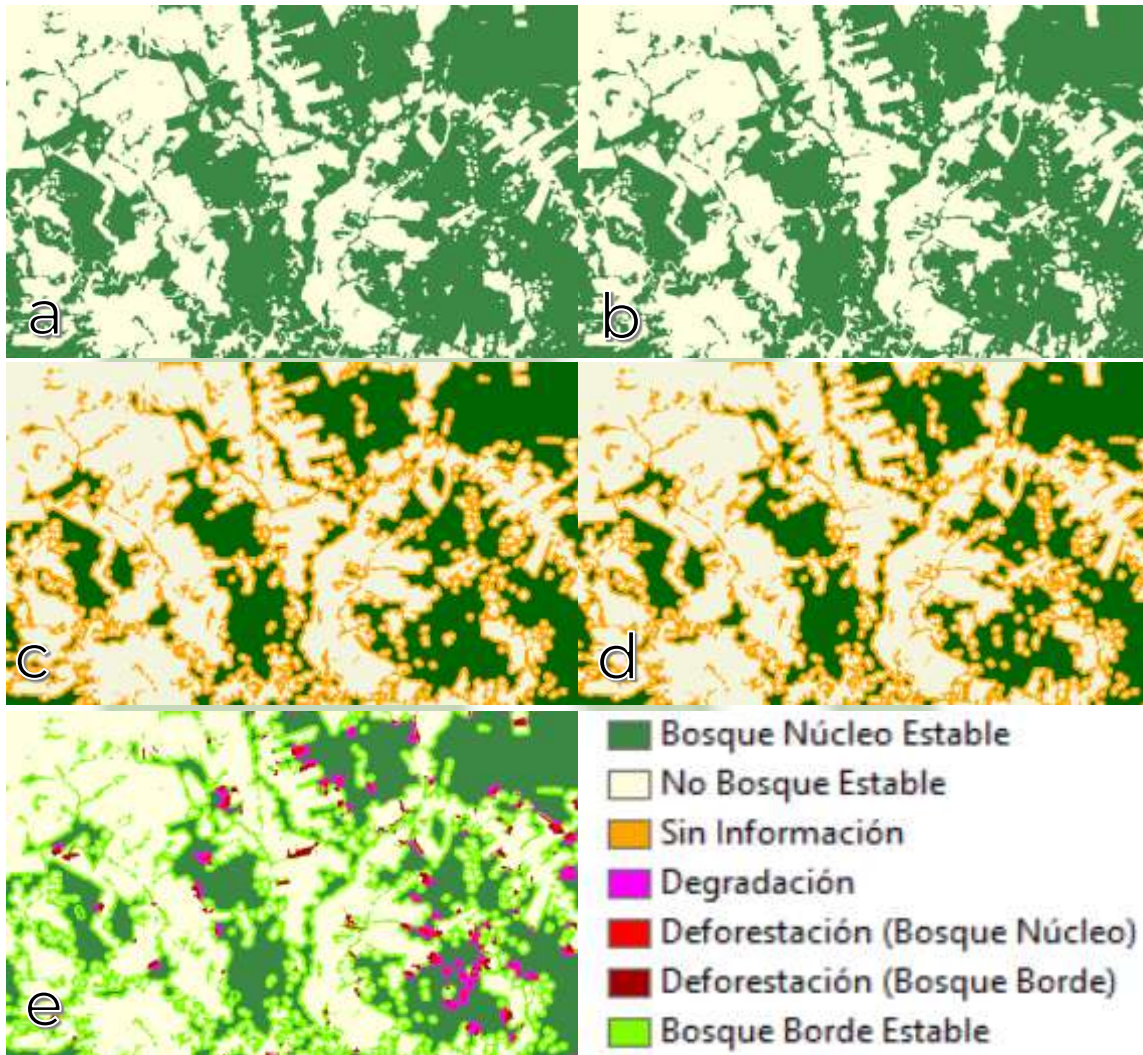


8.4.2.4 Cuantificación de áreas de cambio

Para la cuantificación de las áreas de cambio por degradación se tuvieron en cuenta sólo aquellas áreas que presentaron cambio de Bosque núcleo a Bosque borde. La cuantificación de estos cambios se realizó entre pares de años consecutivos; es decir, 2012 – 2013, 2013-2014, 2014-2015 y así sucesivamente hasta cubrir la totalidad del periodo de

análisis. En la Figura 11 se muestra la detección de cambios donde (a) y (b) son los insumos (superficie de bosque), (c) y (d) los resultados luego ejecutar el algoritmo MSPA y (e) la identificación de cambios teniendo en cuenta la degradación y deforestación en núcleo y borde.

Figura 11. Identificación de cambios en la superficie de bosque (deforestación y degradación)



8.5 FACTORES DE EMISIÓN

El presente NREF contiene mejoras técnicas en lo que corresponde a sus factores de emisión en virtud a un mayor número de unidades muestrales incluidas en comparación con su antecesor y a la inclusión de un nuevo depósito de carbono tal como se indicó en el numeral 6. Estos factores de emisión proceden de la información recopilada en el marco de la implementación del inventario forestal nacional (IFN) (IDEAM, 2023). Para tal

efecto, fueron analizados 953 unidades (conglomerados) que corresponde al 64,4% del tamaño muestral del IFN, lo que implicó un incremento de la muestra de más del 300% en comparación de los 303 conglomerados que fueron considerados para el anterior NREF¹².

El Inventario Forestal Nacional de Colombia, está basado en un diseño geoestadístico y en una metodología estandarizada para la toma de datos en campo. El tipo de muestreo empleado en el IFN es probabilístico, post-estratificado y de conglomerado de áreas. El diseño muestral planteado en el IFN corresponde a un Muestreo Aleatorio Simple de Conglomerados (MASC) y la selección de los puntos de muestra (conglomerados), se realiza a través de un marco geoestadístico (MGE) que permite identificar el universo de estudio y el espacio geográfico en el que estos se encuentran, lo que posibilita a su vez definir el acceso a estos puntos y apoyar la planificación y desarrollo del operativo de campo, y sobre el cual se realizan los análisis estadísticos necesarios para el proceso (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023).

8.5.1 Origen y tratamiento de los datos de campo

La unidad de muestreo en campo corresponde a un conglomerado, consistente en un arreglo en cruz de cinco (5) parcelas circulares de 0,707 hectáreas cada una, dispuestas en cruz y distanciadas entre los centros de cada subparcela en 80m; así, se tiene un área total de 0,3535 hectáreas por conglomerado.

Para el cálculo de tamaño de muestra, fueron probadas tres variables que el IFN consideró las técnicamente más importantes; las cuales corresponden a el diámetro normal a 1,30 m (DAP), el área basal (AB) y el volumen, para lo cual fue empleado la siguiente fórmula:

Ecuación 3. Cálculo del tamaño de muestra

ECUACION	DESCRIPCION
$n = \frac{S^2}{y_u^{-2}cve^2 + \frac{S^2}{N}}$	Calculo del tamaño de muestra
$S^2 = \sigma^2 DEFF$	Cuadrado de la desviación estándar
Parámetros y descriptores: n= tamaño de la muestra S= desviación estándar σ^2 = varianza de la variable guía (volumen, área basal, DAP) y_u^{-2} = media de la variable guía (volumen, área basal, DAP) N = tamaño poblacional (total de conglomerados teóricos equivalente a 322.657.672) DEFF = efecto del diseño, relación entre la varianza del diseño propuesto MASC y el MAS (en este caso equivale a 1,5). cve = error muestral (en este caso se propusieron tres escenarios = 5%, 6% y 7%)	

Con base en lo anterior, se establecieron tres escenarios de muestra según como se indica en la Tabla 3:

¹² Ver numeral 7.4.1 del NREF 2018 – 2022. Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf

Tabla 3. Escenarios de tamaño de muestra

VARIABLE	cve=5%	cve=6%	cve=7%
Volumen (m ³)	1.479	1.027	754
Área basal (m ²)	562	390	287
DAP (cm)	559	389	286

Fuente: IDEAM, 2023

A partir de lo anterior, se optó por trabajar con la variable volumen y un error de muestreo (cve) del 5%, lo cual arrojó un tamaño de muestra de 1.479 conglomerados. Esta muestra fue distribuida de manera proporcional para cada una de las regiones naturales (biomas) que conforman el territorio nacional con base en su extensión superficial (Tabla 4).

Tabla 4. Tamaños de muestra por región

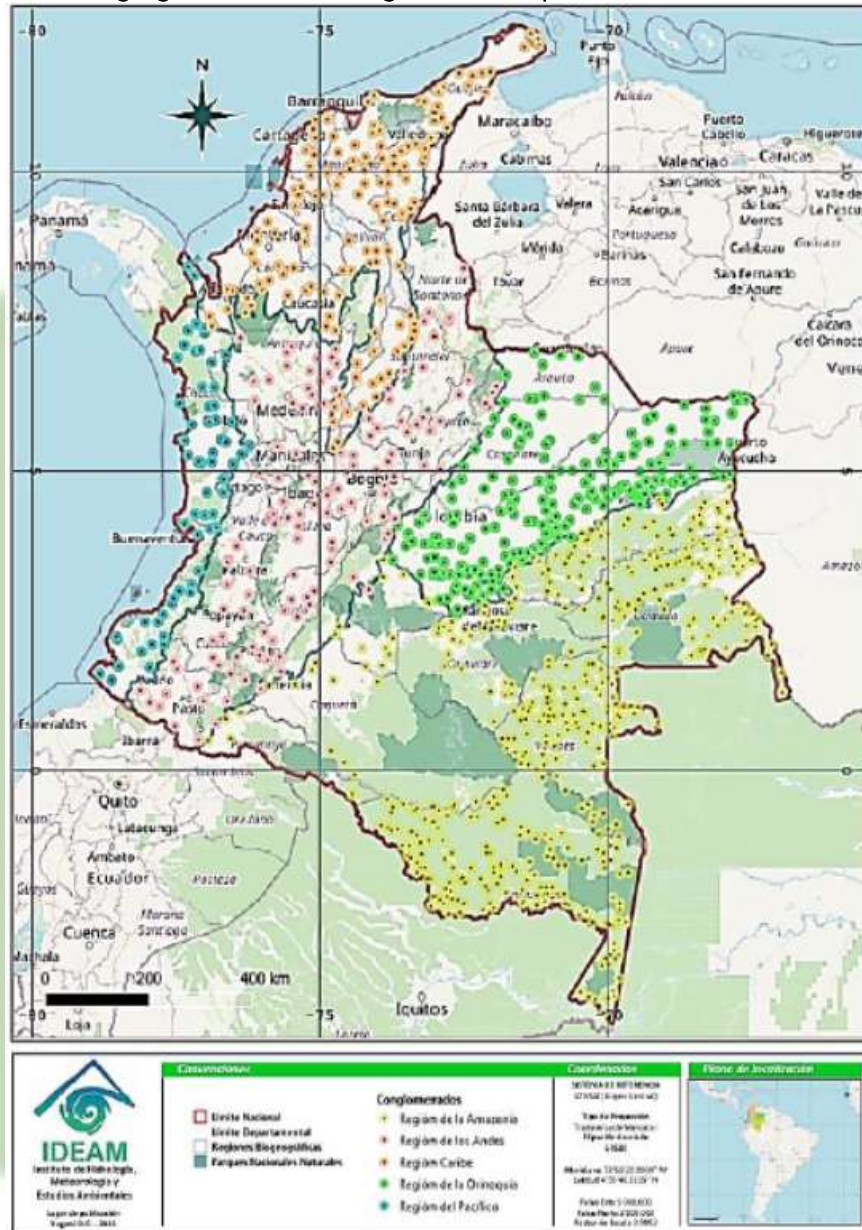
BIOMA	TAMAÑO MUESTRAL
Amazonía	595
Andes	379
Caribe	200
Orinoquía	218
Pacífico	87
TOTAL	1.479

Fuente: IDEAM, 2023

En la Figura 12 se puede visualizar la distribución de los 953 conglomerados considerados para la actualización de los factores de emisión para cada bioma.

En el documento “*Cálculo de los factores de emisión para los sumideros forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y detritos de madera, a partir de los datos del inventario forestal nacional*” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023), se efectúa una detallada explicación de la metodología utilizada para calcular los contenidos de biomasa y carbono de los bosques nacionales, lo que incluye los procedimientos de preparación de los datos previos a su análisis estadístico como la limpieza de datos, validación de la información botánica, post-estratificación, estimadores, factores de expansión y calibración de datos. Para efectos de comprender el origen de los factores de emisión, en el presente documento se hace énfasis en los procedimientos metodológicos utilizados para determinar los contenidos de carbono en cada uno de los depósitos considerados, los cuales también pueden ser consultados con mayor detalle en la publicación previamente señalada.

Figura 12. Ubicación geográfica de los 953 conglomerados implementados en la fase 2015 – 2022 del IFN



Fuente: IDEAM, 2023

8.5.2 Cálculos dasométricos, de suelo y detritos de madera

A cada uno de los individuos registrados en los conglomerados se les midió el diámetro normal a 1.3 m de su altura, y en caso de que el punto de observación de la medida (POM) se hubiese tomado a otra altura en presencia de algún tipo de irregularidad, se estima el diámetro normal a través del factor de reducción diamétrica (FRD), por medio del cual se

cuantifica la tasa de cambio del diámetro en función de la altura (Rojas & Murillo, 2000), descrito a continuación:

Ecuación 4. Cálculo del diámetro normal a partir del factor de reducción diamétrica (FRD)

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$FRD = \frac{d}{H - H_d}$	Factor de reducción diamétrica	Rojas & Murillo, 2000
$dap = d + (H_d - 1,3) * FRD$	Diámetro normal en función del FRD	Rojas & Murillo, 2000
Parámetros y descriptores: dap= diámetro normal a 1,30 metros de altura (m) d= diámetro del punto de observación de la medida (POM) (cm) H = altura total del árbol (m) H _d = altura de medición del diámetro del POM (m)		

A través del FRD se corrige el diámetro normal cuando el diámetro se toma a una altura diferente de 1,30m según se registra en campo el POM. Los diámetros tomados por encima del 1,30 m son menores que el diámetro normal, y diámetros tomados por debajo del 1,30 m son mayores que el diámetro normal, con base a lo anterior, el uso del FRD evita que se presenten subvaloraciones o sobrevaloraciones del área basal, al corregir el diámetro a su correspondiente diámetro normal.

