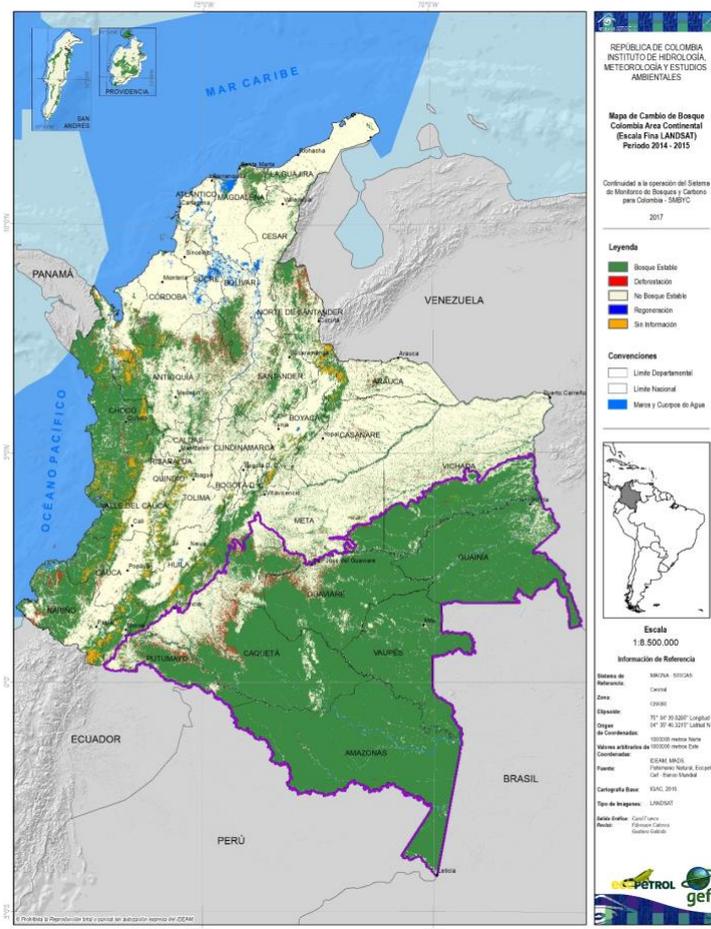


MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE – MADS

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM



REPORTE DE REDUCCIÓN DE EMISIONES BAJO EL ACUERDO REDD EARLY MOVERS (REM)

Resultados alcanzados por Colombia en la Reducción de Emisiones por Deforestación en el bioma amazónico para los pagos basados en los resultados de REDD+ bajo REM para el año 2016.

Bogotá, Junio de 2019

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	4
2. INTRODUCCIÓN	6
3. OBJETIVO	7
4. ALCANCE	8
5. ANTECEDENTES	9
5.1 PRINCIPIOS GENERALES	9
5.2 NIVEL DE PAGO PARA REM	10
5.2.1 NREF presentado por Colombia ante la CMNUCC.....	10
5.2.2 Metodología empleada	11
5.2.3 Nivel de Pagos para el programa REM con base en el NREF presentado por Colombia ante la CMNUCC....	12
5.3 USO DE LAS GUÍAS IPCC.....	13
5.4 SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO PARA COLOMBIA – SBYC.....	14
5.4.1 Establecimiento del Sistema Nacional de monitoreo de bosques, de acuerdo a las circunstancias y capacidades nacionales.....	14
5.5 DESCRIPCIÓN DE LOS ROLES Y RESPONSABILIDADES PARA EL MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN (MRV).....	16
5.6 CONSISTENCIA.....	18
5.7 PROCESO DE MEJORA CONTINUA DEL MRV	18
6. MÉTODOS	20
6.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	20
6.2 DEFINICIÓN DE BOSQUE Y DEFORESTACIÓN	20
6.3 GENERACIÓN DE DATOS DE ACTIVIDAD	21
6.3.1 Fase 1: Pre-procesamiento digital de imágenes de satélite.....	22
6.3.2 Fase 2: Procesamiento digital de imágenes de satélite.....	28
6.3.3 Fase 3: Cálculos y reportes.	39
6.4 GENERACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN	40
6.4.1 Compilación de datos de campo.....	40
6.4.2 Estratificación del bosque natural para la generación de factores de emisión	40
6.4.3 Estimación de la biomasa de los individuos	41
6.4.4 Limpieza de datos	41
6.4.5 Factor de emisión del bioma amazónico	42
6.5 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES BRUTAS	43
7. RESULTADOS DATOS DE ACTIVIDAD AÑO 2016.	44
7.1 DATOS DE ACTIVIDAD PARA EL AÑO DE REFERENCIA 2016	44
7.2 VALIDACIÓN TEMÁTICA 2016	45
7.2.1 Muestreo.....	45
7.2.2 Datos de referencia.....	46
7.2.3 Resultados de la Estimación de la Exactitud Temática de los Datos de Actividad- Matriz de Confusión	47
7.2.4 Matriz de Error e Intervalos de Confianza.....	47
8. RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN DE TONELADAS DE CO₂E AL AÑO, CONSISTENTE CON EL NREF PARA EL BIOMA AMAZÓNICO	49
8.1 REDUCCIONES DE EMISIONES 2016.....	49
8.2 REPORTE DE LAS INCERTIDUMBRES Y SESGOS.....	51
8.3 RESULTADOS DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LOS FACTORES DE EMISIÓN	51



9. BASES PARA LA VERIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA EL PROPÓSITO DE PAGO POR RESULTADOS	52
10. LITERATURA CITADA.....	53

1. RESUMEN EJECUTIVO

Desde el año 2013, los Gobiernos de Colombia, Noruega, Reino Unido y Alemania iniciaron la estructuración de un programa REDD+ de cooperación financiera basado en pagos por resultados en la reducción de la deforestación en la Amazonía colombiana. En diciembre de 2015 en el marco de la COP21 en París, el Gobierno de Colombia suscribieron contratos de aporte financiero y de implementación con los gobiernos de Alemania (a través del Banco Alemán de Desarrollo *Kreditanstalt für Wiederaufbau - KfW*), del Reino de Noruega (a través del Ministerio de Clima y Medio Ambiente -NICFI), y del Reino Unido (a través de *Secretary of State for Energy and Climate Change -DECC*). En estos acuerdos se previó suscribir un acuerdo separado para definir entre otros temas, el detalle de los bienes y servicios a ser financiados, el procedimiento de desembolso que permitieron estructurar e iniciar la ejecución del Programa REM - Visión Amazonía¹.

En el acuerdo separado suscrito en febrero de 2016, se establece que la realización de los pagos estará condicionada al reporte, la verificación, registro y desactivación de las Emisiones Reducidas (ER) de la deforestación evitada referente a 5 años desde 2013 hasta 2017 (apartado 8.11 del acuerdo). De la misma forma, el apartado 8.4 de este acuerdo establece que el Programa REM-VA operará en el marco del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) que Colombia sometió a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), estableciendo que solo se remunerarán ER por debajo del promedio histórico de deforestación bruta (82.883 ha/año). Para el contenido de carbono, el NREF usa un valor de 154,3 t C/ha para los bosques de la región de referencia, que representa un factor de emisión de 566,1 t CO₂e/ha.

De acuerdo con establecido en el acuerdo, en septiembre de 2016 el gobierno de Colombia presentó la versión final del primer reporte de reducción de emisiones bajo el acuerdo REDD Early Movers (REM) con los resultados alcanzados por Colombia en la Reducción de Emisiones por Deforestación en el bioma amazónico para los años 2013 y 2014. El segundo correspondiente a las ER del año 2015 fue presentado en noviembre de 2018 y el tercer reporte que corresponde a las emisiones alcanzadas por Colombia frente al NREF en 2016 y que se presentan en este documento.

Los principales resultados de estos dos primeros reportes permiten identificar una reducción de la deforestación respecto al promedio anual histórico establecido en el NREF para el bioma amazónico (ver figura 1).

¹ Cooperación Financiera entre KfW y Colombia (las Partes) – Programa Global REDD para Early Movers (EM) – Pagos por Resultados de Reducción de Emisiones por Deforestación (REDD+)

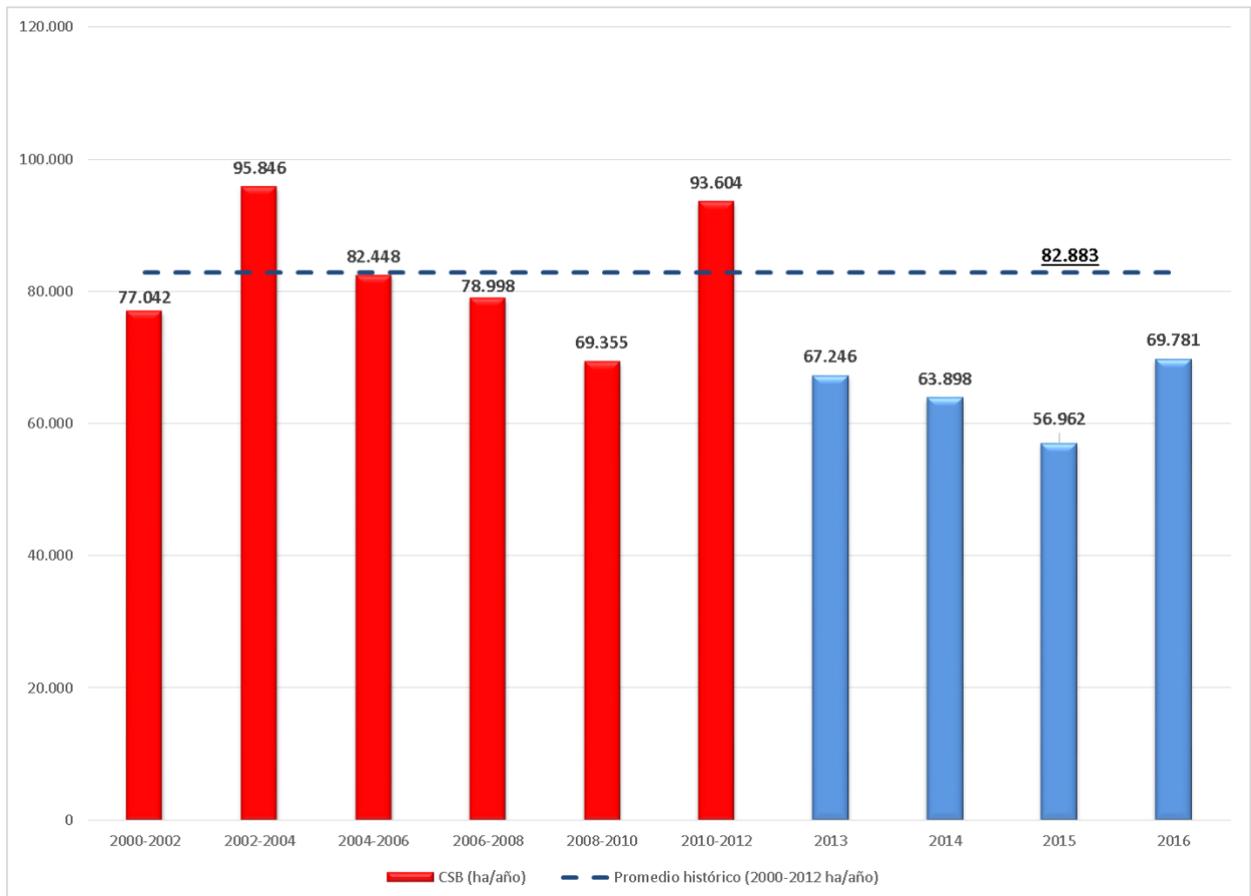


Figura 1. Monitoreo de la superficie deforestada en el Bioma de la Amazonia. Periodo 2000-2016

2. INTRODUCCIÓN

Como se mencionó, el acuerdo separado establece que la realización de los pagos estará condicionada al reporte, la verificación, registro y desactivación de las Emisiones Reducidas. En este sentido, durante los meses de noviembre y diciembre de 2016, el primer reporte de RE presentado por Colombia fue sometido al proceso de verificación internacional independiente del que trata el acuerdo separado, proceso ejecutado por la firma SCS Global. El informe final de verificación fue entregado por la firma el 17 de diciembre de 2016.