En presencia de datos dendrométricos faltantes, tales como la densidad de la madera, el diámetro normal o la altura, se emplea un proceso de reemplazo con los datos disponibles, lo cual es común en inventarios de gran volumen de información, y obtenidos con diferentes operadores en campo. Si bien existen varios procedimientos para enfrentar los datos faltantes (*missing values*) a partir del análisis de datos completos (*listwise o case deletion* LD), datos disponibles (*pairwise deletion*), el método de medias o el *hot-deck*, en el presente estudio se empleó para la imputación de densidad de la madera el método de las medias a partir de la base de datos global (Chave *et al.*, 2009), y para los casos del diámetro normal y la altura total el modelo de Weibull.

En presencia de datos dendrométricos faltantes, tales como la densidad de la madera, el diámetro normal o la altura, se emplea un proceso de reemplazo con los datos disponibles, lo cual es común en inventarios de gran volumen de información, y obtenidos con diferentes operadores en campo. La imputación de la altura se lleva a cabo a los registros que no posean el dato del registro de la altura, o aquellos cuyo índice de esbeltez (H/dap) es menor de 0.1 y mayor de 3 (individuos de gran diámetro con una altura mínima, o viceversa, árboles con un diámetro mínimo con alturas de gran porte, respectivamente), para lo cual se emplea el modelo de *Weibull*, cuyos parámetros se diferencian por región y hábito de crecimiento (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023).

Ecuación 5. Cálculo de la altura total del árbol en función del diámetro normal (dap)

ECUACION	DESCRIPCION
$H = a * (1 - e^{-\left(\frac{dap}{b}\right)^c})$	Estimación de la altura en función del diámetro normal (dap).
Parámetros y descriptores: H = altura total del árbol (m) dap= diámetro normal a 1,30 metros de altura (cm) a, b, c = parámetros del modelo Weibull	

El modelo asintótico de Weibull fue aplicado de manera independiente para los cinco biomas que comprenden el territorio nacional y se utilizó en la modelación de las tres tipologías vegetales analizadas (hábitos) cuyos resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros del modelo Weibull por región y hábito de crecimiento

REGION	HABITO	a	b	c	RMSE
Amazonía	Árbol	34,5414	25,5499	0,8046	4,95
Andes	Árbol	26,8997	23,1378	0,7186	8,52
Caribe	Árbol	24,3373	17,4191	1,0088	9,69
Orinoquía	Árbol	28,2888	42,0292	0,6406	3,47
Pacífico	Árbol	33,1362	12,7095	0,7617	11,71
Nacional	Helecho arbóreo o palma	12,3982	7,4202	1,9910	6,46
Parámetros y descriptores: a/b/c: parámetros del modelo Weibull RMSE: Raíz del error cuadrático medio					

Fuente: IDEAM, 2023

La estimación de la biomasa aérea de los árboles se obtuvo a través del modelo de Chave *et al.* (2014) tal como se presenta en la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Biomasa aérea por árbol

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$AGB = 0,0673 * (dap^2 * H * \rho)^{0,976}$	Biomasa aérea por árbol	Chave <i>et al.</i> , 2014
Parámetros y descriptores: AGB = biomasa aérea (kg) dap= diámetro normal a 1,30 metros de altura (cm) H = altura total del árbol (m) P = densidad básica de la madera (g*cm ⁻³)		

Dado que el rango de aplicabilidad de dicha ecuación alométrica es de 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 su biomasa aérea.

Sin embargo, de igual manera se están registrando individuos con otros hábitos de crecimiento, tales como palmas y helechos arbóreos, para los cuales se hace uso de los siguientes modelos de biomasa (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023):

Ecuación 7. Biomasa aérea para palmas y helechos arbóreos

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$\ln(AGB) = 0,36 + 1,218 * \ln(H)$	Biomasa aérea para palmas	Sierra <i>et al.</i> (2007)
$AGB = 3,82H - 3,62$	Biomasa aérea para helechos	Weaver (2000)
Parámetros y descriptores: AGB = biomasa aérea (kg) H = altura total de la palma/helecho (m)		

Una vez se realizaron estimaciones agregadas por conglomerado, los valores fueron extrapolados a hectárea (Mg ha⁻¹). Con este último valor se estimó la biomasa subterránea (raíces) utilizando el modelo de Cairns *et al.* (1997):

Ecuación 8. Biomasa subterránea

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$\ln(BRG) = -1,085 + 0,9256 * \ln(AGB)$	Calculo de la biomasa subterránea	Cairns <i>et al.</i> (2007)
Parámetros y descriptores: BRG: biomasa subterránea (kg) AGB: biomasa aérea (kg)		

El carbono total (CT) fue derivado de la biomasa total, a partir de la suma de la biomasa aérea (AGB) y la biomasa subterránea (BRG) y multiplicándolo por la fracción del carbono contenida en la biomasa seca (0,47) como se indica en la siguiente fórmula:

Ecuación 9. Estimación del carbono total

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$CT = 0,47 * (AGB + BRG)$	Estimación del carbono total	Derivada de IPCC, 2006
Parámetros y descriptores: CT = carbono total (kg) BRG: biomasa subterránea (kg) AGB: biomasa aérea (kg)		

Los datos de carbono del suelo provienen de la recolección de cinco muestras por conglomerado. Cada muestra consiste aproximadamente de 400 g de suelo, extraídos a una profundidad entre 0-30 cm. Adicionalmente, se tomaron muestras 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), el cual representa la densidad promedio de todos los materiales presentes en el suelo.

Los contenidos de carbono en los suelos (COS) 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, obteniendo la cantidad de COS en kg ha⁻¹, o al dividirse este valor por 1000, la cantidad de Mg ha⁻¹ de COS (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2023).

La estrategia de muestreo de detritos de madera se ha diseñado en concordancia con el marco geoestadístico del Inventario forestal Nacional (IFN) utilizando como unidad mínima de muestreo cada conglomerado, el cual está compuesto por cinco (5) subparcelas forestales anidadas a un centroide, dentro de estas 5 subparcelas se realiza el muestreo en dos (2) subparcelas ubicadas en el norte y sur del conglomerado, donde en transectos de 30 metros de longitud, cuatro (4) por cada una, se realiza el respectivo muestreo de detritos (IDEAM, 2021).

Dentro de este enfoque de muestreo exhaustivo, se realiza la evaluación detallada de diversos tipos de detritos, abarcando desde los fragmentos más pequeños de madera, clasificados como detritos finos de madera (DFM), hasta los trozos más voluminosos, denominados detritos gruesos de madera (DGM).

El muestreo de detritos de madera (DM) permite estimar la necromasa contenida en árboles muertos en pie (AMP), tocones muertos (TM) y detritos de madera sobre el suelo (DMS), que consisten en árboles y ramas caídas; Los MP y TM son medidos al interior de cada uno de los conglomerados. En el caso de los DMS, representados por las categorías de detritos finos (DFM; diámetro < 20 cm) y gruesos (DGM; diámetro \geq 20 cm), el muestreo se realizó en dos subparcelas cada conglomerado. Para ello, en cada una de las subparcelas se establecieron cuatro (4) transectos de 30 m de largo cada uno (equivalentes a dos de 60 m cada uno), divididos en secciones de 10 m. Una explicación con mayor nivel de detalle respecto del enfoque metodológico usado para cuantificar los detritos de madera puede ser consultado en Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2023).

8.5.3 Reservas de biomasa y carbono en ecosistemas boscosos de Colombia

Con base en el análisis de los datos recolectados de los 953 conglomerados considerados para el presente NREF, se obtuvieron los resultados que se presentan en las tablas subsiguientes desagregadas para cada bioma y por cada depósito de carbono.

La biomasa aérea presentó valores desde 83,07 t/ha para el caso de la Orinoquía hasta 246,52 t/ha para el caso de la Amazonía. La biomasa subterránea fluctuó entre 17,60 t/ha para Caribe hasta 51,01 t/ha para Amazonía. La biomasa total (aérea y subterránea sumadas) presentó valores desde 101,59 t/ha en la Orinoquía hasta 297,53 t/ha en la Amazonía (Tabla 6).

Tabla 6. Cantidad de biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma

REGION	ESTRATO	BIOMASA AEREA ^(a) (t.ms/ha)			BIOMASA SUBTERRANEA (t.ms/ha)			BIOMASA TOTAL (t.ms/ha)		
		se	cve		se	cve		se	cve	
Amazonía	B	246,52	3,93	1,60	51,01	0,75	1,47	297,53	4,68	1,57
Andes	B	86,38	7,40	8,56	19,01	1,54	8,11	10,39	8,93	8,48
Caribe	B	82,42	9,75	11,83	17,60	1,89	10,74	100,02	11,63	11,63
Orinoquía	B	83,07	4,80	5,77	18,51	1,00	5,38	101,59	5,79	5,70
Pacífico	B	226,86	35,95	15,85	45,98	6,54	14,22	272,85	42,46	15,56

Parámetros y descriptores
 se: desviación estándar
 cve: coeficiente de variación
 (a) La biomasa aérea fue calculada para individuos con dap \geq 5 cm

Fuente: IDEAM, 2023

En la Tabla 7 se presentan los contenidos de carbono para los depósitos de la biomasa aérea, subterránea y total que resultan de multiplicar los valores de la Tabla 5 por la fracción de carbono presente en la biomasa seca (0,47).

Tabla 7. Carbono almacenado en la biomasa aérea, subterránea y total calculada por bioma

REGION	ESTRATO	BIOMASA AEREA (tC/ha)			BIOMASA SUBTERRANEA (tC/ha)			BIOMASA TOTAL (tC/ha)		
		se	cve		se	cve		se	cve	
Amazonía	B	115,87	1,85	1,60	23,97	0,35	1,47	139,84	2,20	1,57
Andes	B	40,60	3,48	8,56	8,93	0,72	8,11	49,53	4,20	8,48
Caribe	B	38,74	4,58	11,81	8,27	0,89	10,74	47,01	5,47	11,63
Orinoquía	B	39,04	2,25	5,77	8,70	0,47	5,38	47,75	2,72	5,70
Pacífico	B	106,62	16,90	15,85	21,61	3,07	14,22	128,24	19,96	15,56

Parámetros y descriptores
se: desviación estándar
cve: coeficiente de variación

Fuente: IDEAM, 2023

Los resultados de los contenidos de carbono orgánico del suelo (COS) en los ecosistemas forestales nacionales y desagregados por bioma, se presentan en la Tabla 8. Estos contenidos de carbono variaron entre 21,53 t/ha en el bioma de la Amazonía hasta 94,17 t/ha en el bioma Andino. Para efectos de la construcción del factor de emisión, la cifra de COS reportada para cada bioma es dividida por 20, en consideración a la presunción adoptada por el país en lo que corresponde a la permanencia del carbono en el suelo con posterioridad al evento de deforestación. Acogiendo las directrices del IPCC (2006), se asume la pérdida gradual del contenido de carbono edáfico en un marco temporal de 20 años.

Tabla 8. Carbono orgánico del suelo (COS) acumulado en los ecosistemas boscosos de Colombia

REGION	ESTRATO	COS (Mg ha ⁻¹)	se	cve	COS diferido ^(a) (Mg ha ⁻¹)
Amazonía	B	21,53	1,60	7,45	1,07
Andes	B	94,17	10,60	11,26	4,70
Caribe	B	42,17	5,14	12,19	2,10
Orinoquía	B	34,73	2,99	8,62	1,73
Pacífico	B	88,20	23,55	26,71	4,41

Parámetros y descriptores
se: desviación estándar
cve: coeficiente de variación
(a) Cambio anual en las existencias de carbono del suelo para un periodo de 20 años por deforestación.

Fuente: IDEAM, 2023

Una nueva mejora técnica que incorpora el presente NREF, tiene que ver con la inclusión de un nuevo depósito de carbono, en este caso, los detritos de madera que se suman a los depósitos de biomasa aérea, biomasa subterránea y carbono orgánico del suelo. En el marco de ejecución del IFN, se efectuó la medición de tres componentes de la necromasa forestal: árboles muertos en pie (AMP)¹³, detritos gruesos de madera (DGM) y detritos finos

¹³ Incluye tocones muertos.

de madera (DFM)¹⁴ (Tabla 9). El contenido de carbono en los detritos de madera fluctuó de un valor máximo de 10,8 tC/ha para el bioma de la Amazonía hasta un valor mínimo de 2,62 tC/ha para el bioma Caribe, los cuales se encuentran dentro del rango reportado por diferentes investigaciones adelantadas en ecosistemas tropicales (Palace *et al.*, 2012)¹⁵.

Tabla 9. Contenidos de carbono en los diferentes componentes de los detritos de madera

REGION	ESTRATO	AMP y TM (tC/ha)			DETritos FINOS (tC/ha)			DETritos GRUESOS (tC/ha)		
		se	cve		se	cve		se	cve	
Amazonía	B	5,19	0,25	4,72	2,58	0,18	6,94	3,03	0,24	7,96
Andes	B	1,83	0,43	23,61	1,09	0,28	26,13	0,39	0,19	48,25
Caribe	B	1,43	0,33	23,43	0,85	0,28	33,33	0,49	0,19	39,37
Orinoquía	B	1,46	0,20	13,86	1,65	0,35	21,34	1,63	0,34	20,88
Pacífico	B	2,63	1,04	39,71	0,06	0,02	36,53	1,18	0,36	30,75

Parámetros y descriptores:
 se: desviación estándar
 cve: coeficiente de variación
 AMP: árboles muertos en pie
 TM: tocones muertos

Fuente: IDEAM, 2023

8.5.4 Factores de emisión por deforestación

La conversión de tierras forestales a otro tipo de tierras implica la eliminación de la cobertura arbórea existente para dar paso a otro uso del suelo (deforestación). Esta conversión supone la pérdida del carbono contenido en la biomasa y en la necromasa en el momento en que ocurre el evento. En lo que respecta al carbono orgánico del suelo, su liberación se produce de manera gradual durante un periodo por defecto de 20 años, según las indicaciones del IPCC (2006).

Como un paso previo para adelantar el análisis de degradación forestal, las unidades muestrales (conglomerados), fueron intersectadas con las capas de degradación tomando en cuenta las coordenadas de la sub-parcela central de cada conglomerado categorizado en campo como *Bosque* con el objetivo de identificar cuántos de ellos corresponden con la clase *Bosque Núcleo* y cuantos con la clase *Bosque Borde*.

Adicionalmente, se efectuó una revisión adicional de los conglomerados junto con el grupo de profesionales del IFN orientada a identificar inconsistencias. Se pudo establecer que, de los 953 conglomerados establecidos por el IFN, tan solo 661 fueron emplazados en áreas que cumplen con la definición de bosque tal como se describe en el numeral 4 del presente reporte. Posteriormente, fue necesario llevar a cabo una post-estratificación de los bosques nacionales, subdividiéndolos en *bosque núcleo* (intactos) y *bosque borde*

¹⁴ El protocolo de medición de los detritos de madera puede ser consultado con mayor nivel de detalle en el documento “*Cálculo de los factores de emisión para los sumideros forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y detritos de madera, a partir de los datos del inventario forestal nacional*” (IDEAM, 2023).

¹⁵ Mediante recopilación de información procedente de fuentes secundarias, Palace et al.(2012) constataron variaciones en la cantidad de necromasa leñosa en diferentes tipos de bosque tropical y con diferentes grados de intervención con valores que fluctuaban entre 0,7 t/ha hasta más de 178 t/ha.

(degradados) tal y como fue detallado en el numeral 8.4.2. Con base en esta post-estratificación, se ajustaron los valores de biomasa aérea procedentes del IFN para cada bioma a partir de los valores promedio derivados de los conglomerados que pertenecían a cada estrato de bosque cuyos resultados se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Biomasa aérea por hectárea en bosques estratificados (núcleo y borde) para todos los biomas

REGION	BOSQUE NUCLEO (t.ms/ha)	BOSQUE BORDE (t.ms/ha)
Amazonía	263,70	150,50
Andes	143,90	70,50
Caribe	189,50	68,20
Orinoquía	128,60	81,70
Pacífico	251,40	209,60

La biomasa subterránea fue hallada por bioma y para cada estrato de bosque aplicando la Ecuación 8 a partir de los datos de la Tabla 10, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 11. Biomasa subterránea por hectárea en bosques estratificados (núcleo y borde) para todos los biomas

REGION	BOSQUE NUCLEO (t.ms/ha)	BOSQUE BORDE (t.ms/ha)
Amazonía	58,70	34,80
Andes	33,40	17,20
Caribe	42,60	16,60
Orinoquía	30,10	19,70
Pacífico	55,60	46,90

La biomasa total es calculada como la suma de la biomasa aérea y la subterránea para cada estrato de bosque y para cada bioma como se muestra en la Tabla 12:

Tabla 12. Biomasa total para cada estrato de bosque y por bioma

REGION	ESTRATO	BIOMASA AEREA (t.ms/ha)	BIOMASA SUBTERRANEA (t.ms/ha)	BIOMASA TOTAL (t.ms/ha)
Amazonía	BN	263,70	58,70	322,40
	BB	150,50	34,80	185,30
Andes	BN	143,90	33,40	177,30
	BB	70,50	17,20	87,70
Caribe	BN	189,50	42,60	232,10
	BB	68,20	16,60	84,80
Orinoquía	BN	128,60	30,10	158,70
	BB	81,70	19,70	101,40
Pacífico	BN	251,40	55,60	307,00
	BB	209,60	46,90	256,50

Parámetros y descriptores
 BN: bosque núcleo (intacto)
 BB: bosque borde (degradado)

Dado que la deforestación se puede presentar tanto para *bosques núcleo* (intactos) como *bosques borde* (degradados), los factores de emisión deben considerar la pérdida de la

biomasa total en ambos estratos, así como la pérdida de los detritos de madera que se encuentran en dichos bosques. Bajo estos supuestos y considerando la información procedente de las Tablas 9 y 12, se definen los contenidos de carbono por cada estrato de bosque y para cada uno de los biomas que conforman el territorio nacional. Los valores de carbono de la biomasa total y los detritos de madera fueron sumados para obtener un valor unificado de carbono como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Estimación del carbono total contenido en cada estrato de bosque y desagregados por bioma

REGION	ESTRATO	BIOMASA TOTAL (t.ms/ha)	CARBONO EN BIOMASA TOTAL (tC/ha)	CARBONO EN DETRITOS ^(a) (tC/ha)	CARBONO TOTAL ^(b) (tC/ha)
Amazonía	BN	322,20	151,43	10,80	16,23
	BB	196,27	92,24	10,80	103,04
Andes	BN	178,50	83,89	3,31	87,20
	BB	90,65	42,60	3,31	45,91
Caribe	BN	234,11	110,03	2,77	112,80
	BB	147,93	69,52	2,77	72,29
Orinoquía	BN	159,58	75,00	4,74	79,74
	BB	104,35	49,04	4,74	53,78
Pacífico	BN	302,40	142,12	3,87	145,99
	BB	290,59	136,57	3,87	140,44

Parámetros y descriptores:
 BN: bosque núcleo (intacto)
 BB: bosque borde (degradado)
 (a) El valor corresponde a la suma de los tres componentes que conforman los detritos de madera tal como se especifica en la Tabla 8.
 (b) No incluye carbono orgánico del suelo (COS).

El factor de emisión para cada estrato de bosque fue calculado a partir del carbono total, el cual fue convertido en toneladas de CO₂ equivalente al multiplicarlo por la relación estequiométrica entre el dióxido de carbono y el carbono elemental (44/12) como se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14. Factores de emisión para cada estrato de bosque y desagregados por bioma

REGION	ESTRATO	CARBONO TOTAL (tC/ha)	FACTOR DE EMISION POR DEFORESTACION (tCO ₂ /ha)
Amazonía	BN	162,23	594,84
	BB	103,04	377,81
Andes	BN	87,20	319,73
	BB	45,91	168,33
Caribe	BN	112,65	413,05
	BB	72,14	264,51
Orinoquía	BN	79,74	292,38
	BB	53,78	197,19
Pacífico	BN	145,99	535,29
	BB	140,44	514,94

8.5.5 Factores de emisión por degradación forestal

Para hallar los factores de emisión por degradación forestal, se apeló a la post-estratificación realizada a los ecosistemas forestales en *bosque núcleo* y *bosque borde* tal como fue explicado en el numeral anterior. El contenido de carbono de referencia para el cálculo del factor de emisión asume que:

- a) La biomasa aérea (BA) corresponde a la diferencia de los valores de biomasa aérea promedio calculados para cada estrato de bosque (núcleo y borde) por hectárea hallada para cada bioma, con base en la información derivada de los 661 conglomerados ubicados en área de bosque y desagregados en los estratos previamente referidos.
- b) La biomasa subterránea (BS) corresponde al valor hallado como la diferencia de los valores de biomasa subterránea calculada para cada estrato (bosque intacto y degradado) y bioma, conforme a la Ecuación 8.
- c) La materia orgánica muerta (detritos de madera) se presume en equilibrio dado que no es posible determinar las transferencias de carbono desde la biomasa aérea mediante la metodología adoptada, lo cual impide saber si estas existencias permanecen en el bosque o salen de él. En consideración de lo anterior, este depósito de carbono no será incluido como parte del análisis del factor de emisión puesto que se supone que los cambios en las existencias de los depósitos de carbono de la materia orgánica muerta son nulos (IPCC, 2006).
- d) Para el carbono orgánico del suelo (COS) se asume por defecto que no se modifica por la gestión y, por lo tanto, los cambios en las existencias son equivalentes a cero (IPCC, 2006). En virtud de esto, se excluye este depósito del análisis del factor de emisión por degradación forestal.

Con base en lo anterior, se determinó la pérdida de biomasa aérea por degradación forestal como la diferencia entre el promedio de la biomasa aérea del *bosque núcleo* y el promedio de la biomasa aérea del *bosque borde* tal como se ilustra en la Ecuación 10. Los resultados de esta operación se presentan en la Tabla 15.

Ecuación 10. Cambio en las existencias de biomasa aérea de bosque núcleo a bosque borde

ECUACION	DESCRIPCION
$\Delta BA_{bn-bb} = BA_{bn} - BA_{bb}$	Cambios en las existencias de biomasa aérea de Bosque núcleo (intacto) a Bosque borde (degradado)
Parámetros y descriptores: ΔBA_{bn-bb} = Cambio en las existencias de biomasa aérea de bosque núcleo a bosque borde (t.ms/ha) BA_{bn} = promedio de la biomasa aérea del bosque núcleo por hectárea (t.ms/ha) BA_{bb} = promedio de la biomasa aérea del bosque borde por hectárea (t.ms/ha)	

Tabla 15. Pérdida de biomasa aérea como parte del proceso de transición entre un *bosque núcleo* (intacto) y un *bosque borde* (degradado) para cada bioma

REGION	BIOMASA AÉREA BOSQUE NUCLEO (t.ms/ha)	BIOMASA AÉREA BOSQUE BORDE (t.ms/ha)	ΔBA_{bn-bb} (t.ms/ha)
Amazonía	263,70	150,50	113,20
Andes	143,90	70,50	73,40
Caribe	189,50	68,20	121,30
Orinoquía	128,60	81,70	46,90
Pacífico	251,40	209,60	41,80

Para calcular la pérdida de biomasa total por degradación, se parte de la presunción que, al eliminarse la biomasa aérea, también se pierde proporcionalmente una parte de la biomasa subterránea. Dicha pérdida se da en función de la ecuación propuesta por Cairns *et al.* (1997). En consideración de lo anterior, se calculó la biomasa subterránea para cada estrato de bosque y para cada bioma, aplicando la Ecuación 8 y, utilizando los valores promedios de biomasa aérea para *bosque núcleo* y *bosque borde* señalados en la Tabla 15. La pérdida de biomasa subterránea fue estimada como la diferencia entre los valores de biomasa subterránea hallados para cada uno de los estratos, tal como se indica en la Ecuación 11.

Ecuación 11. Cambio en las existencias de biomasa subterránea de bosque núcleo a bosque borde

ECUACION	DESCRIPCION
$\Delta BS_{bn-bb} = BS_{bn} - BS_{bb}$	Cambios en las existencias de biomasa subterránea de Bosque núcleo (intacto) a Bosque borde (degradado)
Parámetros y descriptores: ΔBS_{bn-bb} = Cambio en las existencias de biomasa subterránea de bosque núcleo a bosque borde (t.ms/ha) BS_{bn} = biomasa subterránea del bosque núcleo por hectárea (t.ms/ha) BS_{bb} = biomasa subterránea del bosque borde por hectárea (t.ms/ha)	

Los resultados del anterior ejercicio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 16. Pérdida de biomasa subterránea como parte del proceso de transición entre un bosque núcleo (intacto) y un bosque borde (degradado) para cada bioma

REGION	BIOMASA SUBTERRANEAB OSQUE NUCLEO (t.ms/ha)	BIOMASA SUBTERRANEAB OSQUE BORDE (t.ms/ha)	ΔBS_{bn-bb} (t.ms/ha)
Amazonía	58,70	34,80	23,90
Andes	33,40	17,20	16,20
Caribe	42,60	16,60	26,00
Orinoquía	30,10	19,70	10,40
Pacífico	55,60	46,90	8,70

La pérdida de biomasa total por degradación forestal corresponde a la suma entre la pérdida de la biomasa aérea (Tabla 15) y la pérdida de biomasa subterránea (Tabla 16) como se indica en la Tabla 17:

Tabla 17. Pérdida de biomasa total por efecto de la degradación forestal en la transición de *bosque núcleo* (intacto) a *bosque borde* (degradado) en cada bioma

REGION	ΔBA_{bn-bb} (t.ms/ha)	ΔBS_{bn-bb} (t.ms/ha)	PERDIDA DE BIOMASA TOTAL (t.ms/ha)
Amazonía	113,20	23,90	137,10
Andes	73,40	16,20	89,60
Caribe	121,30	26,00	147,30
Orinoquía	46,90	10,40	57,30
Pacífico	41,80	8,70	50,50

Teniendo en cuenta lo anterior, el factor de emisión se construye a partir de la biomasa total perdida para cada bioma. Su conversión a contenido de carbono y su equivalente en emisiones de dióxido de carbono se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Contenidos de carbono y su equivalencia en CO₂ para estimar los factores de emisión asociados a degradación forestal para los diferentes biomas

REGION	PERDIDA DE BIOMASA TOTAL (t.ms/ha)	CONTENIDO DE CARBONO (tC/ha)	FACTOR DE EMISION POR DEGRADACION (tCO ₂ /ha)
Amazonía	137,10	64,43	236,26
Andes	89,60	42,11	154,41
Caribe	147,30	69,23	253,84
Orinoquía	57,30	26,93	98,74
Pacífico	50,50	23,73	87,02

8.6 CIRCUNSTANCIAS NACIONALES

8.6.1 Principales causas directas de la deforestación en el período de 2013-2022

Durante el período 2013-2022, la deforestación en Colombia fue causada principalmente por las siguientes causas directas o motores:

a. Expansión de la frontera agropecuaria

Con mayor relevancia de la conversión de bosques naturales a pastos, dinamizada por incendios forestales y con fines de acaparamiento de tierras; causa presente en todo el territorio nacional, aunque con mayor importancia en la región Amazonia. Durante el período 2013-2022, las actividades de ganadería extensiva continuaron creciendo sobre el bosque a partir de áreas previamente transformadas.