Sobre los resultados proporcionados en el reporte de Colombia sobre las reducciones de emisiones en el bioma Amazónico comparado con el FREL registrado con la CMNUCC para los años 2013 y 2014, el equipo verificador de SCS Global dio las siguientes opiniones:

- Los resultados se han obtenido aplicando metodologías de conformidad con las buenas prácticas aceptadas internacionalmente y definidas por los criterios de verificación pertinentes;
- Están libres de omisiones y/o falsas declaraciones que podrían conducir a errores y/o discrepancias considerables, y pueden ser considerados lo más precisos posibles dentro del alcance de la verificación;
- Son consistentes con la metodología establecida por Colombia en el desarrollo de su Nivel de Referencia para el Bioma Amazónico (FREL); y
- Pueden ser reconstruidos utilizando un proceso paso a paso, transparente y coherente.

Cabe resaltar que simultáneamente, en febrero de 2016, Colombia remitió oficialmente a la CMNUCC, como un Anexo Técnico de su Primer Informe Bienal de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés), el primer reporte de resultados de REDD+ con respecto al NREF para el Bioma Amazónico previamente sometido y exitosamente evaluado por la Convención en el 2015. El Anexo Técnico del BUR es enteramente consistente con el primer reporte bajo REM e incorpora resultados para los años 2013 y 2014. A la fecha de elaboración de este reporte, el Anexo Técnico se encontraba aún en proceso de análisis técnico por parte del Equipo Técnico de Expertos asignado por la Secretaría de la CMNUCC.

Este reporte, preparado por los equipos técnicos del MADS y el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), corresponde al tercer reporte en el marco del Programa REM-VA, y se presenta de manera completa y transparente, permitiendo la verificación independiente de las ER correspondiente al año 2016. Este reporte toma como base las guías más recientes del IPCC y contiene toda la información metodológica para calcular las ER, de modo que permite reconstruir el cálculo de los resultados (datos de actividad y factores de emisión) y su incertidumbre. En particular, este reporte utiliza como guía el *Outline Paper I: Reporting on emission reductions relative to the reference level*, acordados por las partes, y las recomendaciones de estructura propuestas en el informe final de la verificación entregado por SCS Global el 17 de diciembre de 2016.

3. OBJETIVO

El presente reporte de Reducción de Emisiones para el año 2016 tiene como fin:

- Asegurar la presentación de información coherente, completa, transparente y precisa de la reducción de emisiones resultante de la reducción de la deforestación en el bioma amazónico de Colombia para los pagos basados en resultados del programa REM.
- Proporcionar la base para la verificación independiente de las reducciones de emisiones logradas durante el año 2016 en el marco del programa REM.
- Asegurar que los informes sobre las emisiones de la reducción de la deforestación sean comparables entre periodos.

4. ALCANCE

El presente reporte tiene el siguiente alcance:

- a. Los reportes incluyen las emisiones derivadas de la deforestación bruta dentro del bioma amazónico colombiano en el año 2016.
- b. El NREF incluye los sumideros de biomasa aérea (BA) y biomasa subterránea (BS). No fueron incluidos la hojarasca, los detritos de madera muerta y el carbono orgánico en suelos, dado que actualmente no se cuenta con información suficiente para ello. Los resultados de los indicadores de desempeño acordados (deforestación bruta) son reportados en toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e).
- c. Los siguientes elementos son incluidos en el reporte:
 - Descripción de los sumideros de carbono y la estimación de las emisiones de CO₂e que se incluyen para el pago de resultados.
 - Las áreas cubiertas; descripción de los límites.
 - Definición de bosque aplicada;
 - Los datos de actividad, métodos de recolección y procesamiento.
 - El uso de factores de emisión; la justificación de la elección de los factores de emisión.
 - Los métodos utilizados para la estimación de las emisiones.

5. ANTECEDENTES

5.1 Principios generales

Colombia ha sometido a la CMNUCC un NREF para la región de referencia (i.e. bioma amazónico) considerando el periodo de 2000-2012 y aplicable al periodo 2013-2017. Este NREF fue sometido a una evaluación técnica por parte de la CMNUCC en 2015. El Proyecto operará en el marco de este nivel de referencia; sin embargo solo se remunerarán las ER por debajo del promedio histórico de deforestación bruta (82.883 ha/año) ya que el NREF sometido a la CMNUCC considera circunstancias nacionales con un ajuste de 10% por encima del promedio histórico. Para el contenido de carbono, el NREF usa un factor de emisión de 566,1 t CO₂e/ha para los bosques de la región de referencia. En comunicaciones públicas sobre el NREF vigente para el Proyecto, siempre se especificará que el Proyecto solo pagará por RE producidas debajo del promedio histórico.

El primer periodo de reporte incluyó las ER de los años 2013 y 2014 para la región de referencia estimada según la metodología usada para el NREF, aplicando los datos *wall-to-wall* para los dos años. Tendrá asociados tres pagos:

- Un primer pago, cuyo desembolso se hizo efectivo el 28 de junio de 2016 y que, según lo acordado entre las partes, no requirió verificación.
- El segundo pago se desembolsó el 31 de diciembre de 2016.
- El tercer pago se desembolsó el 31 de diciembre de 2017.

Los siguientes periodos de reporte serán anuales para las RE de 2015, 2016 y 2017 para la región de referencia y tendrán asociados un pago respectivamente.

- El cuarto pago correspondiente a las ER de 2015, para el cual el presente reporte constituye requisito, será desembolsado hasta 30 de junio de 2018.
- El quinto pago correspondiente a las ER de 2016 será desembolsado hasta 31 de diciembre de 2018.
- El sexto y último pago correspondiente a las ER de 2017 será desembolsado hasta 31 de diciembre de 2019.

El desembolso de los fondos del Proyecto estará condicionado al reporte, la verificación, el registro y la desactivación de las ER correspondientes a los años 2013 hasta 2017.

La verificación de las ER por deforestación se llevará a cabo por una tercera parte independiente, seleccionada a través de proceso de licitación internacional supervisado por el IDEAM y administrado por Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas (FPN). La contratación de la consultoría independiente que realice la verificación de las RE será cubierta por recursos del Proyecto. Los Términos de Referencia para la contratación, la metodología de la verificación y la selección de firmas consultoras a cargo de la verificación se definirán según los lineamientos

acordados entre el Destinatario y KfW (no objeción), en particular los *Outline Paper II: Criteria for selection and composition of independent verification team* y *Outline Paper III: Objectives and outline of verification process*.

El Destinatario producirá y publicará un reporte de las ER para cada periodo de reporte en el último trimestre de cada año, con excepción del periodo de 2013 y 2014.

Este informe debe ser completo, transparente y permitir la verificación independiente a partir de la evidencia entregada por el Destinatario. Las estimaciones de las RE deberán tener en cuenta las últimas guías del IPCC. El informe deberá contener los detalles metodológicos de los pasos aplicados para calcular las RE, de modo que permita reconstruir el cálculo de los resultados, y una sección con el cálculo de incertidumbre de las estimaciones para datos de actividad (incluyendo los datos de referencia, cálculo de precisión de las estimaciones por errores de omisión, errores de comisión y/o intervalos de confianza) y factores de emisión.

El formato del reporte se ha acordado entre las partes, usando los tres *outlines* del Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) acordados y compartidos vía e-mail el día 4 de noviembre de 2015 como guía, en particular el *Outline Paper I: Reporting on emission reductions relative to the reference level*. Adicionalmente, sin afectar de manera sustancial el contenido del reporte, se han adoptado las sugerencias de mejora referentes a la estructura del documento contenidas en el informe final de verificación entregado por SGS Global el 17 de diciembre de 2016 (página 63).

5.2 Nivel de pago para REM

5.2.1 NREF presentado por Colombia ante la CMNUCC

Colombia presentó de manera voluntaria su NREF del bioma amazónico ([ver link](#)), como parte de la adopción de las medidas mencionadas en el parágrafo 70 de la decisión 1/CP.16. El NREF cubre las actividades de **reducción de emisiones por deforestación**, teniendo en cuenta que los avances del país en otras actividades incluidas en el parágrafo 70 de la decisión 1/CP.16 aún no permiten realizar reportes con bajos niveles de incertidumbre.

Colombia aplica un enfoque paso a paso para el desarrollo del NREF en concordancia con la decisión 12/CP.17 (parágrafo 10), presentando un primer nivel de referencia subnacional con el objetivo de efectuar a futuro, la transición hacia un NREF para todo el territorio nacional que además incorpore mejor información, mejores metodologías y, cuando sea apropiado, nuevos reservorios de carbono y actividades.

Colombia resaltó que la presentación del NREF fue voluntaria y tiene como propósito exclusivo medir el desempeño de la implementación de las actividades señaladas en el parágrafo 70 de la Decisión 1/CP.16 y obtener pagos por las acciones REDD+ basado en resultados bajo las directrices del Marco de Varsovia sobre REDD+, de conformidad con las decisiones 9/CP.19, 13/CP.19 (parágrafo 2) y 14/CP.19 (parágrafos 7 y 8).

De conformidad con lo establecido en la Decisión 14/ Cp. 19 de la convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) y en el marco del segundo Informe Bienal de Actualización (IBA) Colombia presentó voluntariamente el segundo Anexo técnico de emisiones reducidas por deforestación bruta en los años 2015 y 2016 para el Bioma Amazónico (<https://tinyurl.com/y3ucjc4h>). Ese segundo Anexo Técnico no presenta cambios en la metodología general de estimación de datos de actividad (o de los factores de emisión y es consistente con las metodologías y definiciones que se presentan en el actual reporte de reducción de emisiones en el marco del Programa REM-Visión Amazonía.

El área que cubre el NREF corresponde al bioma amazónico, delimitada con base en criterios biogeográficos, principalmente asociados a presencia de bosque amazónico, geomorfología y rangos altitudinales (ver Figura 2).

5.2.2 Metodología empleada

La construcción del NREF de la actividad de *reducción de emisiones por deforestación bruta* en el bioma amazónico de Colombia se basa en la información generada por el SMByC, liderado por el IDEAM bajo las directrices del MADS. El SMByC ha generado una evaluación bienal de la deforestación bruta en la Amazonía colombiana para el periodo 2000-2012, utilizando principalmente imágenes del programa satelital LANDSAT, con una unidad mínima de mapeo de 1 ha. Los insumos y los datos sobre deforestación están disponibles en formato digital para que sean consultados en el marco del proceso de verificación la información de datos de actividad de se encuentran disponible para descarga en la siguiente página web: <http://smbyc.ideam.gov.co>

El *factor de emisión* integra el contenido de CO₂e por hectárea almacenado en la BA y BS (raíces) estimados para la región del NREF.

Las emisiones brutas por deforestación del NREF se estimaron para el periodo 2000-2012, teniendo en cuenta los datos de actividad y el factor de emisión.