Adicionalmente, se incluye dentro de esta categoría la conversión de bosques naturales a cultivos de uso ilícito (principalmente coca), donde las áreas afectadas por esta actividad ilegal presentaron una tendencia general al incremento durante el período. Finalmente, en algunas zonas del país se identificó la consolidación de cultivos agroindustriales en áreas no permitidas.

b. Expansión de la infraestructura de transporte

Especialmente la relacionada con la construcción, consolidación y mejoramiento no planificado de la accesibilidad vial en las áreas rurales, que dinamizó la expansión de otras causas sobre las áreas de bosque durante todo el período; presente en todo el territorio nacional, aunque con mayor importancia en la región Amazonia.

f. Extracción de minerales (principalmente ilícita)

Con especial relevancia del impacto por extracción de oro de aluvión en áreas consolidadas de las regiones Pacífico y Andes (departamentos de Chocó, Antioquia y Sur de Bolívar).

g. Extracción de madera (principalmente tala ilegal)

Actividad que persiste durante el período en las zonas rurales de todo el país, con fines de autoconsumo (combustible, material de construcción, uso en la actividad agropecuaria y minera) o de comercio en diferentes escalas.

8.6.2 Factores ambientales y sociopolíticos relevantes para el análisis de circunstancias nacionales para la actividad de deforestación

La Decisión 12 / CP.17 de la CMNUCC invita a las partes a incluir detalles sobre cómo se han considerado las circunstancias nacionales en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF). En el marco de esta disposición, Colombia considera que además del análisis histórico de la deforestación acumulada de al menos los últimos diez años, a nivel nacional y regional, es necesario ponderar el importante efecto que eventos sociopolíticos y climáticos recientes han tenido y pueden llegar a tener durante los siguientes años en la dinámica de transformación de los bosques. La síntesis de estos hitos para el período de referencia (2013-2022) se presenta en la Figura 13.

Con base en lo anterior, se identificaron dos períodos clave como referencia para el ajuste por circunstancias nacionales del promedio histórico de las emisiones por deforestación de Colombia para el período 2023-2027. El primero, entre 2013 y 2016, corresponde al proceso de negociación del acuerdo de paz con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC-EP) y a la ocurrencia en el país del fenómeno climático de El Niño (clasificado de nivel fuerte entre mayo de 2015 y abril de 2016) y su influencia sobre la reducción de las lluvias y el incremento de eventos asociados a incendios (IDEAM, 2016).

De acuerdo con IDEAM (2016) en un escenario de El Niño nivel fuerte, el incremento de las temperaturas máximas y la prolongación de los períodos de sequía aumenta la

probabilidad de presentación de anomalías térmicas que derivan en incendios forestales; siendo particularmente crítico en Colombia (con especial referencia a las regiones Orinoquia y Amazonia) el uso de las quemas como elemento de transformación del bosque y de cambio de uso de la tierra hacia actividades agropecuarias (Armenteras *et al.* 2020; González *et al.* 2018).

Figura 13. Línea de tiempo de los eventos sociopolíticos y climáticos relevantes en Colombia durante período 2013-2022



Los incendios forestales corresponden a cualquier tipo de conflagración que utilice como combustible la vegetación natural (White, 2018) y que intervienen en procesos como la deforestación, la praderización, la fragmentación, la degradación, entre otros (Monroy *et al.*, 2019). Aun cuando las condiciones naturales de humedad y precipitación de los ecosistemas tropicales previenen la ocurrencia de incendios de manera espontánea, es claro que en la última década se ha incrementado considerablemente la cantidad de estos eventos, evidenciando una fuerte influencia de factores como los regímenes de precipitación, la temperatura, la pendiente y los usos de la tierra (Da Silva *et al.*, 2018; White, 2018; Pourtaghi *et al.*, 2015; Ljudomir *et al.*, 2019; Armenteras y Retana 2012). En el caso de Colombia se ha identificado la relación entre los incendios y el proceso de transformación de bosques a pastos (deforestación) como manera de limpieza y preparación del suelo para prácticas agropecuarias, que se realiza durante los períodos más secos del año (Armenteras y Retana 2012; Armenteras *et al.*, 2020).

Durante este período, la interpretación de la información disponible acerca de los acuerdos parciales entre gobierno y FARC, 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

y 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 en la intervención de los bosques (González *et al.*, 2018). De acuerdo con los datos del SMByC de Colombia (IDEAM 2023a), al final del período (año 2016) la deforestación anual fue de 177.764 ha, que correspondió a un incremento del 43,5% con respecto al año anterior y del 53,1% con respecto al inicio del período (año 2013).

El segundo período clave, entre 2017 y 2021, corresponde a la etapa del proceso de paz denominada como posconflicto o posacuerdo, una vez firmado el acuerdo de paz con las FARC a finales de 2016; durante este período también se presentó el fenómeno climático de La Niña (clasificado de nivel fuerte entre junio de 2020 y diciembre de 2022) caracterizado por el incremento y persistencia de la precipitación, y la reducción de eventos asociados a incendios (IDEAM, 2023b). Entre 2016 y 2017 la deforestación en el país aumentó el 23,5% y alcanzó un pico de deforestación de 219.552 ha/año durante 2017; en el quinquenio 2017-2021 el promedio de deforestación anual fue de 184.279 ha, con un total deforestado de 921.393 ha de bosque, área que equivale al 29% de la deforestación total acumulada en la serie histórica 2001-2021 (IDEAM, 2023a). Estos resultados se vieron altamente influenciados por las acciones de actores ilegales que, bajo las nuevas condiciones de accesibilidad al territorio, han promovido procesos masivos de acaparamiento de tierras, extracción ilícita de minerales y la expansión de la frontera agropecuaria a través del cultivo de coca (González *et al.*, 2018).

Aunque posterior a la etapa de incremento de la deforestación en el posacuerdo se proyectaba una estabilización de las condiciones del conflicto y sus efectos sobre los bosques (Suárez *et al.*, 2018; Negret *et al.*, 2017), la reconfiguración de actores armados ilegales e intereses sobre el uso del territorio, así como el nivel de avance en la implementación de lo pactado en el acuerdo con las FARC (Fundación Paz & Reconciliación, 2022; FIP, 2020a), han llevado a que la fase de estabilización no se haya alcanzado en la mayor parte de los territorios del país donde se encuentran los bosques naturales. Esto fue ratificado por los expertos de LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry*) en el reporte de análisis del anexo técnico del Segundo Reporte Bial de Actualización de Colombia, quienes coincidieron en 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 aún no muestran un cambio consolidado hacia una tendencia decreciente o de estabilización. Por lo tanto, consideraron 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).

Para el año 2021, la presencia territorial (a escala municipal) de estructuras armadas ilegales coincidió con varias de las áreas definidas como Núcleos de Alta Deforestación en Colombia desde el año 2017 (IDEAM, 2022). La FIP (2020b) identificó dentro de las zonas con mayor intensidad del conflicto en el año 2020 al Pacífico nariñense; el sur del Valle y el norte del Cauca; el centro y la costa Pacífica en el Cauca; el departamento de

Putumayo; el corredor que va desde el Urabá antioqueño, pasando por el sur de Córdoba, el Bajo Cauca y el sur de Bolívar y llegando hasta el Catatumbo, en Norte de Santander; y el norte del Chocó; todas ellas con elevados índices de deforestación. Esto indica que la presencia de grandes masas boscosas continúa siendo un factor relevante para las dinámicas del conflicto armado en el país (Fundación Paz & Reconciliación, 2022). No obstante, la visión de estos nuevos actores armados sobre el bosque se ha tornado más diversa; el recurso ahora no solo es un medio de protección y movilidad, sino además un objeto claro de apropiación, transformación y generación de rentas para la permanencia del conflicto en la mayor parte de las zonas rurales, incluso en áreas de especial importancia ecológica (Clerici *et al.*, 2020).

Las actividades que promueven el conflicto armado también se han diversificado; los intereses actuales de la economía del conflicto se mantienen en los cultivos de uso ilícito y en la producción y comercio de cocaína (Negret *et al.*, 2019), pero se han ampliado hacia la extracción ilícita de minerales, la tala y comercio ilegal de madera, y la ocupación y acaparamiento de tierras (Fundación Paz & Reconciliación 2022; López, 2022; FIP 2020b), siendo estas causas relevantes de la deforestación en el país durante el período posterior a la firma del acuerdo de paz con las FARC (IDEAM, 2022; Prem *et al.*, 2019).

En este contexto, el gobierno de Colombia (2022-2026) ha propuesto una ambiciosa estrategia de negociación y sometimiento de múltiples y diversos grupos armados ilegales denominada “Paz Total”, como instrumento para superar la violencia en el país (Niño, 2022). La Ley de Paz Total (Ley 2272 de 2022) extiende la noción de paz, tradicionalmente vinculada a actores armados con estatus político, al sometimiento de los grupos del crimen organizado. Con este objetivo, se establecen dos tipos de procesos diferenciados. El primero corresponde a los procesos tradicionales que se llevarán a cabo con los grupos armados organizados al margen de la ley para llegar a acuerdos de paz. El segundo implica los acercamientos con estructuras armadas de crimen de alto impacto para que se sometan a la justicia; estos procesos incluyen a grupos que no son de naturaleza política y que pueden estar asociados a economías ilegales como el narcotráfico o la minería ilegal (Reynoso, 2022). Al ser una política pública de formulación reciente y dadas las características actuales de momento y estado de las negociaciones con cada actor involucrado, en el marco del análisis de las circunstancias nacionales se presenta un escenario esperado de incertidumbre que demanda una aproximación conservadora y basada hasta donde sea posible en los referentes históricos disponibles.

8.6.3 Supuestos y aproximación modelada al cálculo del ajuste por circunstancias nacionales para la actividad de deforestación

En análisis de circunstancias nacionales para el NREF 2023-2027 parte del supuesto que la deforestación en Colombia, durante al menos los próximos cinco años, se verá influenciada por tres factores sociopolíticos y climáticos principales: i) las negociaciones de paz multi-actor que adelanta el actual gobierno nacional, ii) la implementación del acuerdo de paz firmado con las FARC, y iii) el fenómeno de El Niño fuerte por el que empieza a atravesar el país (IDEAM, 2023b). En línea con este supuesto, se empleó como referencia para el análisis de circunstancias nacionales la información de deforestación

disponible para los últimos 10 años (2013-2022); esta aproximación busca emplear como referentes históricos para la proyección de las circunstancias nacionales los efectos sobre la cobertura de bosque causados por: i) el último Fenómeno de El Niño (2015-2016) y su relación con El Niño fuerte que atraviesa actualmente el país, ii) las negociaciones del Acuerdo de Paz con las FARC (2013-2016) y su relación con el actual proceso de negociación de paz multi-actor que adelanta el gobierno nacional; y iii) el impacto en la deforestación de las dinámicas territoriales más recientes, incluyendo el del posacuerdo de paz con las FARC.

Teniendo en cuenta lo anterior, para calcular el ajuste se utilizó un conjunto de modelos logísticos regionales que una vez agregados permitieron proyectar la deforestación nacional durante el período 2023-2027. La diferencia aritmética entre la deforestación modelada y la deforestación proyectada utilizando el promedio histórico 2013-2022, se utilizó para estimar el ajuste anual por las circunstancias nacionales para la actividad de deforestación. La modelación emplea un enfoque conservador basado en supuestos que tienen soporte en la realidad histórica y presente de Colombia, siguiendo un proceso completamente documentado para garantizar su transparencia y replicabilidad.