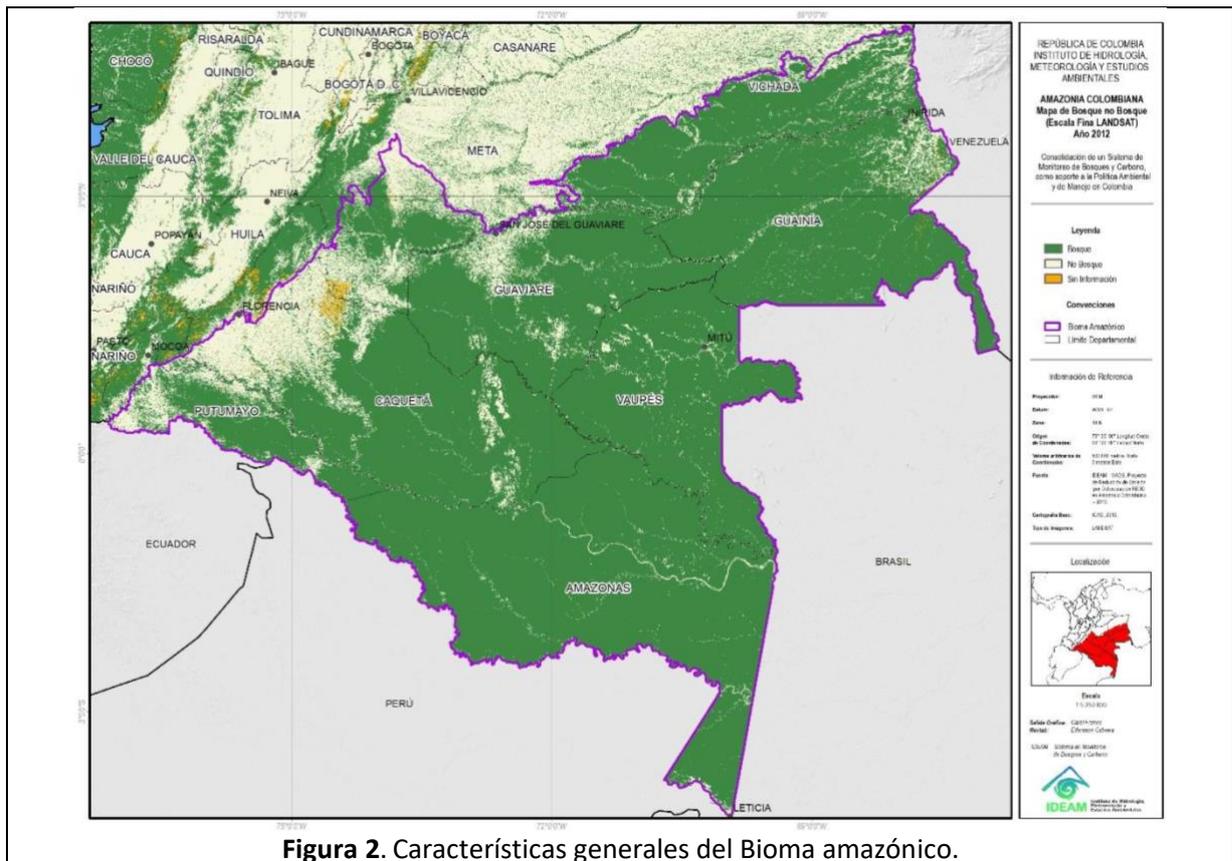


Figura 2. Características generales del Bioma amazónico.

Área total:	458.961 km ²
Área de bosque Año 2016:	396.613 km ²
Tipos de bosque: Bh-T(Tropical Moist Forest), Bmh-T(Tropical Wet Forest), Bmh-PM (Premontane Wet Forest)	

5.2.3 Nivel de Pagos para el programa REM con base en el NREF presentado por Colombia ante la CMNUCC

La estimación anual de emisiones por deforestación bruta del NREF tiene un periodo de proyección de cinco años (2013-2017) y corresponde al producto entre la deforestación bruta bienal promedio del periodo 2000-2012 (82.883 ha/año), y el factor de emisión estimado (566,1 t CO₂e/ha) [Ec. 1].

$$EA = 566,1t \text{ CO}_2e/ha \cdot 82.883 \text{ ha/año} = 46.920.066,3 t \text{ CO}_2e/año \text{ [Ec. 1]}$$

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores el NREF para el bioma amazónico de Colombia es de 46.920.066,3 t CO₂e/año (Figura 3), sin considerar el +10% de ajustes por Circunstancias Nacionales que fue presentando ante la CMNUCC.

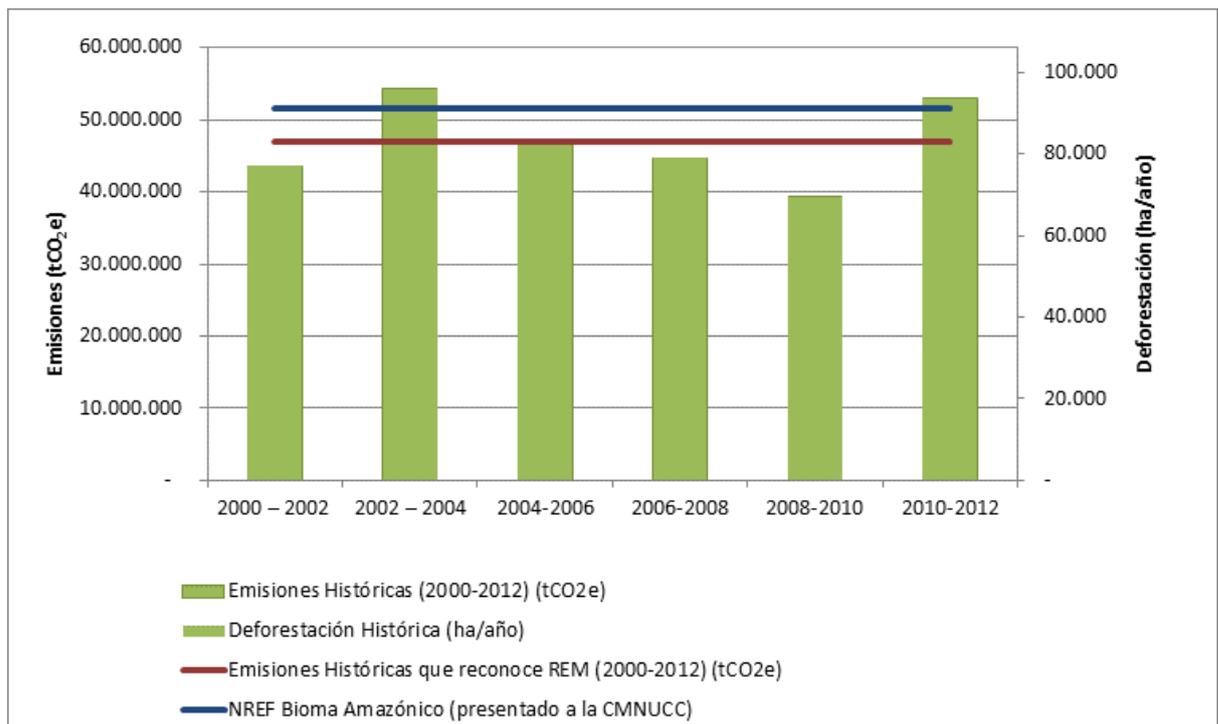


Figura 3. Comparación del NREF para el bioma amazónico colombiano (2000-2012), presentado ante la CMNUCC y Nivel de Pago que reconoce REM.

La evaluación técnica por parte de la convención fue publicada el 20 de octubre de 2015 ([link aqui](#)) y el equipo de evaluación señaló que los datos y la información utilizados por Colombia en la construcción de su NREF son transparentes y completos, y están de acuerdo con las directrices que figuran en el anexo de la decisión 12 / CP.17.

5.3 Uso de las Guías IPCC

El método empleado para la estimación de emisiones por deforestación en el NREF del bioma amazónico colombiano, en el nivel de pago para REM y en las reducciones de emisiones por deforestación para los años 2013, 2014, 2015 y 2016, es consistente con las directrices 2006 del IPCC y las orientaciones de buenas prácticas para la estimación de los “cambios en los contenidos de carbono de las tierras forestales convertidos a otras categorías de uso de las tierras”, descritas en GPG-LULUCF (IPCC 2003).

Los datos de actividad corresponden a las áreas de deforestación bruta (ha) cuantificadas anualmente y el factor de emisión integra el contenido de carbono por hectárea (t CO₂e/ha) en la BA y BS estimados por el SMByC, lo que conforma el conjunto de los datos necesarios para una estimación Tier 2 como lo sugiere IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (GPG LULUCF) (IPCC 2003).

5.4 Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia – SMBYC

El SMBYC permite contar con información sobre la deforestación en Colombia, incluyendo la identificación de superficies en áreas de Bosque (B) y No Bosque (NB), la cuantificación de la deforestación bruta/neta, y las áreas que se regeneran durante el período de análisis (cambio de no bosque a bosque), así como los cambios en la cantidad de carbono almacenado en diferentes coberturas y/o compartimientos, que se desprenden de este proceso.

La función principal del SMBYC es recopilar datos e información, que permitan realizar los cálculos necesarios para estimar (i) las reservas de carbono almacenadas en los bosques naturales, (ii) las emisiones asociadas con la deforestación y/o degradación de los bosques, (iii) el aumento de las reservas de carbono, y (iv) el reporte de las incertidumbres asociadas con cada una de ellas.

De acuerdo con lo dispuesto en las decisiones relevantes de la CMNUCC y el IPCC en su guía de las buenas prácticas, el SMBYC opera bajo los siguientes principios: transparencia, completitud, comparabilidad, consistencia y precisión. Este sistema fue adoptado oficialmente por Colombia mediante decreto 1655 del año 2017 (consulte decreto en este [link](#))

Los principales componentes del SMBYC son i) monitoreo de la deforestación, ii) monitoreo de biomasa bosques naturales, y iii) causas y agentes de deforestación. Toda la información generada por el SMBYC se encuentra disponible en la página web del sistema, a excepción de aquella que tiene restricciones de uso (<http://smbyc.ideam.gov.co/>).

5.4.1 Establecimiento del Sistema Nacional de monitoreo de bosques, de acuerdo a las circunstancias y capacidades nacionales

Colombia continua trabajando en el diseño y estructuración del Sistema de MRV de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) en diferentes niveles. El sistema MRV en Colombia estará basado en tres principales enfoques: emisiones, reducción de emisiones, y financiamiento. El Sistema nacional de Monitoreo de Bosques es el eje articulador del componente de emisiones del sistema MRV, a través del seguimiento de la dinámica de la cobertura de bosque natural a nivel nacional y regional.

Asimismo, en el marco del artículo 171 de la ley 1753 de 2015 se establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “elaborará una política nacional de lucha contra la deforestación que contendrá un plan de acción dirigido a evitar la pérdida de bosques naturales para el año 2030. Esta política incluirá previsiones para vincular de manera sustantiva a los sectores que actúan como motores de deforestación, incluyendo las cadenas productivas que aprovechan el bosque y sus derivados. Esta política tendrá metas específicas con la participación de los gremios productivos, bajo la figura de acuerdos para la sostenibilidad, donde se comprometan a recuperar bosques arrasados hasta la fecha, en función de su actividad económica”.

Ésta política se encuentra en proceso de formulación, y contempla la creación, consolidación y mejora continua de los instrumentos como el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono, y el Inventario

Forestal Nacional como condición indispensable para cumplir con los objetivos dispuestos en la precitada ley.

Las bases del actual Plan Nacional de Desarrollo identifican de manera específica la implementación del Inventario Forestal Nacional y la consolidación del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono como dos de las acciones estratégicas para la reducción de la deforestación, actividad enmarcada en el objetivo de proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural y mejorar la calidad y la gobernanza ambiental del Crecimiento Verde, estrategia transversal.

Por otro lado, el SMBYC es un instrumento que genera información indispensable para diseñar y poner en marcha políticas nacionales en materia de cambio climático y bosques. La figura 4 a continuación ilustra los diferentes niveles en los que el SMBYC actúa como proveedor de datos e información para la toma de decisiones.



Figura 4. Políticas nacionales que usan información del SMBYC

Así las cosas, durante el 2016, Colombia avanzó en procesos que tienen por objeto afianzar los arreglos institucionales para el funcionamiento y la efectiva operación del SMBYC. Dentro de ellos se encuentran:

- Inclusión de un artículo con disposiciones sobre el SMBYC en el proyecto de ley de cambio climático, actualmente en desarrollo. En paralelo, el gobierno trabaja en la estructuración de una propuesta normativa para reglamentar lo concerniente al SMBYC y al Inventario Forestal

Nacional y el Sistema Nacional de Información Forestal como herramientas complementarias para la gestión forestal y la reducción de la deforestación.

- Diseño de un protocolo de lucha contra la deforestación, que busca llenar los vacíos de información y procedimentales y crear los arreglos institucionales necesarios para atacar esta problemática.
- Inicio de la fase de campo del Inventario Forestal Nacional, ciclo 1.

5.5 Descripción de los roles y responsabilidades para el monitoreo, reporte y verificación (MRV²)

Los componentes del sistema nacional de MRV se están diseñando y construyendo para que permitan estandarizar procesos de medición, monitoreo, recolección, gestión de datos y reporte de resultados, los cuales son necesarios para demostrar el cumplimiento de metas y compromisos nacionales e internacionales, así como asegurar la calidad y coherencia de los datos reportados. En la Tabla 1 se presenta el esquema de MRV para el NREF.

Tabla 1. Roles y responsabilidades para el Monitoreo, Reporte y Verificación de resultados.