8.6.4 Modelo logístico

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 conforme la Ecuación 12:

Ecuación 12. Modelo logístico de crecimiento

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$N_t = k_1 + \left(\frac{k_2}{1 + e^{(a+bt)}} \right)$	Modelo logístico de crecimiento utilizado para proyectar la deforestación	Poveda y Manrique, 2007
Parámetros y descriptores: k ₁ = bosque mínimo consumible (ha) k ₂ = bosque máximo consumible (ha) N _t = deforestación proyectada en el tiempo t t = período de proyección b = tasa de cambio entre periodos a = constante		

Dado que la variable a modelar es el área a deforestar, 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:

Ecuación 13. Modelo logístico de crecimiento modificado

ECUACION	DESCRIPCION	FUENTE
$N_t = \left(\frac{K}{1 + e^{(a+bt)}} \right)$	Modelo logístico de crecimiento utilizado para proyectar la deforestación	Poveda y Manrique, 2007
<p>Parámetros y descriptores: K = área de bosque susceptible de deforestación (ha) N_t = deforestación proyectada en el tiempo t t = período de proyección b = tasa de cambio entre periodos a = constante</p>		

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

8.6.4.1 Estimación de la tasa de crecimiento (b)

Para evaluar el crecimiento de la deforestación, el modelo incorpora la deforestación acumulada de las series históricas 2000-2022 disponibles para cada bioma. También utiliza la tasa de cambio observada entre 2013-2022 (b) para representar adecuadamente la velocidad de los cambios en las tendencias de deforestación, causadas principalmente por el actual proceso de negociación multi-actor denominado “Paz Total”, el posacuerdo entre el Estado colombiano y las FARC y los efectos del Fenómeno de El Niño. Las tasas de crecimiento estimadas para cada bioma se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Tasa de crecimiento de la deforestación (b) estimada por bioma

Bioma	Tasa de crecimiento de deforestación estimada
Amazonia	-0,09
Pacífico	-0,11
Andes	-0,08
Caribe	-0,07
Orinoquía	-0,06

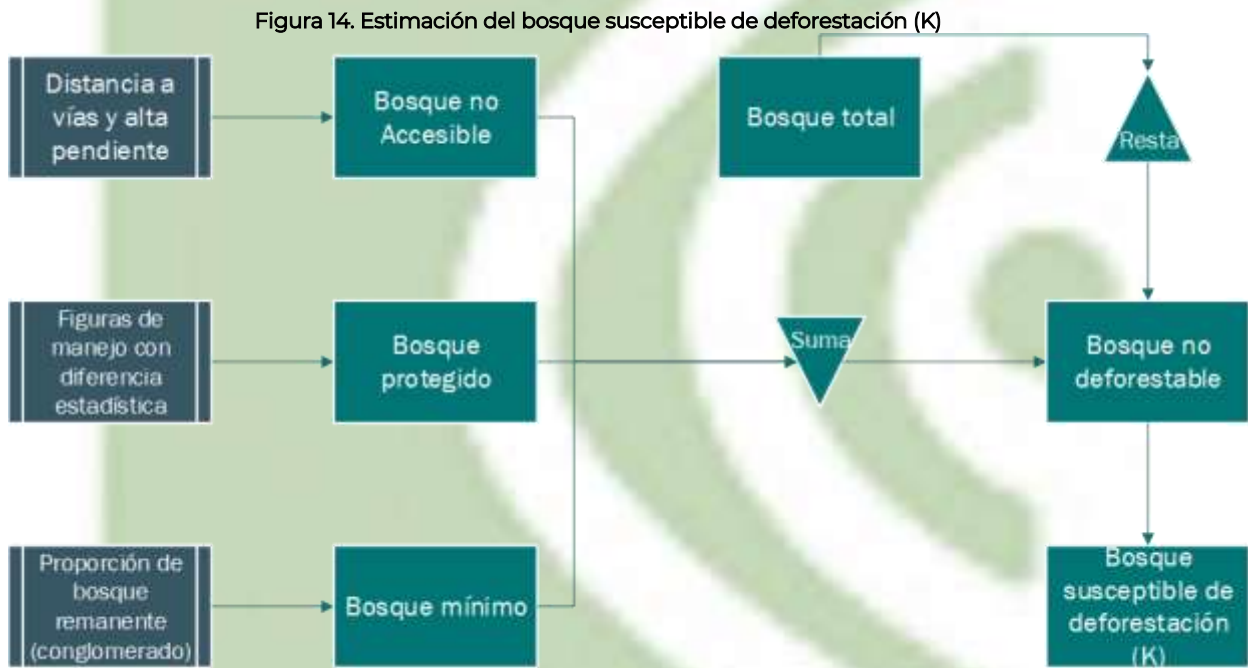
8.6.4.2 Estimación del área de bosque susceptible a la deforestación (K)

El modelo incorpora el efecto de accesibilidad forestal descrito en la sección anterior a través del parámetro K. El área de “bosque susceptible a la deforestación” (K) se calculó restando el área denominada “bosque no deforestable” del área total de bosque disponible (susceptible de ser deforestado) en el año 2022 (Figura 14).

El bosque no deforestable se estimó utilizando tres variables: i) bosque protegido, ii) bosque no accesible y iii) área de bosque mínimo. La categoría de **bosque protegido** incluye áreas de bosque ubicadas dentro de zonas con disposiciones sobre el uso del suelo específicas o figuras de manejo especial para su protección por la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia (Parques Nacionales Naturales, Santuarios de flora y fauna, área natural única), resguardos

indígenas, territorios colectivos de comunidades afrodescendientes y reservas forestales nacionales, donde la conservación del bosque natural se evaluó estadísticamente a partir de la comparación del promedio de deforestación entre las áreas mencionadas y áreas sin figuras de protección. Las áreas que no mostraron diferencias significativas a nivel regional con relación a las áreas no protegidas no fueron tenidas en cuenta dentro de la categoría de bosque protegido.

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



Los valores estimados de K para cada bioma se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Área de bosque susceptible a ser deforestado (K) estimada por bioma (ha)

BIOMA	K (ha)
Amazonía	9.161.150,5
Andes	2.939.860,2
Caribe	2.035.871,6
Orinoquia	706.664,6
Pacífico	1.791.595,1

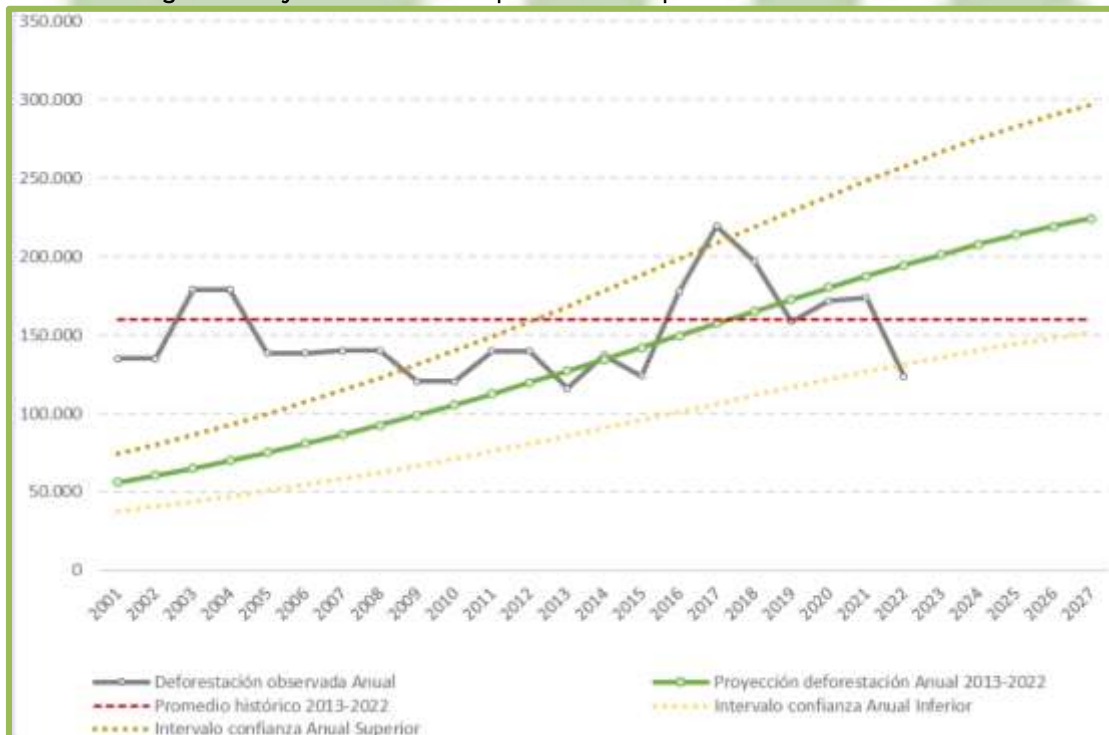
8.6.4.3 Proyección nacional de pérdida de bosque natural 2023 - 2027

Las proyecciones por bioma se agregaron para obtener una proyección de la deforestación nacional para el período 2023-2027 (Tabla 21, Figura 15). La diferencia aritmética entre la deforestación proyectada usando la modelación y la deforestación proyectada utilizando el promedio histórico 2013-2022, se empleó para estimar el porcentaje de ajuste anual por las circunstancias nacionales.

Tabla 21. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.

Año	Proyección anual deforestación (ha)	Promedio deforestación (ha) 2013-2022	Intervalo confianza Anual (ha)	
			Inferior	Superior
2023	201.386,3	159.966	136.040,5	266.732,1
2024	207.779,4	159.966	140.359,1	275.199,6
2025	213.748,9	159.966	144.391,7	283.106,1
2026	219.241,1	159.966	148.101,8	290.380,5
2027	224.206,0	159.966	151.455,7	296.956,4

Figura 15. Proyección nacional de pérdida de bosque natural. Período 2023-2027.



8.6.4.4 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 de porcentaje medio absoluto (MAPE), los cuales permiten medir la dispersión de los datos observados frente a los proyectados para el periodo 2010-2022. El MAPE es calculado conforme la siguiente ecuación:

Ecuación 14. Cálculo del error de porcentaje medio absoluto (MAPE)

ECUACION	DESCRIPCION
$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n A_t - F_t }{A_t \cdot n}$	Error del porcentaje medio absoluto
Parámetros y descriptores: A _t = deforestación observada en el período t F _t = deforestación proyectada en el período t n = total de periodos observados	

El porcentaje del error medio absoluto para la proyección, utilizando el período 2013-2022 fue del 16,6%.

8.6.5 Ajuste del NREF por circunstancias nacionales 2023-2027

El NREF incorpora un ajuste por las circunstancias nacionales para la actividad de deforestación, 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 2013-2022. La Tabla 22 presenta el ajuste anual para el período 2023-2027.

Tabla 22. Proyección de la deforestación nacional para el ajuste por circunstancias nacionales de la actividad de deforestación. Período 2023-2027.

Año	Promedio deforestación 2013-2022 (ha)	Ajuste circunstancias nacionales (ha)	Deforestación Total proyectada (promedio histórico + circunstancias nacionales) (ha)	Ajuste (%)
2023	159.966	41.420,3	201.386,3	25,9
2024	159.966	47.813,4	207.779,4	29,9
2025	159.966	53.782,9	213.748,9	33,6
2026	159.966	59.275,1	219.241,1	37,0
2027	159.966	64.240,0	224.206,0	40,1

8.7 CONSTRUCCION DEL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES

El proceso de construcción del nivel de referencia de emisiones forestales implica definir de manera separada la línea base de emisiones para cada actividad REDD+ considerada dentro del presente ejercicio como se indica a continuación:

8.7.1 Línea base de emisiones por deforestación

Las emisiones nacionales por deforestación fueron calculadas a partir de la sumatoria de las emisiones por deforestación calculadas a nivel de cada bioma como se indica en la siguiente ecuación:

Ecuación 15. Emisiones nacionales debidas a la deforestación

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{def,t} = \sum EA_{def,bioma,i}$	Emisiones anuales nacionales debidas a la deforestación
<p>Parámetros y descriptores: EA_{def,t} = emisiones anuales nacionales debidas a la deforestación (tCO₂eq.) EA_{def,bioma,i} = emisiones anuales debidas a la deforestación en el bioma <i>i</i> (tCO₂eq.). bioma,<i>i</i> = Cada uno de los cinco biomas que componen el territorio colombiano (i.e., Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico).</p>	

Para establecer las emisiones anuales a nivel de bioma (*i*) se debe considerar la post-estratificación realizada a los ecosistemas forestales nacionales que sirvió de base para el análisis de degradación y que divide el bosque en dos estratos adicionales: *bosque núcleo* (intacto) y *bosque borde* (degradado). Para cada uno de estos estratos se definieron datos de actividad para el periodo 2013 – 2022 tal como se indica en la Tabla 23.

Con base en lo anterior, el dato de actividad nacional promedio por efecto de la deforestación ocurrida en *bosques núcleo* (intactos) para el periodo de referencia, corresponde a la suma de los valores hallados para cada bioma. El mismo procedimiento es aplicado para hallar el dato de actividad nacional promedio para la deforestación ocurrida en *bosques borde* (degradados). En consecuencia, los valores de deforestación promedio ocurrida en *bosques núcleo* y *bosques borde* para el periodo de referencia fueron de 133.163,03 y 26.802,47 hectáreas por año respectivamente que, en conjunto, comprenden la cifra promedio de deforestación nacional indicada en la Tabla 1 (numeral 8.1.4.1) del presente reporte.