MRV	Instrumento/proyecto	Institución responsable	Roles	Información adicional
Monitoreo	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC)	IDEAM, Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	Realizar seguimiento de la cobertura de bosque natural a nivel nacional y regional, a través de cuatro componentes: i) Alertas tempranas de deforestación; ii) monitoreo de carbono y iii) cuantificación de la superficie de bosque y deforestación; y iv) Caracterización de Causas y Agentes de deforestación. Además, es el responsable de realizar la estimación de emisiones por reducción de la deforestación a nivel nacional y regional.	http://smbyc.ideam.gov.co/ http://www.siac.gov.co/smbyc
	Inventario Forestal Nacional (IFN)	MADS IDEAM, Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	Recoger datos que permitan realizar una estimación de las variables (y su error asociado) definidas para caracterizar las coberturas boscosas del país. Proveer información periódica y con un concepto multipropósito sobre la estructura, composición florística, diversidad, biomasa área, carbono almacenado en los detritos de madera muerta y en los suelos, y volumen de	http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestal-nacional

² El monitoreo, reporte y verificación de las reducciones de emisiones consiste en el proceso de seguimiento continuo al avance y los impactos generados por la implementación de medidas de mitigación.

MRV	Instrumento/proyecto	Institución responsable	Roles	Información adicional
			madera del bosque, la calidad y condiciones de la masa forestal, y la dinámica del recurso forestal.	
Reporte	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC)	IDEAM, Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	Nivel Nacional: <ul style="list-style-type: none"> ● Boletín Trimestral de Alertas Tempranas por Deforestación. ● Protocolos nacionales. ● Mapas deforestación y contenido de carbono. ● Reportes Anuales de superficie de Bosque y deforestación nacional. Nivel regional: <ul style="list-style-type: none"> ● Reportes detallados de Alertas Tempranas en sitios críticos de Deforestación a nivel nacional (especial énfasis en el Bioma Amazónico). Nivel Internacional: <ul style="list-style-type: none"> ● Reporte requeridos por la CMNUCC relacionados principalmente con REDD+, como el NREF y el Anexo Técnico del BUR. 	http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/bosques-y-recurso-forestal http://smbyc.ideam.gov.co/
	Inventario Forestal Nacional (IFN)	MADS IDEAM, Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	Proveer información que permita estimar los cambios de la biomasa aérea, el volumen de madera, el área basal, el número de individuos arbóreos y el carbono almacenado en el suelo y en los detritos de madera a lo largo del tiempo.	
Verificación	Consulta con expertos internacionales	UNFCCC	Verificación por las Partes, a través del nombramiento de expertos en LULUCF para evaluar el NREF y los Anexos Técnicos presentados.	http://unfccc.int/methods/redd/redd_web_platform/items/4531.php

El SMByC es uno de los componentes del sistema MRV y además de proporcionar la información para el MRV de REDD+ es fuente de información y metodologías para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero específicamente del sector AFOLU, lo que garantiza la consistencia de los reportes.

De acuerdo con el párrafo 1(d) decisión 4/CP.16, Colombia ha establecido el SMByC como componente del MRV, como un sistema robusto, basado en las capacidades nacionales, que ha implementado operacionalmente la integración de datos de sensores remotos (imágenes de satélite), para la generación de datos de actividad (cuantificación de la deforestación), y estimación de contenidos de carbono en bosques naturales tal como se describe en la sección del sistema de monitoreo arriba.

Los métodos y datos e información utilizada en la estimación de las emisiones por deforestación proveen información transparente, consistente y precisa, lo que se evidencia en las conclusiones del reporte de evaluación técnica del NREF.

5.6 Consistencia

La estimación de los resultados del presente Reporte empleó la misma superficie, definición de bosque, sumideros, metodologías y conjunto de datos e información usados para la construcción del NREF del bioma amazónico colombiano, que fue objeto de evaluación técnica según lo establecido bajo la CMNUCC. Asimismo, este reporte es consistente con las metodologías y definiciones utilizadas en el primer y segundo reporte de reducción de Emisiones (ER) en el marco del Programa REM – Visión Amazonia y las utilizadas por Colombia para la presentación del Anexo técnico de resultados 2013 y 2014 de REDD+, en el marco del primer Reporte Bienal de Actualización de Emisiones –BUR (por sus siglas en inglés).

5.7 Proceso de mejora continua del MRV

La presentación de este segundo reporte y de los próximos reportes bajo el Programa REM –Visión Amazonia se basan en la información proporcionada por el Sistema de monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC).

El SMByC es el instrumento del MRV nacional, que permitirá contar con información para realizar los cálculos necesarios para estimar (i) las reservas de carbono almacenadas en los bosques naturales, (ii) las emisiones asociadas con la deforestación y/o degradación de los bosques, (iii) el aumento de las reservas de carbono, y (iv) el reporte de las incertidumbres asociadas con cada una de ellas.

El SMByC, de acuerdo con lo dispuesto en las decisiones relevantes de la CMNUCC y el IPCC en su guía de las buenas prácticas, provee información periódica, transparente, completa, comparable, consistente y precisa, que se encuentra en proceso de mejora continua y de incorporación de nuevos datos que permitan mejorar su precisión.

Como parte del proceso de mejora continua del sistema MRV se desarrolló una Hoja de Ruta que actualmente está en proceso de implementación. Este Hoja de ruta describe las actividades previstas, la institución(es) responsable(s), fecha inicio, fecha finalización y productos asociados. En términos generales, es posible mencionar que de las 29 actividades contempladas, 19 de ellas ya se encuentran en proceso de ejecución lo cual ha permitido el mejoramiento de capacidades técnicas del IDEAM, el MADS y las instituciones vinculadas al MRV. Asimismo, se ha identificado la necesidad de ajustar la temporalidad de algunas intervenciones previstas en la hoja de ruta, a fin de articularlas adecuadamente a los procesos en marcha en las instituciones mencionadas.

El Anexo 1 del presente documento contiene los avances alcanzados por Colombia en la implementación de la Hoja de ruta para el mejoramiento del MRV en el país, especialmente relacionados con el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono del IDEAM.



6. MÉTODOS

Esta sección describe los métodos utilizados tanto para la estimación del NREF, como para el Nivel de pago del programa REM.

6.1 Área de Estudio

Colombia presentó en 2014 un primer Nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) subnacional, como un primer paso hacia la construcción de un NREF nacional. El área considerada en dicho NREF corresponde al bioma³ amazónico (Figura 1), que fue delimitado con base en criterios biogeográficos, principalmente asociados a la presencia de coberturas boscosas, geomorfología y rangos altitudinales (Narváez & León 2001, Rodríguez *et al.* 2006).

El área cubre 458.961 km², que equivale a *ca.* 40% del territorio continental colombiano, localizados en los departamentos de Putumayo, Caquetá, Amazonas, Guainía, Guaviare, Vaupés, Meta, Vichada y Cauca, bajo la jurisdicción de cinco Autoridades Ambientales Regionales: Corpoamazonia, CDA, Cormacarena, Corporinoquia y CRC.

Su límite noroccidental corresponde al denominado piedemonte, ubicado entre los 400-500 msnm, donde convergen elementos andinos y tropicales de la Amazonía, el límite nororiental 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, la República Federativa de Brasil, la República del Perú y la República del Ecuador.

6.2 Definición de Bosque y Deforestación

Para efectos de la Estrategia Nacional REDD+ (ENREDD+) y particularmente para la construcción del NREF, se define bosque como *“tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 metros al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria”*. Esta definición es consecuente con los criterios definidos por la CMNUCC en su decisión 11/CP.7, con la definición adoptada por Colombia ante el Protocolo de Kioto (MAVDT 2002), así como con la definición de la cobertura de bosque natural utilizada para la estimación y reporte del INGEI y la incluida en la adaptación para Colombia de la leyenda de la metodología CORINE Land Cover Colombia (CLC).

³ El concepto de bioma define ambientes grandes y uniformes de la geobiósfera y corresponde a un área homogénea en términos biofísicos. En Colombia se pueden identificar cinco grandes biomas: Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico.

A su vez, se entiende como deforestación 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 2009).

6.3 Generación de Datos de Actividad

El SMByC desarrolló un protocolo de procesamiento digital de imágenes para la generación de información sobre la distribución, extensión y cambios en la cobertura boscosa en Colombia (Galindo *et al.* IDEAM 2014). Este protocolo se implementa a través de la utilización de imágenes provenientes del programa satelital LANDSAT (USGS 2014), dada la disponibilidad histórica, la resolución temporal y espacial para el monitoreo de la cobertura boscosa, facilidad de acceso a los datos y posibilidades de permanencia de dicho programa. La descripción detallada del proceso metodológico para la generación de la información de los cambios en la superficie de bosque se encuentra disponible en: <https://tinyurl.com/yau248en> y se incorporan mejoras y descripciones adicionales en el Documento Metodológico de la Operación Estadista del monitoreo de la Superficie de Bosque que se encuentra disponible en: <https://tinyurl.com/ybxh67uk>.

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** (*i.e.* apilamiento de bandas, corrección geométrica, calibración radiométrica, enmascaramiento de nubes y cuerpos de agua, y normalización radiométrica); ii) el **procesamiento digital de imágenes** (*i.e.* detección automatizada de cambios en la superficie de bosque, verificación visual de los cambios detectados, y control de calidad del proceso); iii) **la validación de los datos** utilizando un diseño de muestreo aleatorio y estratificado; y iv) el **reporte de los datos de actividad** (*i.e.* cálculo y reporte de los cambios en la superficie de bosque natural). Asimismo, para facilitar la lectura metodológica, en este reporte se presentan las diferentes etapas de cada fase a través de pasos metodológicos, en total 12, como se describe en esta sección del reporte.

Como se mencionó, Colombia aplica un enfoque paso a paso para el desarrollo del NREF y el reporte de ERs (acorde con la decisión 12/CP.17, párrafo 10). Este enfoque permite la incorporación de mejor información, en este sentido, la construcción del NREF usó una frecuencia bienal de monitoreo de la deforestación en el periodo histórico 2000-2012, y la estimación de ERs usó una frecuencia anual de monitoreo para los años 2013, 2014, 2015 y 2016.

Lo anterior debido a que desde el año 2013 Colombia desarrolló las capacidades técnicas para producir información oficial de la superficie de bosque con esta periodicidad. No obstante, es importante mencionar que en ambos casos la misma metodología, definiciones y procedimientos han sido aplicados para la generación de los datos de actividad. Se espera que estas capacidades desarrolladas por el equipo técnico del SMBYC sean implementadas rutinariamente durante los próximos años en el marco del plan de mejoramiento del sistema.

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

En la fase de pre-procesamiento, 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 (una descripción detallada de la fase pre-procesamiento puede ser consultada en Galindo et al. IDEAM 2014). A continuación se describen los pasos que forman parte del pre-procesamiento.

Paso 1. Selección y descarga de imágenes para el año 2016

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.

Así, para el año de referencia 2016, para Colombia se descargaron 1.817 imágenes Landsat 7 ETM y Landsat 8 a través del portal para descarga (EROS *clearinghouse*) de USGS⁴. Es importante mencionar que todas las imágenes disponibles dentro del periodo de referencia, para este caso el año 2016, son descargadas y todos los píxeles con información adecuada (es decir que tengan un adecuado coregistro pixel a pixel, y no tengan efectos de contaminación atmosférica por nubes, sombras o bruma) son empleados en el análisis. Los píxeles sin información, como es el caso de los afectados desde 2003 por el fallo en el Scan Line Corrector de Landsat 7 ETM+, se eliminan aplicando el enmascaramiento. Para optimizar esta operación de eliminación de los píxeles se cuenta con una herramienta de desarrollo propio del SMBYC, implementada en QGIS ((Qgis Plugin CloudMasking <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/>))

Cuando los datos Landsat no proveen una cobertura libre de nubes suficiente, se aplica un procedimiento para complementar el conjunto de imágenes con otras incluyendo las provenientes de CBERS, RapidEye, ASTER y Sentinel 2.

La cobertura completa anual del bioma Amazónico es proporcionada por 30 trayectorias de imágenes. Adicionalmente, se establece un protocolo para la proyección geográfica (UTM 18N) y nivel de procesamiento de las imágenes descargadas y, de encontrarse disponible, se obtiene la reflectancia superficial de los datos Landsat de alto nivel a través del Sistema de Observación y Ciencias de Recursos Terrestres del USGS⁵.

⁴ <http://earthexplorer.usgs.gov>

⁵ <https://espa.cr.usgs.gov/>

Paso 2. Apilamiento de bandas

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

Para el procesamiento y análisis de la detección de cambio, las bandas seleccionadas de las imágenes son extraídas y apiladas para cada una de las imágenes. Tanto para Landsat-7 ETM+ como para Landsat-8 OLI estas bandas corresponden a: rojo, infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) y dos infrarrojos de onda corta. No obstante, para cada misión, estas corresponden a bandas diferentes, es así que para Landsat 4-5 TM y Landsat-7 ETM+ se selecciona la banda 3 (Rojo -0.631 - 0.692 nm) , banda 4 (Infrarrojo cercano 0.772-0.898 nm), banda 5 (SWIR-1 1.547-1.749 nm) y banda 7 (SWIR-2 2.107 -2.294 nm). Para Landsat-8 OLI se selecciona la banda 4 (Rojo 0.636-0.673 nm), banda 5 (Infrarrojo cercano 0.851 -0.879 nm), Banda 6 (SWIR-1 1.566 -1.651 nm) y la banda 7 (SWIR-2 2.107-2.294 nm).

Debido a la gran cantidad de imágenes que se requiere para construir el compuesto (solamente para el año 2016 se utilizaron 1478 imágenes), en este paso se aplica un mecanismo en el que se recodifican los nombres de las bandas (1, 2, 3 y 4) para facilitar su manipulación y procesamiento. Los procedimientos para la selección, apilamiento, recodificación y almacenamiento de las bandas apiladas en directorios internos del IDEAM se desarrollan a través de los scripts de Python específicos de ambas misiones de Landsat y que se encuentran disponibles en la página de algoritmos del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (<https://bitbucket.org/smbyc/>)

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

Paso 3. Corrección geométrica

Para la construcción de los compuestos anuales de imágenes, se requiere tener un co-registro exacto a nivel de pixel entre todas las imágenes adquiridas para cada escena. Los productos L1T suministrados por el Earth Resources Observation and Science Center (EROS) suelen tener una correspondencia exacta de los pixeles, sin embargo antes de realizar la interpretación se realiza una revisión de cada imagen y se ajustan o excluyen aquellas que no cumplan esta condición. Las imágenes codificadas por EROS como T2 o RT no suelen tener este co-registro pixel a pixel, pero cuando estas imágenes son del último trimestre del periodo de análisis, se procura aplicar procedimientos de corrección geométrica para asegurar un adecuado co-registro entre ellas y así utilizarlas adecuadamente.

El procedimiento de control de calidad busca asegurar que todos los pasos del proceso metodológico se cumplan a cabalidad y para el paso de la *Corrección Geométrica* se toma una muestra de las imágenes de cada intérprete y revisa el co-registro entre ellas. Adicionalmente, cuando se generan las métricas anuales se realiza una revisión de su co-registro de acuerdo a la base del marco geoestadístico utilizado. Especialmente el compuesto *min* que corresponde al mínimo valor radiométrico de los píxeles del periodo de análisis se utiliza para corroborar que todas las imágenes del año para una determinada escena tengan un adecuado correregistro.

Paso 4. Enmascaramiento de nubes y sombra

Con el propósito de 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. Para el año 2016, en este proceso se utilizaron productos de enmascaramiento de nubes provistos por USGS e imágenes de Landsat; se aplican una serie de filtros de enmascaramiento implementados por el IDEAM (Qgis Plugin CloudMasking <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/>) (Figura 5) y se realiza un proceso de ajuste final ejecutado por intérpretes cuando se está llevando a cabo la validación del mapa.

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

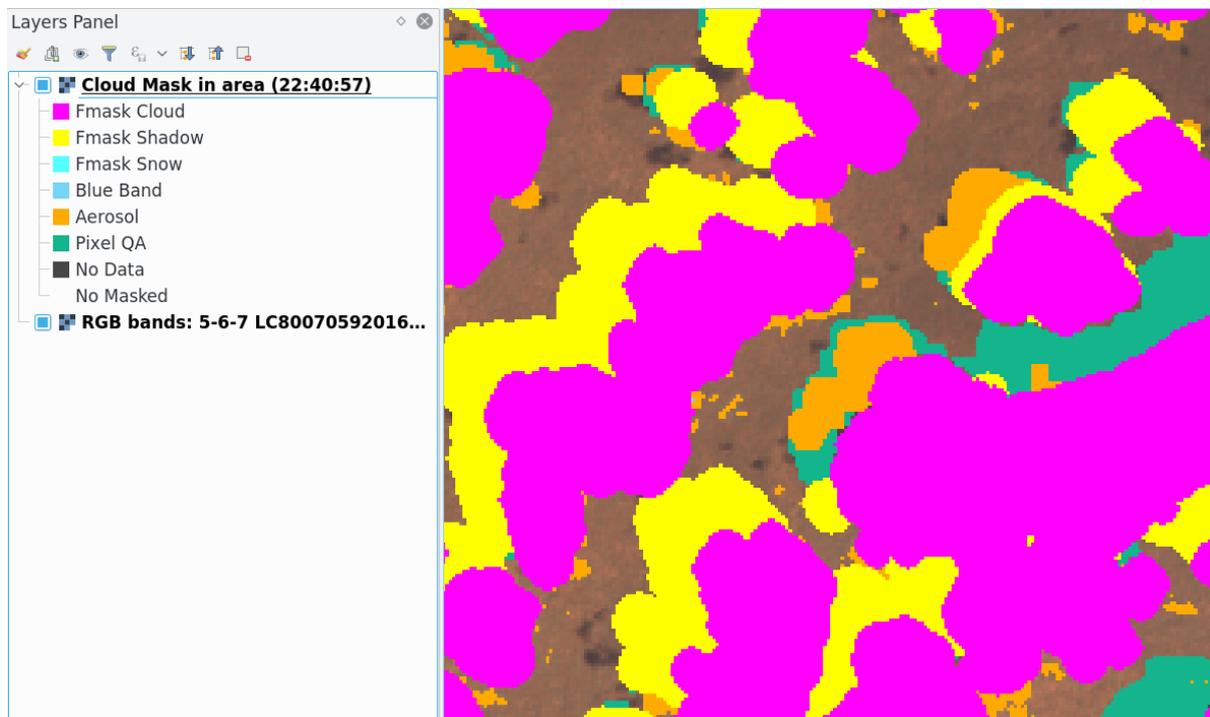


Figura 5. Ejemplo de los filtros disponibles para el enmascaramiento de nubes en la herramienta Cloud Masking desarrollada por el SMyC.

Paso 5. Normalización radiométrica

Se 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 realizar esta corrección se parte de la asunción de que las radianzas medidas en el sensor y durante diferentes periodos para áreas con reflectancia constante se pueden aproximar por funciones lineales. De acuerdo a esto, el procedimiento de normalización utilizado corresponde a la Alteración de la Detección Multivariante e interactiva -iMAD (Canty et al, 2008) en donde a través de transformaciones lineales de los datos originales se maximiza la correlación entre las imágenes base con las imágenes a normalizar. Para ejecutar este procedimiento se cuenta con scripts en Python (ARRNorm -<https://bitbucket.org/smbyc/arrnorm>).

Paso 6. Obtención del compuesto de imágenes

En este proceso se emplean todas las imágenes disponibles para Colombia del año correspondiente, de tal forma que para cada unidad de observación (pixel) se tiene una serie de tiempo anual con todos los datos de superficie de reflectancia válidos para ese año. Posteriormente, y tomando como insumo dicha serie de tiempo, para cada pixel se obtienen diferentes estadísticas que resumen la tendencia central o la variabilidad de esa serie de tiempo de manera anual o intra-anual. La principal métrica generada es la mediana anual de cada banda espectral (Figura 5), 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) La construcción de este mosaico de mediana tiene dos objetivos principales:

- Control de cobertura: Al incluir todas las escenas disponibles de cada año (aunque tengan un área muy reducida de información) se garantiza el mayor cubrimiento disminuyendo al mínimo la pérdida de información, ya que cada una de las unidades de observación que tengan información (valor de reflectancia) deberán ser interpretadas y clasificadas.
- El valor de la mediana permite disminuir los efectos por cambios estacionales en los bosques que podrían confundirse con pérdidas o ganancias.
- Aunque la mediana es el principal estadístico obtenido, también se realizan compuestos de otros estadísticos (valor de la última fecha disponible, valor máximo, mínimo, valor de la mediana del último trimestre, conteo de valores válidos para cada unidad de observación, entre otros) que sirven de apoyo en la detección de cambios. La construcción de estos compuestos para todo el país se realiza mediante herramientas propias desarrolladas en lenguaje de programación Python (<https://smbyc.bitbucket.io/stackcomposed/>).

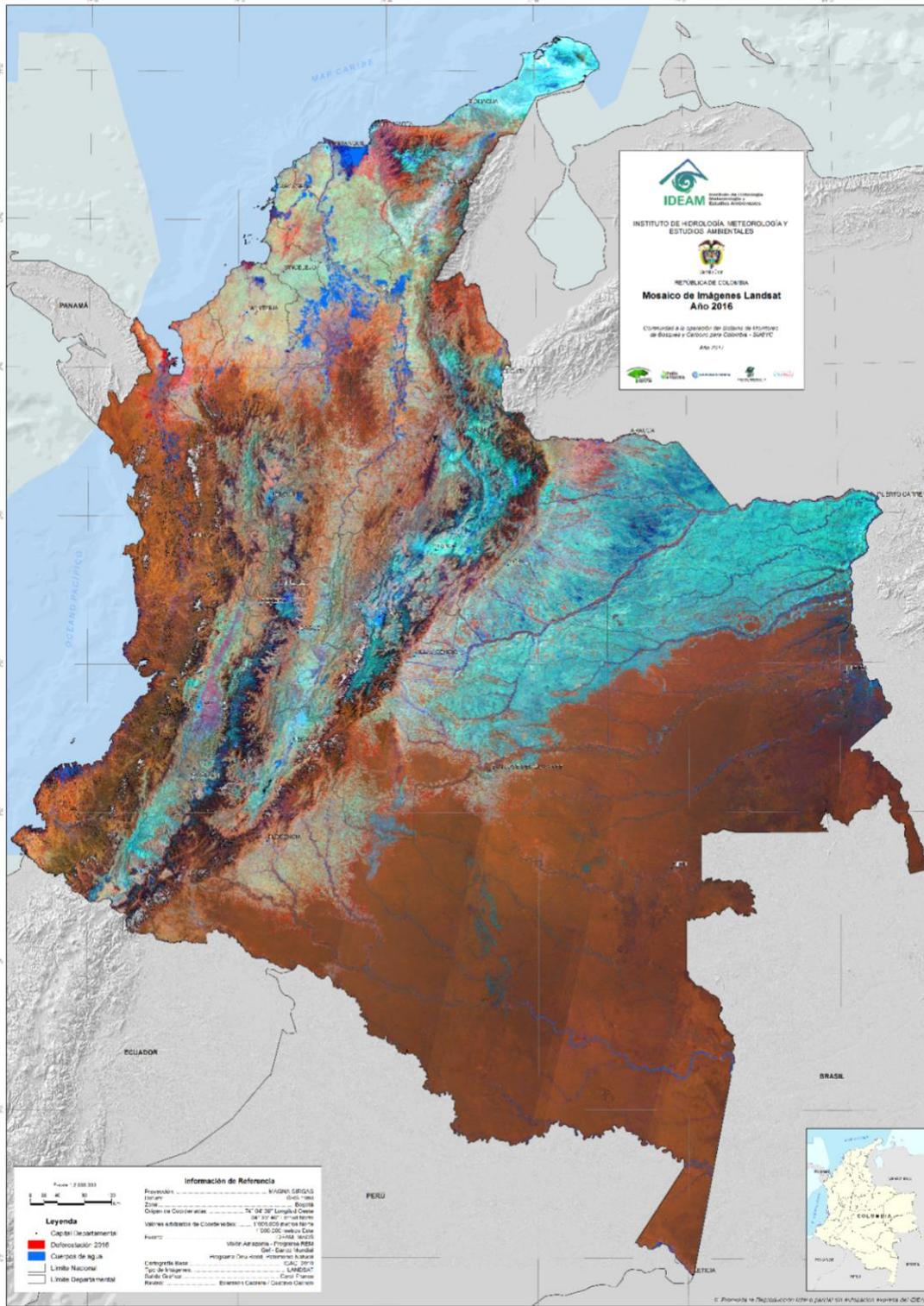


Figura 6. Mosaico de mediana de la superficie de reflectancia 2016, obtenido mediante el procesamiento de las imágenes Landsat ETM y Landsat 8 OLI del 1 de enero de 2016 al 31 de diciembre de este año, de acuerdo a la metodología definida.