Tabla 23. Datos de actividad por deforestación desagregados por bioma y por estratos de bosque para el periodo de referencia

AÑO	ESTRATO	CSB BIOMA AMAZONIA (ha/año)	CSB BIOMA ANDES (ha)	CSB BIOMA CARIBE (ha)	CSB BIOMA ORINOQUIA (ha)	CSB BIOMA PACIFICO (ha)
2013	Bosque Núcleo	34.710,23	24.112,09	11.793,76	7.412,25	4.706,96
	Bosque Borde	32.532,67	218,64	8,74	613,90	17,66
2014	Bosque Núcleo	59.058,81	31.656,35	17.972,26	9.609,88	13.077,34
	Bosque Borde	4.839,15	515,82	179,41	148,73	254,15
2015	Bosque Núcleo	49.668,03	28.453,64	16.223,43	8.826,33	11.812,73
	Bosque Borde	7.292,42	702,58	238,34	280,83	336,14
2016	Bosque Núcleo	59.014,00	44.034,91	23.896,90	8.995,52	28.204,51
	Bosque Borde	10.758,30	1.411,48	471,58	355,75	594,75
2017	Bosque Núcleo	12.0034,62	34.851,15	15.195,77	9.364,47	12.884,91
	Bosque Borde	23.957,69	1.769,75	461,54	486,36	481,43
2018	Bosque Núcleo	106.260,18	26.342,45	10.977,77	11.395,34	7.069,60
	Bosque Borde	31.880,00	1.737,12	385,40	674,69	382,52
2019	Bosque Núcleo	69.861,36	23.572,93	12.199,99	7.873,88	13.323,12
	Bosque Borde	28.366,16	1.625,75	585,45	637,14	794,14
2020	Bosque Núcleo	76.684,34	26.343,38	12.091,23	7.696,24	11.065,80
	Bosque Borde	32.600,99	2.627,94	843,23	543,43	1.194,24
2021	Bosque Núcleo	75.535,84	26.347,10	8.962,43	7.654,68	11.735,11
	Bosque Borde	37.342,44	3.547,30	579,32	694,40	1.669,35
2022	Bosque Núcleo	45.468,34	20.057,33	9.972,33	5.899,62	11.668,92
	Bosque Borde	25.660,97	2.095,75	516,38	482,45	1.630,21
PROMEDIO 2013 - 2022	Bosque Núcleo	69.629,58	28.577,14	13.928,59	8.472,82	12.554,90
	Bosque Borde	23.523,08	1.625,22	426,94	491,77	735,46

Como fue previamente explicado, el periodo de referencia del NREF (2013 – 2022) considera dos datos de actividad para deforestación y, por lo tanto, su propio factor de emisión para cada bioma evaluado.

Tomando en cuenta lo anterior, las emisiones por deforestación a nivel de bioma para el periodo de referencia, considera la suma de la superficie deforestada del estrato de *bosque núcleo* por su correspondiente factor de emisión con la superficie deforestada del estrato de *bosque borde* por su correspondiente factor de emisión, a lo cual se añade la sumatoria de la tasa de pérdida a 20 años del contenido del carbono orgánico del suelo, tal como se plantea en la siguiente ecuación:

Ecuación 16. Emisiones anuales debidas a la deforestación a nivel de bioma

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{def,bioma,i} = [(CSB_{bioma,i,bn} * FE_{def,bioma,i,bn}) + (CSB_{bioma,i,bb} * FE_{def,bioma,i,bb})] + \sum_{y=2001}^n COS_{bioma,i-20 \text{ años}}$	Emisiones anuales debidas a la deforestación a nivel de bioma
<p>Parámetros y descriptores: $EA_{def,bioma,i}$ = emisiones anuales debidas a la deforestación en el bioma i (tCO₂eq.). $CSB_{bioma,i,bn}$ = deforestación anual en el bioma i correspondiente al estrato de bosque núcleo (ha) $CSB_{bioma,i,bb}$ = deforestación anual en el bioma i correspondiente al estrato de bosque borde (ha) $FE_{def,bioma,i,bn}$ = factor de emisión por deforestación del bioma i correspondiente al tipo de bosque núcleo (tCO₂eq./ha) $FE_{def,bioma,i,bb}$ = factor de emisión por deforestación del bioma i correspondiente al tipo de bosque borde (tCO₂eq./ha) $COS_{bioma,i-20 \text{ años}}$ = tasa de pérdida a 20 años del contenido de carbono orgánico del suelo (tCO₂eq./ha) $bioma,i$ = Cada uno de los cinco biomas que componen el territorio colombiano (i.e., Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico). bn = estrato correspondiente al bosque núcleo bb = estrato correspondiente al bosque borde y = año inicial en el que se consideran las emisiones de COS generadas por el evento de deforestación (comienza en 2001 para todos los años del período de referencia salvo 2022 que tiene como año de inicio 2002) n = año de referencia para el cual se calculan las emisiones anuales.</p>	

8.7.2 Línea base de emisiones por degradación forestal

El cálculo de las emisiones nacionales por degradación forestal sigue el mismo procedimiento utilizado para deforestación, esto es, a partir de la sumatoria de las emisiones por degradación calculadas a nivel de cada bioma como se indica en la siguiente ecuación:

Ecuación 17. Emisiones nacionales debidas a la degradación forestal

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{deg,t} = \sum EA_{deg,bioma,i}$	Emisiones anuales nacionales debidas a la degradación forestal
<p>Parámetros y descriptores: $EA_{deg,t}$ = emisiones anuales nacionales debidas a la degradación forestal (tCO₂eq.) $EA_{deg,bioma,i}$ = emisiones anuales debidas a la degradación forestal en el bioma i (tCO₂eq.). $bioma,i$ = Cada uno de los cinco biomas que componen el territorio colombiano (i.e., Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico).</p>	

Las emisiones anuales por degradación a nivel de bioma (i) se establecen a partir del cambio en la superficie de bosque degradada anualmente (CSB_{dg}) para el periodo de referencia conforme se presenta en la Tabla 24 y multiplicado por el factor de emisión correspondiente para cada bioma (Tabla 18). La Ecuación 18 ilustra el procedimiento para adelantar dicho cálculo.

Tabla 24. Datos de actividad por degradación forestal desagregados por bioma para el periodo de referencia

AÑO	CSBdg BIOMA AMAZONIA (ha)	CSBdg BIOMA ANDES (ha)	CSBdg BIOMA CARIBE (ha)	CSBdg BIOMA ORINOQUIA (ha)	CSBdg BIOMA PACIFICO (ha)	CSBdg NACIONAL (ha)
2013	63.463,57	18.266,85	5.278,94	2.747,49	9.561,08	99.318
2014	55.970,82	25.775,78	8.580,09	3.981,14	20.438,65	114.746
2015	49.383,48	22.156,52	8.312,18	3.057,51	15.747,95	98.658
2016	68.009,25	49.594,59	10.051,44	3.391,32	21.061,29	152.108
2017	104.685,83	40.003,11	5.946,10	3.060,94	16.848,95	170.545
2018	112.816,93	52.085,79	4.897,62	5.967,76	10.633,46	186.402
2019	90.012,11	18.867,09	7.327,29	3.397,36	15.886,65	135.490
2020	106.814,22	30.881,07	8.481,74	3.801,64	18.462,16	168.441
2021	103.322,87	25.436,11	5.697,07	3.614,79	23.305,40	161.376
2022	71.573,19	22.245,58	7.038,00	2.666,71	17.895,58	121.419
PROMEDIO 2013 - 2022	82.605,23	30.531,25	7.161,05	3.568,67	16.984,12	140.850,31

Ecuación 18. Emisiones anuales debidas a la degradación forestal a nivel de bioma

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{deg,bioma,i} = CSBdg_{bioma,i} * FE_{deg,bioma,i}$	Emisiones anuales debidas a la degradación forestal a nivel de bioma
Parámetros y descriptores: $EA_{deg,bioma,i}$ = emisiones anuales debidas a la degradación forestal en el bioma i (tCO ₂ eq.). $CSBdg_{bioma,i}$ = cambio en la superficie de bosque degradada anualmente en el bioma i (ha) $FE_{deg,bioma,i}$ = factor de emisión por degradación forestal del bioma i (tCO ₂ eq./ha) $bioma,i$ = Cada uno de los cinco biomas que componen el territorio colombiano (i.e., Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico).	

8.7.1 Cálculo del NREF

El cálculo del nivel de referencia nacional de emisiones forestales se define en un procedimiento de cuatro pasos: estimación del promedio histórico de las emisiones por deforestación del periodo de referencia (2013 - 2022), estimación del promedio histórico por degradación forestal del período de referencia (2013 - 2022), ajustes por circunstancias nacionales a la tasa promedio de deforestación proyectada para el periodo de vigencia del NREF (2023 - 2027) y sumatoria de las emisiones proyectadas por deforestación y degradación forestal para el periodo de vigencia del NREF (2023 - 2027). Los resultados de cada uno de estos pasos, se detallan a continuación:

8.7.1.1 Promedio histórico nacional de las emisiones por deforestación

Con base en la Ecuación 15 explicada previamente, las emisiones anuales por deforestación estimadas para el periodo de referencia 2013 – 2022, se presentan en la Tabla 25. De estas cifras, se infiere un promedio histórico de 90.066.207 tCO₂eq. para el NREF.

Tabla 25. Promedio histórico nacional de las emisiones por deforestación calculado a partir del periodo de referencia

AÑO	Emisiones nacionales por deforestación (tCO ₂ eq.)
2013	60.468.462
2014	76.147.761
2015	69.723.160
2016	95.113.321
2017	122.812.368
2018	111.538.612
2019	91.725.317
2020	98.258.072
2021	99.756.606
2022	75.118.394
PROMEDIO	90.066.207

8.7.1.2 Promedio histórico nacional de las emisiones por degradación forestal

Las emisiones nacionales por degradación forestal obtenidas con base en la aplicación de la Ecuación 17 se presentan en la Tabla 26. A partir de dicha información, se obtuvo una cifra promedio de emisiones nacionales por degradación forestal de 28.840.895 tCO₂eq.

Tabla 26. Promedio histórico nacional de las emisiones por degradación forestal calculado a partir del periodo de referencia

AÑO	Emisiones nacionales por degradación (tCO ₂ eq.)
2013	20.833.582
2014	22.365.595
2015	19.568.982
2016	30.007.088
2017	35.448.299
2018	39.095.469
2019	28.352.402
2020	35.112.649
2021	32.971.742
2022	24.653.143
PROMEDIO	28.840.895

8.7.1.3 Emisiones proyectadas por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales

La cifra promedio de emisiones por deforestación es ajustadas por circunstancias nacionales, las cuales fueron argumentadas en detalle en el numeral 8.6. Dado que estas fluctúan año a año, el modelo utilizado para predecir el comportamiento de las mismas permite inferir un porcentaje de ajuste anual específico durante el periodo de proyección del NREF. La Ecuación 19 refleja esta operación matemática:

Ecuación 19. Calculo de las emisiones por deforestación con ajuste por circunstancias nacionales

ECUACION	DESCRIPCION
$EA_{def,y} = \bar{X}EA_{def,t} * (1 + CN\%)$	Emisiones anuales debidas a la deforestación ajustadas por circunstancias nacionales
Parámetros y descriptores: EA _{def,y} = emisiones anuales debidas a la deforestación con ajuste por circunstancias nacionales para el año y (tCO ₂ eq.). X̄EA _{def,t} = promedio histórico nacional de emisiones debidas a la deforestación calculada a partir del periodo de referencia (tCO ₂ eq.). CN% = porcentaje de ajuste por circunstancias nacionales	

Con base en lo anterior, el promedio histórico de emisiones por deforestación fue ajustado para cada año del periodo del NREF como se indica en la Tabla 27. Como puede observarse, las emisiones por deforestación varían entre 113.366.329 tCO₂eq. para el año 2023 hasta 126.208.916 tCO₂eq. para el año 2027.

Tabla 27. Emisiones por deforestación proyectadas a nivel nacional para el periodo 2023 - 2027

AÑO	Promedio histórico de emisiones nacionales por deforestación (tCO ₂ eq.)	Circunstancias nacionales (%)	Emisiones nacionales por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales (tCO ₂ eq.)
2023	90.066.207	25,87	113.366.329
2024	90.066.207	29,86	116.962.100
2025	90.066.207	33,59	120.322.455
2026	90.066.207	37,02	123.414.100
2027	90.066.207	40,13	126.208.916

8.7.1.4 Emisiones proyectadas por degradación forestal

A diferencia de las emisiones por deforestación, las emisiones nacionales debidas a la degradación forestal no sufren ningún ajuste por circunstancias nacionales debido a que si bien se han identificado los principales drivers que ocasionan este fenómeno, la información con la que cuenta el país es insuficiente para determinar cómo dichas circunstancias pueden incidir en el comportamiento de esta actividad REDD+. Lo anterior

constituye parte de las mejoras técnicas que se deberán adelantar en los próximos años. En virtud de lo anterior, el promedio histórico por degradación forestal hallado conforme el numeral 8.7.1.2, se constituye en una cifra homogénea de emisiones para el periodo de vigencia del presente NREF como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Emisiones por degradación forestal proyectadas para el periodo 2023 – 2027

AÑO	Promedio histórico de emisiones nacionales por degradación (tCO ₂ eq.)	Emisiones nacionales por degradación forestal (tCO ₂ eq.)
2023	28.840.895	28.840.895
2024	28.840.895	28.840.895
2025	28.840.895	28.840.895
2026	28.840.895	28.840.895
2027	28.840.895	28.840.895

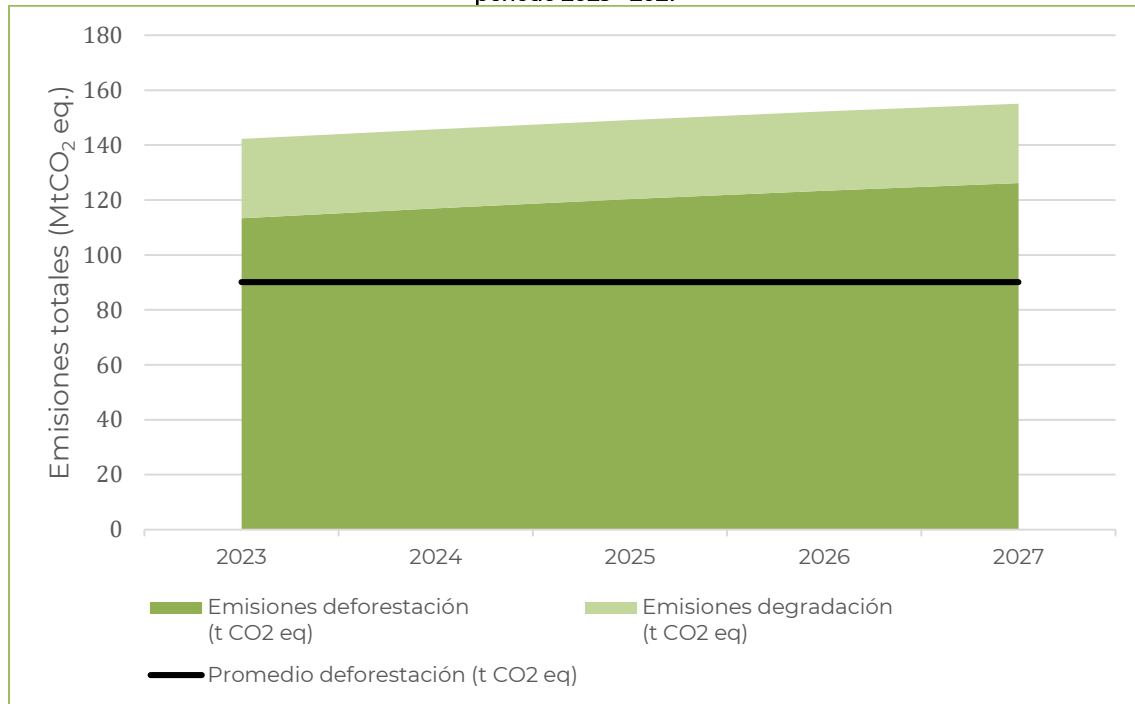
8.7.1.5 Nivel de referencia nacional de emisiones forestales para el periodo 2023 – 2027

Finalmente, el nivel de referencia de emisiones forestales se determina como la suma de las emisiones nacionales por deforestación y degradación forestal halladas para el periodo de proyección, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 29.