A pesar de que la utilización del compuesto de la mediana anual reduce las áreas sin información, también podría aumentar el error de omisión si el cambio ocurre durante los últimos meses del año. Para evitar este problema, después del proceso descrito anteriormente, se realiza una verificación visual y ajuste manual de los resultados utilizando el dato del último pixel del año (*last pixel*) y la última imagen disponible del último trimestre del año, incorporando al resultado final los cambios que no fueron detectados utilizando el compuesto temporal de mediana.

Los compuestos anuales de imágenes son el resultado de la integración de todas las imágenes disponibles que cumplen con los criterios de control de calidad requeridos (ver Figura 7).

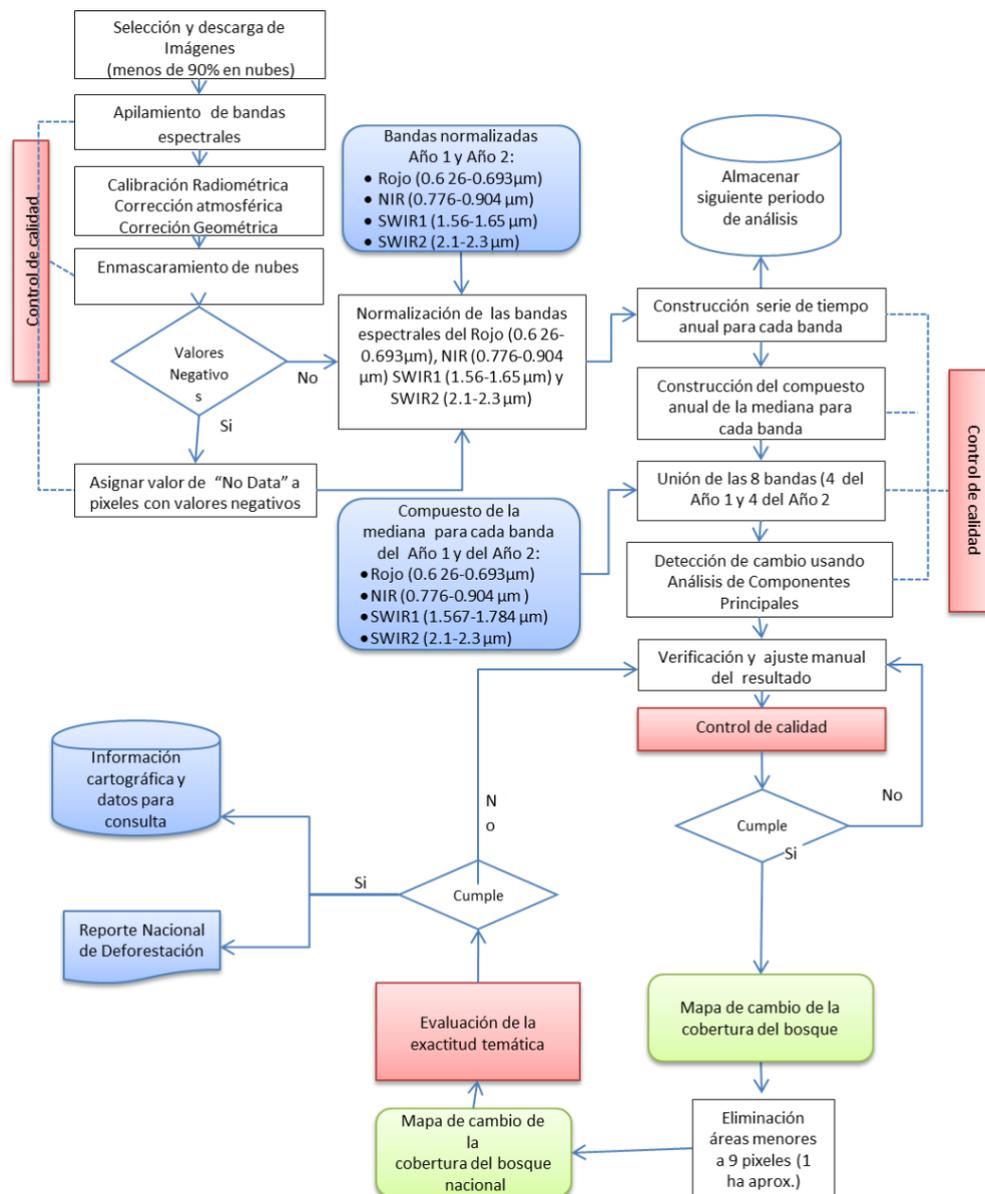


Figura 7. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes v.2.

Mayor información acerca del protocolo anteriormente descrito está disponible en la documentación complementaria del NREF evaluado por la CMNUCC, disponible en: (http://redd.unfccc.int/files/anexo_a_protocolo_procesamiento_digital.pdf) y en la siguiente link: (<https://tinyurl.com/ybxh67uk>)

La figura 8 presenta la distribución mensual de las imágenes LANDSAT utilizadas para la generación del compuesto para el año 2016 y el promedio de la cobertura de nubes del bioma Amazónico de Colombia.

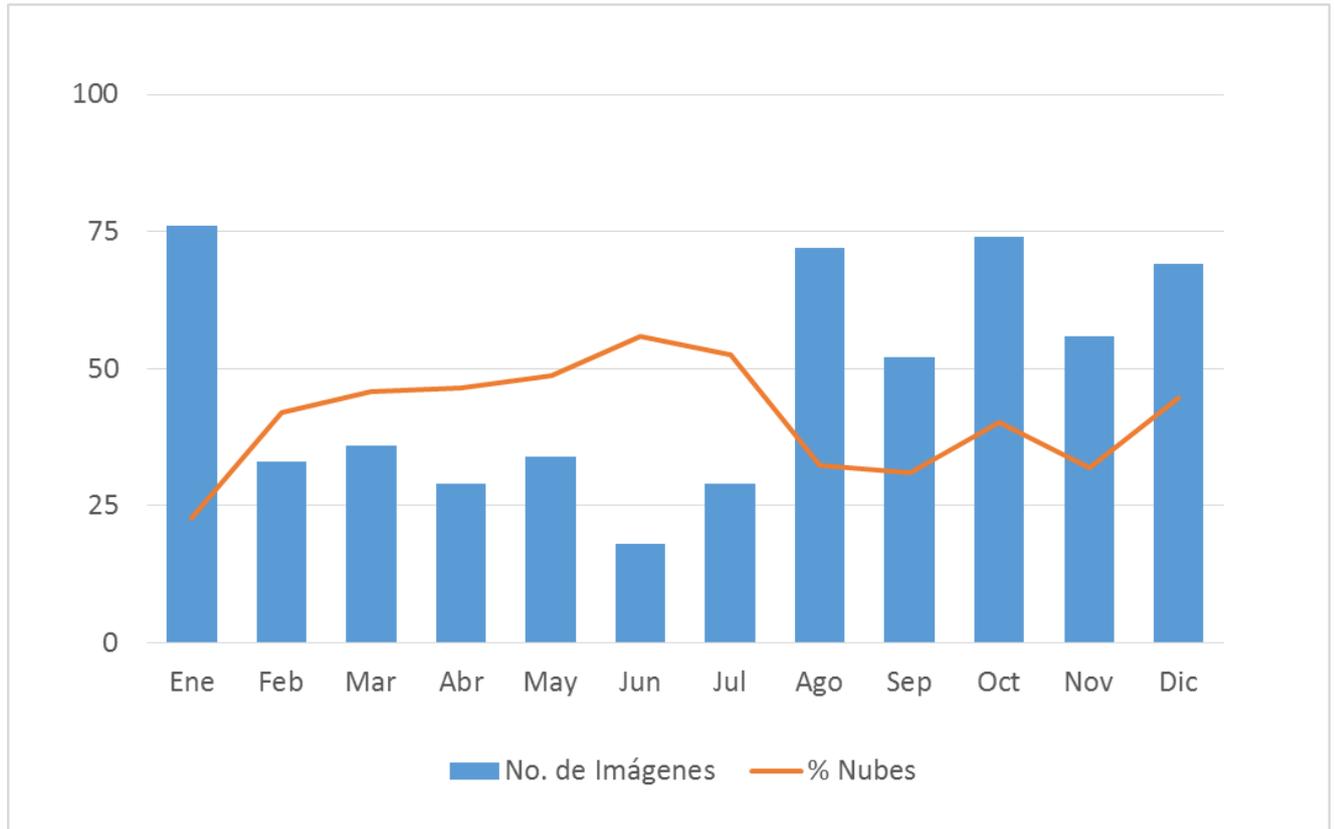


Figura 8. Distribución mensual de imágenes Landsat y promedio de cobertura de nubes en el bioma amazónico de Colombia. Año 2016.

La mayor cantidad de imágenes proviene del último trimestre de cada año de referencia. Para el monitoreo del bioma amazónico en el año 2016 se utilizaron 578 imágenes Landsat 7 ETM+ / Landsat 8 OLI. De éstos, 199 imágenes (34%) corresponden al último trimestre del año. Los meses entre Marzo a Julio es cuando se encuentran imágenes con mayor nubosidad, y la nubosidad más baja se presenta en el mes de Enero.

6.3.2 Fase 2: Procesamiento digital de imágenes de satélite

Esta fase involucra, inicialmente, la detección automatizada de cambios en la superficie de bosque, permitiendo la detección directa de cambios en la respuesta espectral que puedan corresponder a

una pérdida o ganancia de la cobertura del bosque. Luego, incorpora el trabajo de expertos para la verificación visual directa de los cambios sobre las imágenes, permitiendo minimizar los posibles errores y falsas detecciones debidas a errores la clasificación automática de los cambios en la superficie de bosque y actualizar la capa de superficie de bosque. Durante todo el proceso se ejecuta un protocolo de control de calidad en el cual se evalúan los productos intermedios y finales generados, con el fin de detectar errores e inconsistencias y verificar su ajuste.

El resultado final de esta fase es la identificación semi-automatizada de las clases *deforestación* y *regeneración*, y la actualización de las clases *bosque estable*, *no-bosque estable*, y *sin información*. Para este reporte de deforestación bruta, no se tiene en cuenta la clase *regeneración*. A continuación se describen con mayor detalle los pasos que forman parte de la etapa de la fase de procesamiento digital.

Paso 6. Detección del cambio

Para identificar el cambio de cobertura de bosque se utiliza un método directo y automatizado aplicando el análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) sobre la matriz de correlación de los valores de los píxeles de las pilas medianas para las filas/trayectorias que se generaron en el paso anterior (generación del compuesto de imágenes).

Una vez definido el umbral o rango de valores que se consideran como cambio en la cobertura de bosque (este sub-paso se ejecuta siguiendo un proceso iterativo y por medio de expertos técnicos del SMBYC), se realiza una reclasificación utilizando ERDAS de los valores de los píxeles al valor de la clase o categoría correspondiente, obteniendo así un mapa preliminar de cambio. 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).

La ejecución de este paso incluye la identificación de áreas sin información debidas a la ocurrencia de nubes y sombras de nube, que son agrupadas en una clase temática denominada “Áreas sin información”. Por ejemplo, para los resultados del mapa para el año 2016 en el bioma amazónico de Colombia se identificaron 2.543 ha sin información, que corresponden al 0.006% del área total del bioma. Es importante mencionar que para ninguno de los periodos bienales evaluados para la construcción del NREF las áreas sin información representan más del 1% del área total del bioma amazónico, aún más, este tipo de áreas se han venido reduciendo dada la disponibilidad y utilización de catálogos completos de imágenes.