Tabla 29. Nivel de referencia de emisiones forestales para el periodo 2023 - 2027

AÑO	Emisiones nacionales por deforestación ajustadas por circunstancias nacionales (tCO ₂ eq.)	Emisiones nacionales por degradación forestal (tCO ₂ eq.)	Emisiones forestales nacionales (tCO ₂ eq.)
2023	113.366.329	28.840.895	142.207.224
2024	116.962.100	28.840.895	145.802.995
2025	120.322.455	28.840.895	149.163.350
2026	123.414.100	28.840.895	152.254.995
2027	126.208.916	28.840.895	155.049.811

Figura 16. Emisiones totales nacionales proyectadas debidas a la deforestación y la degradación forestal para el periodo 2023 - 2027



8.7.2 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 que, 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.

Inicialmente, se establece la incertidumbre asociada a la estimación biomasa aérea y subterránea conforme se indica en las ecuaciones 20 y 21:

Ecuación 20. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa aérea

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

Ecuación 21. Incertidumbre asociada a la estimación de la biomasa subterránea

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

Con estos resultados se establece la incertidumbre asociada a la estimación de emisiones brutas, tal como se indica en la Ecuación 22.

Ecuación 22. Incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones brutas

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

Teniendo en cuenta que los datos de actividad hacen parte de la estimación de emisiones brutas, en esta etapa se asocia la incertidumbre a éstas para determinar la incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad como se presenta en la Ecuación 23:

Ecuación 23. Incertidumbre combinada de emisiones brutas y datos de actividad

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

También se consideró necesario determinar el aporte a la incertidumbre, del carbono en suelo, para lo cual se definió su estimación como se expresa en la Ecuación 24:

Ecuación 24. Incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo

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

La incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma (i), incorporando la incertidumbre asociada al carbono orgánico del suelo, se obtiene según como se plantea en la Ecuación 25:

Ecuación 25. Incertidumbre de las emisiones brutas acumuladas para cada bioma

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

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

Ecuación 26. Incertidumbre nacional de los factores de emisión

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

9. CONSISTENCIA ENTRE REPORTES DE GESTIÓN DE GEI PRESENTADOS A LA CMNUCC

9.1 Consistencia entre NREF nacional y el Tercer Reporte Bianual de Actualización

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 Tercer Reporte Bianual de Actualización (RBA3), son consistentes con la definición de bosque, los datos de actividad para deforestación (tasas de deforestación anual), gases considerados (solamente CO₂) y supuestos usados (distribución de la fuga de emisiones del carbono orgánico del suelo en tasas de la misma magnitud, distribuidas en un periodo de 20 años) para el cálculo de emisiones presentados en el presente NREF (IDEAM et al., 2022). No obstante, se observan algunas diferencias entre las estimaciones realizadas en el RBA 3 y el presente NREF, tal como se explican a continuación:

- Las emisiones en el RBA 3 se estiman mediante el método de pérdidas y ganancias sugerido por IPCC (2006), lo que implica que además de la tasa anual de deforestación, también se determinan las coberturas/ usos de la tierra en la que se convierte el bosque después de haberse deforestado. En cambio, el presente NREF solo considera las emisiones a partir de la deforestación bruta. El país aún sigue trabajando en un refinamiento metodológico que le permita tipificar la deforestación, lo cual hará parte del plan de mejora a ser incorporado en el siguiente NREF.
- El RBA3 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 RBA3 incluye pérdidas rezagadas de carbono de los suelos del periodo 1990-2000. Sin embargo, estas diferencias dejarán de existir entre el NREF y el RBA3 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.
- Ambos reportes incorporan el depósito de materia orgánica muerta de manera diferenciada. Mientras el RBA 3 toma el valor por defecto sugerido por IPCC (2006) el cual obedece específicamente al componente de la hojarasca; el NREF presenta valores regionalizados de detritos de madera (o madera muerta) obtenidos a partir de la actualización del Inventario Forestal Nacional pero no considera hojarasca. Esto constituye una mejora técnica con respecto al NREF 2018 – 2022, el cual adolece de dicha información. Se espera incorporar los valores de madera muerta en el futuro BTR como parte del plan de mejora de dicho reporte.

- Los contenidos de carbono en la biomasa y suelos para el NREF son los obtenidos a partir de los últimos datos reportados que proceden de la actualización del IFN hasta el año 2023 y en el RBA3 se utilizan datos de una actualización preliminar del IFN que incorporaba datos disponibles hasta el 2018.
- El presente NREF reporta emisiones por degradación forestal mediante un enfoque basado en métricas del paisaje, el cual define clases de fragmentación para el bosque como paso previo a la deforestación y establece pérdidas en los contenidos de carbono como la diferencia entre la biomasa aérea entre un ecosistema forestal en estado no perturbado y las diferentes clases de fragmentación que reflejan la degradación de dicho ecosistema, por lo cual sus datos de actividad y factores de emisión se basan en la reducción de áreas del dosel del bosque y la proporción de biomasa asociada a esa área, respectivamente (Ramírez-Delgado *et al.*, 2018). Por otro lado, el RBA 3 registra la degradación forestal en función de un solo factor causal que corresponde al consumo de leña en la población rural para la cocción de alimentos y en donde se asume que la leña procede únicamente del bosque natural. En este caso las emisiones generadas responden al producto entre el número de personas que consumen leña como recurso energético de cocción (dato de actividad) y la cantidad de leña consumida por persona anualmente en tC/habitante/año (factor de emisión)¹⁶.

9.2 Diferencias entre el NREF nacional 2018 – 2022 y el presente NREF nacional

Con los avances y mejoras de información alcanzados en años recientes, se ha logrado el refinamiento de datos, los cuales han podido ser incorporados al presente NREF, diferenciándose del documento precedente en los siguientes aspectos:

- Se incluye el territorio insular como parte del análisis para generar los datos de actividad por deforestación. Dicho territorio queda embebido en los biomas Caribe y Pacífico.
- Se aumenta el número de conglomerados analizados lo que mejora la precisión de las estimaciones de los contenidos de carbono en los diferentes depósitos evaluados. En comparación con el NREF 2018-2022, las unidades muestrales consideradas ascienden al 64,4% con respecto al tamaño total de la muestra. El anterior NREF (2018-2022) solo consideraba el 20,5% de los conglomerados levantados por el IFN. No obstante, debe aclararse que por efecto del proceso de post-estratificación realizado a los bosques para desagregarlos en bosques intactos (núcleo) y degradados (borde) fueron analizados solamente 661 conglomerados con el propósito de precisar las estimaciones de biomasa aérea para estos dos estratos, lo que corresponde al 44,7% del tamaño total de la muestra.

¹⁶ Se reportan factores de emisión para siete departamentos, de los cuales se generó un valor factor de emisión nacional a partir del valor promedio hallado. Ver anexo 14 del Tercer Reporte Bienal de Actualización de Colombia (BUR 3).

- El contenido de carbono de la biomasa total y suelos difiere respecto del NREF 2018 – 2022. Se observan mejoras en las cifras de la biomasa aérea para cada región como consecuencia de un mayor número de conglomerados analizados. Por un lado, se evidencia un incremento de este parámetro en un 61,76% para el bioma Pacífico con respecto al valor estimado para el NREF 2018 – 2022¹⁷. En contraste, los biomas de Amazonía, Andes, Caribe y Orinoquía presentaron disminuciones del 4,39%, 43,77%, 36,72% y 2,93%, respectivamente. En lo que respecta a la biomasa subterránea, se observa una tendencia semejante a la biomasa aérea, dado que presenta un incremento para el bioma Pacífico, mientras que los demás biomas presentan una reducción en los valores de este depósito de carbono. Por su parte, el COS presentó reducciones sustanciales en todos los biomas.
- Se efectuó una estratificación adicional de los bosques por cada bioma, los cuales fueron divididos en dos estratos: bosque intacto (núcleo) y bosque degradado (borde), lo que permitió mejorar las estimaciones de biomasa para cada estrato en función de su grado de perturbación. Con lo anterior, se pudieron establecer diferencias estadísticamente significativas entre ambos estratos lo que permitió cuantificar el nivel de degradación de los bosques.
- Se refinaron los datos de actividad debidas a la deforestación para el periodo de referencia (2013 – 2022) como resultado de un mejoramiento en los procedimientos de control de calidad respecto a la adecuada clasificación de los píxeles bajo el atributo bosque – no bosque con lo cual se garantiza la consistencia en la serie temporal analizada y, de esta forma, evitando que un píxel pueda ser contado dos veces como deforestado. Lo anterior condujo a un ajuste en las cifras que fueron presentadas en el NREF anterior y que se hacen evidentes a partir del año 2013 tal como fue presentado en la Tabla 1.
- El modelo logístico utilizado para proyectar la deforestación mantiene el enfoque utilizado en el NREF anterior al utilizar los datos de actividad del periodo decenal más reciente (2013 – 2022). El modelo mejora su desempeño respecto del anterior, en cuanto a la predicción de la deforestación en el periodo de referencia dado que utiliza como pivotes los años 2013 y 2022, lo que implica que en él se consideran los efectos de las negociaciones con las FARC y, además considera los efectos del fenómeno de El Niño fuerte (2015 – 2016). En consecuencia, el modelo refleja dichas realidades y, al hacerlo mejora su pronóstico frente a los datos observados.
- Otra mejora realizada respecto de la modelación del NREF anterior, tiene que ver con que la nueva proyección considera la trayectoria arrojada por el modelo logístico de crecimiento y evita utilizar el límite inferior del intervalo de confianza, lo cual mejora la exactitud del pronóstico.

¹⁷ Consultar Tabla 4 del NREF 2018 – 2022. Disponible en: https://redd.unfccc.int/files/18-08-2020_nref_colombia_v8.pdf

- Se mantiene la misma definición de bosque utilizada en los NREF previamente sometidos a la CMNUCC. Esta definición también fue incorporada en el BUR 3, con lo cual se garantiza la consistencia de la misma en ambos reportes. Adicionalmente, en el BUR 3 se establecen definiciones propias para plantaciones forestales y otro tipo de coberturas arbóreas¹⁸.
- Se incluye el depósito de detritos de madera (madera muerta).
- Se incluye la degradación forestal dentro del nivel de referencia de emisiones forestales con alcance nacional.

10. PLAN DE MEJORAS Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES

Considerando el proceso de mejora continua que establece la CMNUCC en su Decisión 12 / CP.17 (parágrafo 10) y que tiene como propósito el refinamiento de las estimaciones de los futuros niveles de referencia de emisiones forestales, Colombia plantea las siguientes mejoras técnicas, las cuales tienen el potencial de ser incorporadas en el próximo NREF, respondiendo a sus capacidades técnicas y científicas pero reconociendo sus limitaciones y necesidades de investigación, las cuales determinan en buena medida la capacidad de avance del país en este campo.

10.1 Refinamiento de los factores de emisión para deforestación

Durante 2023, el país adelantaba la fase final de campo del inventario forestal nacional y se aprestaba para complementar los análisis de la información recolectada. Lo anterior permitió mejorar las estimaciones de los factores de emisión al contar con 953 conglomerados como parte de dichos análisis, lo que representa un avance de más del 64% del total de conglomerados establecidos a lo largo y ancho del territorio nacional. Para el próximo NREF el país contará con un refinamiento adicional respecto de los factores de emisión presentados en el presente nivel de referencia debido a que el 100% de las unidades muestrales habrán sido procesadas.