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 toma 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 9.

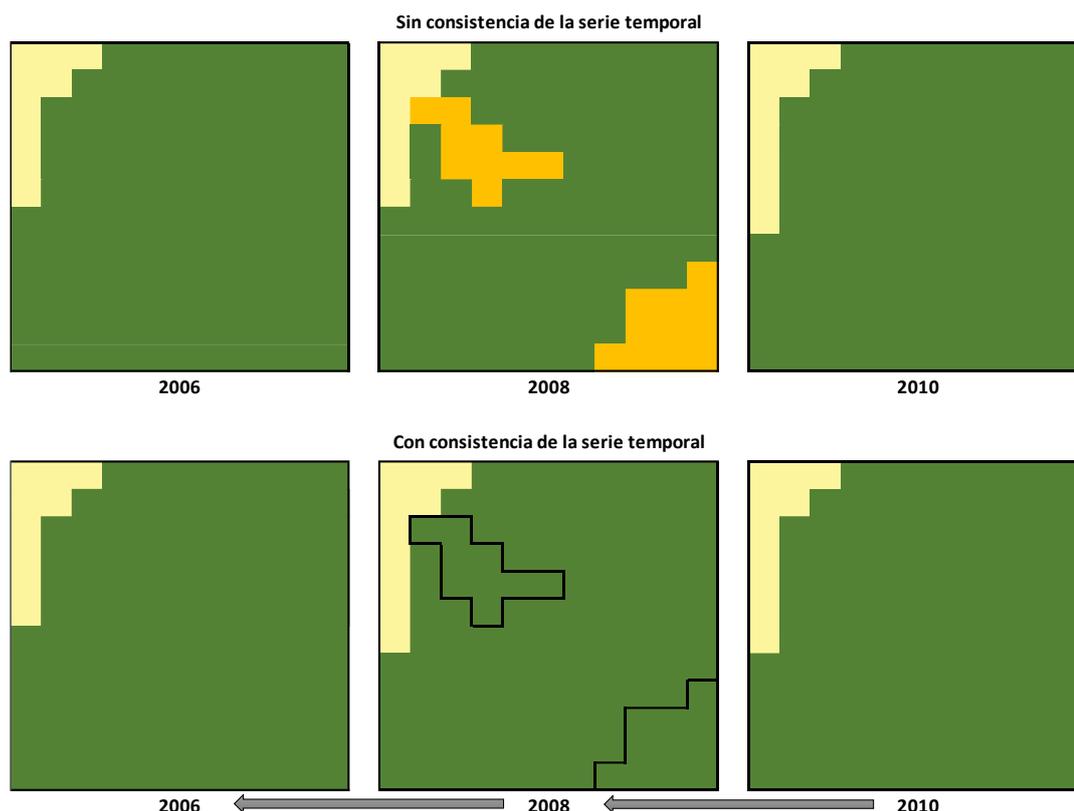


Figura 9. Ejemplo del análisis de consistencia de la serie temporal en monitoreo de la superficie de bosque. En la fila superior aparecen Bosque (verde), No bosque (amarillo) y Sin información (naranja) sin análisis de consistencia temporal. En la fila inferior resultado del análisis de consistencia temporal, para el periodo 2008 áreas codificadas originalmente como “Sin información” ahora aparecen como “Bosque” después de revisar los datos del periodo 2010 y 2006. Este proceso solo se aplica cuando los periodos precedente y posterior marcan el mismo tipo de cobertura (bosque o no bosque), ayudando a reducir las áreas sin información en la serie de tiempo, se asume que no se presenta regeneración en el periodo analizado.

Teniendo en cuenta que el porcentaje de áreas sin información es menor de 1% para cada periodo de análisis, y que su localización está distribuida aleatoriamente a lo largo del bioma amazónico (no están concentradas en algún sitio en particular, y especialmente no ocurren en las áreas de deforestación activa), no se considera que la deforestación este siendo subestimada por la presencia de áreas sin información.

En el paso de detección de cambios aplicando PCA también se realizan controles visuales a la capa de pérdida de cobertura forestal generada con el fin de refinar los umbrales de las bandas definidos al inicio del proceso y la consecuente clasificación de las imágenes; se agrupan y eliminan aquellos pixeles que representan ruido y se lleva a cabo un control visual final en el que, si es necesario, se recodifican los pixeles a partir de los resultados de este procedimiento.

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

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

1. Bosque estable
2. Deforestación
3. Sin información
4. Regeneración
5. No bosque estable

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

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

Paso 8. Control de calidad y ajustes durante el proceso

El proceso de control de calidad implica el seguimiento de todas las actividades de ejecución, desde la descarga de las imágenes de satélite, los productos intermedios (pre- procesamiento y procesamiento de las imágenes), hasta los resultados finales del Mapa de cambio de bosque y Mapa de cobertura de bosque no bosque, a partir de los cuales se generan los datos de las variables Cambio de la cobertura de bosque y Cobertura de bosque. El SMByC ha consolidado un conjunto de herramientas para garantizar la calidad, completitud y consistencia de los datos. A continuación, se describe este proceso.

a. Control de calidad en las fases de descarga de las imágenes y pre-procesamiento

El seguimiento de estas fases de recolección de los datos se realiza mediante el Formato de Inventario de imágenes adquiridas y pre-procesamiento. Como la descarga, pre-procesamiento y procesamiento de las imágenes son asignadas a los intérpretes por escenas, cada intérprete reporta periódicamente

las tareas realizadas para cada una de las escenas que tiene a su cargo. Esto permite monitorear constantemente el avance de todo el proceso, y, si es el caso, detectar las tareas que requieren más tiempo del estimado, con el objeto de tomar las medidas necesarias para generar el resultado oportunamente.

A medida que el intérprete reporta la descarga y la generación de cada uno de los productos intermedios, se llevan a cabo los procesos de revisión por parte del profesional de control de calidad, de acuerdo con las reglas de validación establecidas para cada etapa o fase; en caso de presentarse inconsistencias o errores, el intérprete realiza los ajustes necesarios hasta cumplir con los requerimientos de calidad. Durante este proceso y de acuerdo con las reglas de validación se garantiza que:

- La serie anual incluya imágenes distribuidas a lo largo del año para contar con información de las variaciones estacionales intra-anales. Esto dependerá de la disponibilidad de imágenes en el repositorio del USGS.
- Se incluyan imágenes de los últimos dos meses del año, de tal manera que puedan detectarse las deforestaciones ocurridas hasta final del año de monitoreo.
- Los productos intermedios se generen con la estructura y formatos definidos para el proceso, condiciones que son requeridas para aplicar los algoritmos de pre-procesamiento y para que no se presenten errores al construir el compuesto de la mediana (y de otras estadísticas o métricas) de todo el país.
- Exista una concordancia (corregistro) entre las unidades de observación de marco censal y los píxeles de las imágenes de satélite, de manera que sean consistentes y comparables en cada nueva fecha de monitoreo.
- Se identifiquen las unidades de observación sin información por la presencia de bruma, sombras y bandeamiento (gaps), lo que mejora los resultados iniciales de las detecciones de cambio al disminuir las detecciones de cambios en la respuesta espectral que corresponden a factores atmosféricos.

Cuando cada una de las escenas es revisada y aprobada, se construye el compuesto de la mediana y de las demás métricas o estadísticas para todo el país). Este compuesto también es revisado de acuerdo con las reglas de validación establecidas (sección 2.1.8 de <https://tinyurl.com/ybxh67uk>)

Control de calidad en la fase de Procesamiento

El seguimiento de los avances de esta etapa se realiza a través de un Formato de control de procesos en el que los intérpretes indican los avances en la generación de productos intermedios (capas de análisis de componentes principales y versiones del mapa de cambio de bosque). En este mismo formato, el profesional de control de calidad indica a los intérpretes los resultados y observaciones de la revisión de los mapas de cambio de bosque por escena.

De acuerdo con la metodología de recolección de datos (luego de que el intérprete realiza una crítica y validación con criterio de experto de los resultados del análisis de componentes principales

mediante verificación con la fuente (“revisita” a las imágenes de satélite), se genera una primera versión del mapa de cambio de bosque para cada escena, mapa que es revisado de acuerdo con las reglas de validación definidas y al cual se le aplica un proceso de control de calidad temática por escena.

Control de calidad del mapa de cambio por escena: Este es un proceso iterativo de revisión y ajuste que se ejecuta hasta obtener un producto final satisfactorio. Se revisa a nivel de escena, de manera que cada versión del Mapa de Cambio entregada por el intérprete es evaluada, generando reportes gráficos y estadísticos de la exactitud temática del producto entregado, reportes que se registran en el Formato de procesos de control de calidad (Anexo 2).

Para la verificación del Mapa se realizan los siguientes pasos: i) muestreo aleatorio estratificado para las clases del mapa de cambio (sin incluir la clase “Sin Información”), en el que se define el tamaño de la muestra para un error estándar esperado general de clasificación de 0.025, asignando el mismo número de puntos a cada clase. ii) Sin observar el resultado del intérprete, cada uno de estos puntos del muestreo es clasificado por el control de calidad, empleando los compuestos de mediana, última fecha, y mediana del último trimestre, entre otros. iii) Con este resultado se construye una matriz de confusión o matriz de error en la que se registran las coincidencias y discrepancias entre las clases asignadas por el intérprete y por el control de calidad para cada punto (Tabla 1). iv) A partir de este resultado y siguiendo la propuesta de Olofsson et al. (2013, 2014). Se calculan los porcentajes de exactitud total del mapa observado, exactitud de productor y exactitud de usuario de las clases de cambio.

Tabla 1. Ejemplo de una matriz de error a partir de los resultados de interpretación de 149 puntos para tres clases del mapa de cambio de bosque> Bosque estable (BE), Deforestación (D) y No bosque estable (NEB). La diagonal corresponde a las clasificaciones coincidentes, mientras que las demás a las discrepancias. Abajo se presentan los resultados correspondientes para los tres indicadores definidos

Clases		Validado por control de calidad (clase de referencia)			
Clase del Mapa cambio intérprete		BE	D	NBE	Total
	BE	44	1	4	49
	D	1	42	4	50
	NBE	0	0	50	50
	Total	46	43	60	149

Exactitud Promedio total: 91,3%

Exactitud de Usuario Clase deforestación: 84%

Exactitud de Productor Clase Deforestación: 97,7%

La exactitud temática a nivel cartográfico es definida como el grado en el cual el mapa producido concuerda con la referencia usada para la clasificación. El mapa de cambio de bosque es aceptado si presenta una exactitud total observada >98% y una exactitud de productor y usuario de las clases de cambio >95%. Si los porcentajes de exactitud son inferiores, el intérprete revisa nuevamente la capa, has cumplir con los criterios de calidad (ver sección 2.5.1Indicadores de calidad). En el ejemplo de la Tabla 1 no se cumple con estos valores mínimos y el producto deberá ser revisado.

Finalmente, en aras de reducir el sesgo del resultado por el criterio del intérprete, se implementa un ejercicio de verificación cruzada en el que la escena es revisada por un intérprete diferente al que la procesó, identificando inconsistencias tanto en las clases de cambio como en las clases estables. Los errores reportados en este ejercicio son validados por el encargado del control de calidad antes de realizar el ajuste definitivo.

Control de calidad del mapa de cambio de bosque natural:

Mediante la unión de los Mapas de cambio de bosque de cada escena aprobados en el proceso de control de calidad se construye el Mapa nacional de cambio de bosque. El mapa nacional es sometido a reglas de validación y ajuste:

Compleitud del marco censal definido: De acuerdo con unas reglas de validación establecidas, se verifica que el 100% de las unidades de observación estén incluidas en el mapa.

Área mínima de 1 ha: La definición de bosque adoptada por el SMByC incluye el criterio de área mínima de 1ha y, acorde con ello, se define esta área como la mínima cartografiable para todo el mapa. De esta forma, cualquier combinación de píxeles contiguos de la misma clase o categoría (laterales o diagonales) que en conjunto ocupen una superficie menor a 1 ha, se consideran inconsistentes y deberán ser recodificados. Esta recodificación se realiza mediante una técnica de imputación de vecindad.