10.2 Unidades de muestreo permanente para el monitoreo continuo del bosque

Durante la evaluación técnica (TA) del NREF 2018 – 2022, se recomendó por parte de la CMNUCC, la finalización del primer ciclo del inventario forestal nacional (IFN) para mejorar la representatividad de los datos dasométricos, debido a que los factores de emisión fueron construidos considerando solamente el 20,4% de las unidades muestrales definidas para tal propósito. Como se indicó en el anterior numeral, el presente NREF presenta una mejora en este aspecto al aumentar el número de unidades muestrales analizadas en un 64,4% respecto al tamaño de la muestra. Con el propósito de realizar un monitoreo continuo del bosque, el país mantiene su decisión de establecer

¹⁸ Estas definiciones hacen parte del anexo 13 del BUR 3. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>

conglomerados permanentes de seguimiento en los próximos años en al menos un 3% de la muestra que fue definida para realizar el inventario forestal nacional.

10.3 Tipificación de la deforestación y emisiones netas

Una mejora técnica proyectada tiene que ver con determinar el cambio de coberturas/uso del suelo posterior al evento de deforestación. El país viene realizando importantes avances en este aspecto, lo cual alineará este reporte con el futuro BTR en el que se reportaran emisiones netas como resultado del balance entre la cobertura que se pierde y aquella que se regenera o se restablece dentro de cada unidad geográfica de análisis. Sin embargo, la adopción de este nuevo enfoque implicará un *trade off* con el uso de periodos de referencia inmediatos al inicio de la vigencia del próximo NREF debido a que el país requiere una brecha de tiempo para identificar la nueva cobertura / uso del suelo desde que se produce el evento de deforestación. Se estima que el espacio de tiempo para realizar tal identificación podría fluctuar entre 3 y 4 años, lo que obligaría a utilizar periodos de referencia cuyo último año considere esta particularidad.

10.4 Refinamiento de los factores de emisión para degradación forestal

Tal como se indicó para deforestación (numeral 10.1), la degradación forestal también será susceptible de mejoras en los factores de emisión en razón de los ajustes que puedan derivarse del análisis de las unidades muestrales faltantes del inventario forestal nacional (36% del tamaño de la muestra). Para el próximo NREF, el país contará con un refinamiento adicional respecto de los factores de emisión presentados en el presente nivel de referencia debido a que el 100% de las unidades muestrales habrán sido procesadas.

10.5 Modelación de circunstancias nacionales asociadas a la degradación forestal

El presente NREF incluye la degradación forestal como una de sus mejoras técnicas respecto del anterior NREF sometido ante la CMNUCC. Sin embargo, a diferencia de la deforestación, la proyección de las emisiones debidas a la degradación forestal no tiene asociadas circunstancias nacionales debido a limitantes de información respecto al comportamiento histórico de esta actividad REDD+. En virtud de lo anterior, dentro del plan de mejoras del próximo NREF se contempla la incorporación del análisis de circunstancias nacionales para degradación forestal.

10.6 Diferenciación de contenidos de carbono en suelos minerales y suelos orgánicos

Con el análisis y sistematización del 100% de los conglomerados que conforman el inventario forestal nacional, se podrá adelantar una estratificación de los suelos forestales diferenciándolos entre minerales y orgánicos con base en el mapa nacional de suelos. Esta diferenciación permitirá refinar los datos asociados a los contenidos de carbono por cada uno de estos tipos de suelos, lo que a la postre contribuirá a mejorar las estimaciones en las emisiones de CO₂ de este depósito de carbono.

10.7 Inclusión de las mejoras del presente NREF como parte del primer BTR

Para mantener la consistencia entre reportes, la información resultante del presente NREF será integrada como parte del primer BTR que presente Colombia ante la CMNUCC en 2024. Es posible que, por disponibilidad de información más reciente, algunas de las mejoras indicadas previamente, puedan verse reflejadas en dicho documento. El país trabajará para mantener la consistencia entre reportes ante la CMNUCC a medida que sus capacidades técnicas lo permitan.



11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Armenteras D., Retana J. 2012. *Dynamics, patterns and causes of fires in northwestern Amazonia*. PLoS ONE 7(4): e35288. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035288>.

Armenteras D., González T., Vargas O., Meza M., Oliveras I. 2020. *Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú*. *Caldasia* 42(1): 1-16. DOI: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>

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

Casarim, F., Ramírez-Delgado, J., Sidman, G., Bernal, B., McMurray, A., & Pearson, T. (2017). Estimación de emisiones del aprovechamiento forestal por tala selectiva: Propuesta de un método operacional para Colombia. s.l.: Winrock International.

Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S., Swenson, N., & Zanne, A. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 351-366.

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., . . . Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 3177-3190.

Clerici N., Armenteras D., Kareiva P., Botero R. Ramírez-Delgado J., Forero-Medina G., Ochoa J., Pedraza C., Schneider L., Lora C., Gómez C., Linares M., Hirashiki C., Biggs D. 2020. *Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods*. *Nature: Scientific Reports* (2020) 10:4971. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>

CLEAR. (2023). Edge width explained. University of Connecticut.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2020). CONPES 4021 - Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Planeación.

Da Silva S., Fearnside P., De Alencastro-Graça P., Brown I., Alencar A. De Melo W. 2018. *Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon*. *Forest Ecology and Management*, 424, 312-322.

DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarso, D., Schlamadinger, B., & Souza, C. (2006). Reducing greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries: considerations for monitoring and measuring. Rome: Global Terrestrial Observing System (GTOS).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2011). Atlas estadístico: Tomo I Demográfico. Obtenido de https://geoportal.dane.gov.co/servicios/atlas-estadistico/src/Tomo_I_Demografico/1.1.-el-territorio-colombiano.html

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2023). Cuenta ambiental y económica de flujos del bosque (CAE - FB) . Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (Marzo de 2023). Proyecciones y retroproyecciones de población para el periodo 1950 - 2019 y 2020 - 2070 con base en el CNPV 2018. Obtenido de Censo nacional de población y vivienda 2018 - Colombia: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

Departamento Nacional de Planeación. (2019). CONPES 3958: Estrategia para la implementación de la política pública de catastro multipropósito. Bogotá D.C.: DNP.

Fundación Ideas para la Paz (FIP). 2020a. *Fuerzas Militares y la protección del ambiente: roles, riesgos y oportunidades*. Fundación Ideas para la Paz. Bogotá, Colombia.

Fundación Ideas para la Paz (FIP). 2020b. *Dinámicas de la confrontación armada y su impacto humanitario y ambiental: tendencias en la pandemia, enero a abril de 2020*. Fundación Ideas para la Paz. Bogotá, Colombia.

Fundación Paz & Reconciliación (PARES). 2022. *Plomo es lo que hay: violencia y seguridad en tiempos de Duque*. Fundación Paz & Reconciliación, Línea de Paz, Posconflicto y Derechos Humanos. Bogotá, Colombia.

Galindo, G., Espejo, O., Rubiano, J., Vergara, L., & Cabrera, E. (2014). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. Versión 2.0. Bogotá D.C.: IDEAM.

GOFC - GOLD. (2008). Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting. Obtenido de https://unfccc.int/files/methods_science/redd/methodologies/other/application/pdf/gofc-gold_redd_sourcebook_version_july_2009_cop14_2.pdf

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

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2016. *Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña", No. 94 (mayo de 2016)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2022. *Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación - año 2021*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2023a. *Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación - año 2022*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2023b. *Seguimiento al ciclo ENOS El Niño - Oscilación del Sur, Boletín No. 183 (octubre de 2023)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023c). Cálculo de los factores de emisión para los sumideros forestales de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono orgánico del suelo y detritos de madera a partir de los datos del inventario forestal nacional [Documento no publicado]. Bogotá D.C.: IDEAM.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), Departamento Nacional de Planeación (DNP), Cancillería de Colombia. 2018. *Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*. IDEAM, PNUD, Minambiente, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2008). Atlas Básico de Colombia: Tomo I. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IPCC. (2003). Good practice guidance for land use, land-use change. Hayama, Japan: IPCC - IGES.

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

Ljubomir G., Car D, Drobnjak S., Hamid, Pourghasemi R. 2019. *Modeling the spatial variability of forest fire susceptibility using geographical information systems and the analytical hierarchy process*. Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00015-6>.

López D. 2022. *Colombia es el segundo país del mundo con más organizaciones criminales*. Artículo publicado en el Diario El País de España, 31 de agosto de 2022. <https://elpais.com/america-colombia/2022-08-31/colombia-es-el-segundo-pais-del-mundo-con-mas-organizaciones-criminales.html>

López, J. (6 de Julio de 2020). ¿A quien le pertenece la tierra en Colombia y como se divide el territorio por su uso? Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/economia/a-quien-le-pertenece-la-tierra-en-colombia-y-como-se-divide-el-territorio-por-su-uso-3026493>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023a). 7° Boletín Estadístico Forestal - Marzo 2023. Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Forestal.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023b). Proyecto Biocarbono Orinoquía. Obtenido de <https://biocarbono.org/proyecto/>

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

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & IDEAM. (2018). Estrategia integral de control a la deforestación y la gestión de bosques. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - IDEAM - Programa ONU-REDD - GIZ - FCPF - Banco Mundial - Fondo Acción.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Primer informe de cumplimiento de hitos bajo la modalidad 1 de la Declaración Conjunta de Intención renovada. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Junio de 2023). Resultados no causación - Boletín No. 10. Obtenido de Mercados de carbono: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/07/RESULTADOS-DE-NO-CAUSACIO%CC%81N-Boleti%CC%81n-No.10.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Definición de bosque para proyectos de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura para el primer periodo de compromisos. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Molinario, G., Hansen, M., & Potapov, P. (2017). Forest cover dynamics of shifting cultivation in the Democratic Republic of the Congo 2010-2010 (2015 Environ. Res. Lett. 10 094009). Environmental Research Letters.

Monroy D, Arias J, Barón O, Murcia U, Armenteras D. 2019. *Presiones ejercidas sobre la Serranía de La Lindosa, Guaviare: cambios de cobertura e incidencia de fuegos entre 2012 y 2018*. Acta biol. colomb. 24 (2): 372-378. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.72435>.

Narváez, G., & León, G. (2001). Caracterización y zonificación climática de la región Andina. Meteorología Colombiana, 121-126.

Negret P., Allan J., Brackowski A., Maron M., Watson J. 2017. *Need for conservation planning in postconflict Colombia*. Conservation Biology, Volume 31, No. 3, 499-500. Society for Conservation Biology. DOI: 10.1111/cobi.12935

Negret P., Sontera L., Watson J., Possingham H., Jones K., Suárez C., Ochoa-Quintero J., Maron M. 2019. *Emerging evidence that armed conflict and coca cultivation influence deforestation patterns*. Biological Conservation 239 (2019) 108176. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.07.021>

Niño C. 2022. *Cinco puntos críticos para una “paz total”*. Artículo publicado en Razón Pública, 30 de octubre de 2022. <https://razonpublica.com/cinco-puntos-criticos-una-paz-total/>

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

Olofsson, P., Foody, G., Stehman, S., & Woodcock, C. (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*, 122-131.

Olthof, I., Pouliot, D., Fernandes, R., & Latifovic, R. (2005). Landsat 7-ETM radiometric normalization for northern mapping applications. *Remote Sensing of Environment*, 388-298.

Palace, M., Keller, M., Hurtt, G., & Frohling, S. (2012). A review of above ground necromass in tropical forests. En P. Sudarshana, *Tropical forests* (págs. 215-252). Rijeka, Croatia: InTech.

Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M., Adusei, B., Broich, M., Altstatt, A., . . . Justice, C. (2012). Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000 - 2010 with Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 106-116.

Pourtaghi Z., Pourghasemi H., Aretanoc R., Semeraro T. 2015. *Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques*. *Ecological Indicators* 64: 72-84.

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

Prem M., Saavedra S., Vargas J. 2019. *End-of-conflict deforestation: evidence from Colombia's peace agreement*. Latin American and the Caribbean Economic Association (LACEA). Working paper series No. 0021. Bogotá, Colombia.

Ramirez-Delgado, J., Galindo, G., Yepes, A., & Cabrera, E. (2018). Estimación de la degradación de bosques de Colombia a través de un análisis de fragmentación. Bogotá D.C.: IDEAM - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Programa ONU - REDD Colombia.

Reynoso L. 2022. *Las cinco claves de la ley de la paz total de Gustavo Petro*. Artículo publicado en el Diario El País de España, 26 de octubre de 2022. <https://elpais.com/america-colombia/2022-10-26/las-claves-de-la-ley-de-la-paz-total.html>

Rodriguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). Ecosistemas de los Andes colombianos. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Rojas, O., & Murillo, O. (2000). Calidad de las plantaciones de teca en la Península de Nicoya, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 65-75.

Shapiro, A., Grantham, H., Aguilar-Amuchastegui, N., Murray, N., Gond, V., Bonfils, D., & Rickenback, O. (2021). Forest condition in the Congo Basin for the assessment ecosystem conservation status. *Ecological Indicators*.

Sierra, C., del Valle, J., Orrego, S., Moreno, F., Harmon, M., Zapata, M., . . . Benjumea, J. (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porcè region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 299-309.

Stehman, S. (2010). Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change. *Remote Sensing Letters*, 111-120.

Suárez A., Arias-Arévalo P., Martínez-Mera E. 2018. *Environmental sustainability in post-conflict countries: insights for rural Colombia*. *Environ Dev Sustain* (2018) 20: 997-1015. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9925-9>

Walter, H. (1977). *Vegetation of the Earth and ecological systems of the geo-biosphere*. Berlín: Springer verlag.

Weaver, P. (2000). Elfin woodland recovery 30 years after a plane wreck in Puerto Rico's Luquillo Mountains. *Caribbean Journal of Science*, 1-9.

White B. 2018. *Spatiotemporal variation in fire occurrence in the state of Amazonas, Brazil, between 2003 and 2016*. *Acta Amazonica* 48: 358-367