Ajuste de consistencia de la serie histórica: La operación estadística hace parte de un sistema de monitoreo, razón por la cual es necesario verificar la consistencia de la serie de tiempo para las variables “cobertura de bosque natural” y “cambios de la cobertura de bosque natural”. Este análisis permite imputar valores para unidades de observación clasificados como “Sin información” en periodos anteriores de la serie histórica y ajustar las inconsistencias temáticas a partir de la información de los periodos de monitoreo anteriores.

Fase 3: Evaluación de la exactitud temática

La evaluación de la exactitud temática del mapa nacional de cambio de la superficie de bosque permite generar métricas de confiabilidad de las cifras oficiales generadas. Este procedimiento satisface dos criterios: (1) No subestimar ni sobrestimar, en la medida en que pueda juzgarse, y (2) se reduce la incertidumbre en la medida de lo posible (Penman et al. 2003), en línea con lo propuesto en el documento de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques (GFOI, por sus siglas en inglés⁶). 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.

La metodología comprende en general los siguientes pasos: (i) diseño de la muestra, a partir del área total cubierta por cada clase; (ii) interpretación visual de las regiones muestreadas, bajo la definición de bosque-no bosque, mediante un número impar de intérpretes; y (iii) validación mediante la construcción de una matriz de error, a partir de la proporción de área estimada para cada clase.

La evaluación de la exactitud temática de los datos de actividad se lleva a cabo siguiendo lo establecido en el Outline paper I: Reporting on emission reductions relative to the reference level. Se incorporan también recomendaciones de diversos autores, lo que permite tener en cuenta estándares internacionales que consideren las capacidades nacionales (Olofsson et al. 2014; Stehman 2012; IPCC 1996).

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, quien se encargó de coordinar el trabajo de los intérpretes, realizar el diseño e implementación de una muestra probabilística; realizar la consolidación y verificación de la interpretación; y efectuar el análisis de exactitud.
- Tres (3) intérpretes, con amplia experiencia en interpretación visual y digital, y entrenados para aplicar el concepto de Cobertura boscosa en imágenes ópticas de media resolución. Algunos de ellos realizan la interpretación de los mapas iniciales.

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

Paso 9: Diseño de muestreo

6

https://www.reddcompass.org/uncertainty?p_p_id=pyramid_WAR_gfoimgdwamrvsystemportlet_INSTANCE_66u8qEC_QZ63L&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2a-1&p_p_col_count=1&p_r_p_1316845383_MGD_THEME=Measurement+%2B+Estimation&p_r_p_1316845383_MGD_CONCEPT=Uncertainty&fid=%2Fmgd%2F3.7#gfoi-mgd-content

Una variedad de diseños de muestreo probabilístico son aplicables a la evaluación de la exactitud temática, satisfaciendo todos ellos las principales guías de buenas prácticas, lo clave es elegir un diseño adecuado para una aplicación determinada. En términos generales, para aplicaciones relacionadas con percepción remota el muestreo estratificado es comúnmente utilizado en la evaluación de la exactitud (Cakir et al. 2006; Huang et al. 2010; Mayaux et al. 2006; Olofsson et al. 2011; Olofsson et al. 2014). 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, donde el tamaño de la muestra se determina tomando en cuenta por el error estándar de la precisión global estimada que se desea lograr; la proporción proyectada de la superficie de la clase i , y la desviación estándar del estrato i . 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 de para el año de referencia, esos son: (1) Bosque estable; (2) No bosque estable y (3) deforestación.

Adicionalmente a esta estratificación inicial, cada uno de los estratos se subdivide basado en un mapa de riesgo de deforestación que identifica dos áreas principales (bajo riesgo y alto riesgo) basados en las tendencias históricas de la deforestación, generando finalmente seis estratos: (1) Bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación, (2) No bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación, (3) deforestación en zonas de alto riesgo de deforestación, (4) Bosque estables en áreas de bajo riesgo de deforestación, (5) No Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación y (6) deforestación en áreas de bajo riesgo de deforestación).

Como se ha dicho antes, el tamaño de la muestra se determina a partir de la proporción de área de cada una de estas clases en los mapas de cambio del bosque. En la ecuación [Ec. 2], se presenta la expresión matemática utilizada para calcular la proporción (W_i) de área mapeada ($A_{m,i}$) por clase i , con respecto al área total de las clases (A_{tot}):

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

A las clases con mayor área mapeada se les asigna un valor de p de 0,9 por considerar que estas clases presentan una alta exactitud; 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 [Ec. 3]

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

Para el año de referencia, se asume entonces un valor para el error estándar esperado general de clasificación (para el año 2016 se asumió un valor de 0,0035). Con este procedimiento, se obtiene el tamaño total de muestra.

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, apartado 5.1.2.

En conclusión, cada una de las clases de cambio esta sobre-muestreadas en la asignación final, y las clases estables están ligeramente sub-muestreada.

Paso 10. Implementación del muestreo

Consiste en la extracción, en formato Raster, de cada clase de interés del mapa de datos de actividad para el año de referencia empleando una herramienta de extracción por atributos para datos Raster Posteriormente, se genera una muestra aleatoria de puntos por estrato de acuerdo con el tamaño de muestra calculado en el diseño de muestreo, para lo cual se aplica una restricción de distancia mínima de separación de 500 metros para evitar la auto-correlación espacial y superposición entre las mismas. También, se asigna un orden aleatorio a los puntos a partir de sus coordenadas, para evitar un posible sesgo que puedan cometer los intérpretes durante la verificación de la clase. La implementación del muestreo, al igual que la interpretación de los puntos de muestreo) se realiza en **Acatama** –un software de desarrollo propio-disponible para qGIS (<https://bitbucket.org/smbyc/qgisplugin-acatama>)

Paso 11. Interpretación de los puntos de muestreo

En esta etapa, el equipo de intérpretes realiza la interpretación visual de cada unidad de verificación, aplicando las definiciones de Bosque y Deforestación adoptadas por el SMyC. La herramienta empleada para facilitar la asignación de la clase identificada visualmente sobre cada ventana de contexto evaluada se realiza en *Acatama*, la cual 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 estuviesen sin clasificar (Figura 10).

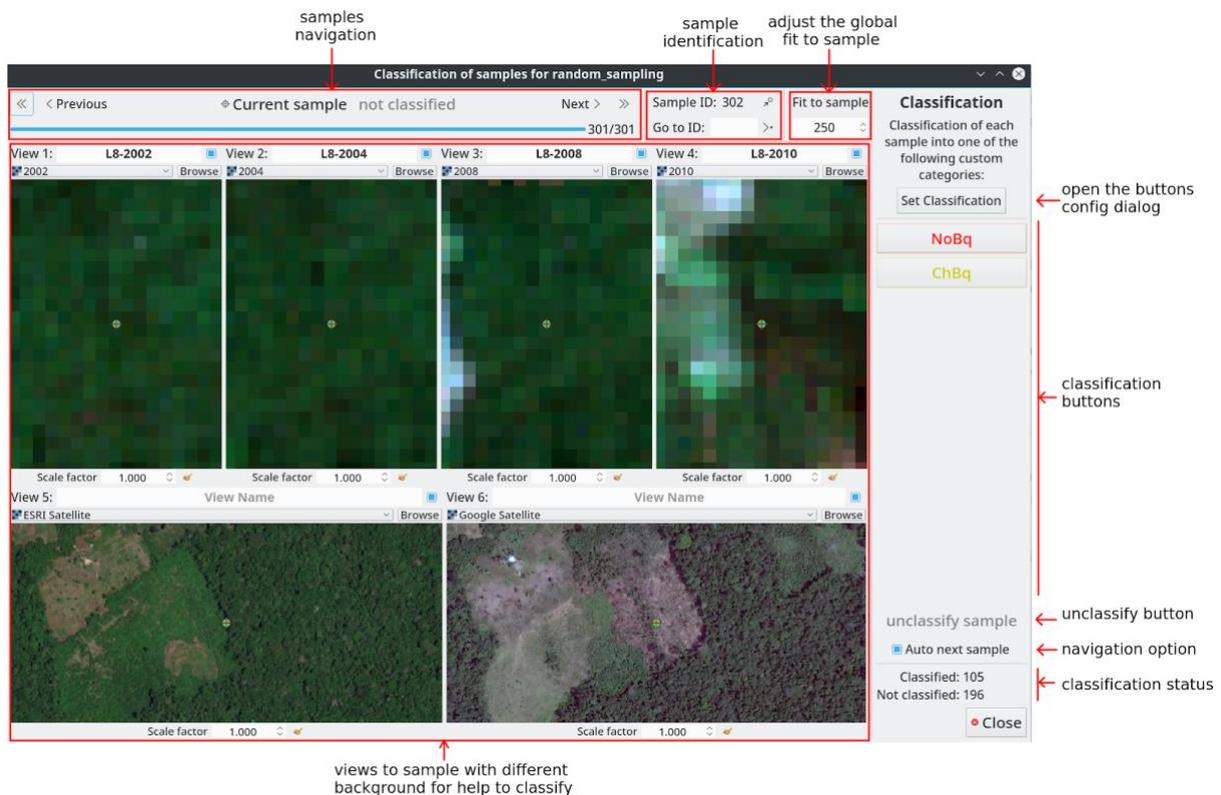


Figura 10. Ventana de interpretación de los puntos de muestreo en el aplicativo Qgis Acatama

Como datos de referencia para la interpretación de los puntos de muestreo, se utilizan los compuestos de *mediana anual* y de *last pixel de* los periodos a verificar y de los periodos anteriores y posteriores a este; google earth engine; imágenes Bing u otras imágenes de alta resolución.

Paso 12. Matriz de error e intervalos de confianza

Con la implementación de este paso, los datos de referencia para el análisis que se generan en el paso anterior son utilizados para evaluar la exactitud de la clasificación del mapa de cambio de cobertura forestal final. La validación de la exactitud temática de los datos de actividad para el año de referencia se lleva a cabo mediante la construcción de **una matriz de error o matriz de confusión** a partir de las clases extraídas de los mapas de las muestras y las clases de referencia obtenidas mediante la interpretación visual de la muestra. Posteriormente, a partir de la matriz de error, se construye una nueva matriz expresada en términos de la proporción del área estimada.

La incertidumbre de la estimación está representada por el error estándar que se utilizó para construir intervalos de confianza del 95%. Las clases del mapa de cambio son ajustadas con base en el recuento de píxeles, excluyendo aquellas áreas con errores de omisión que se detectaron mediante la evaluación de exactitud temática.

6.3.3 Fase 3: Cálculos y reportes.

Para calcular la superficie deforestada entre dos periodos de análisis (*i.e.* datos de actividad) se tuvo 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, como por ejemplo, épocas climáticas de alta nubosidad o fallas en los sensores de los programas satelitales que toman las imágenes. La implementación de esta metodología permitió identificar los cambios en la cobertura boscosa (expresados en ha) para los periodos 2000-2002, 2002-2004, 2004-2006, 2006-2008, 2008-2010 y 2010-2012, y realizar los reportes anuales para los años 2013 (2012-2013), 2014 (2013-2014) , 2015 (2014 – 2015) y 2016 (2015-2016).

El SMBYC tiene la capacidad técnica para cuantificar y monitorear la regeneración. Sin embargo, Colombia sólo utiliza los datos de la deforestación bruta para NREF y el reporte de ERs. En consecuencia, en ambos informes no se incluyeron los datos de las áreas sujetas a la regeneración para estimar las emisiones.

En la metodología implementada, 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 (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.

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

Los cambios por deforestación son detectados anualmente, pero el análisis de regeneración debe realizarse utilizando períodos de tiempo más largos. El SMBYC actualmente trabaja en mejorar la metodología y ajustar la detección de cambios por regeneración utilizando períodos de 6 años.

6.4 Generación de Factores de Emisión

6.4.1 Compilación de datos de campo

Se utilizaron datos obtenidos entre 1990 y 2014, a partir del establecimiento de 721 parcelas en bosques húmedos tropicales del bioma amazónico de Colombia. El tamaño de las parcelas varió entre 0,10 ha y 1,50 ha (media = 0,20 ha; mediana = 0,10 ha).

El área total de muestreo fue *ca.* 142 ha. Aunque la ubicación de las parcelas no sigue un diseño estadístico (*e.g.* localización no-aleatoria) y la información se generó utilizando diferentes protocolos de muestreo (*e.g.* varió el tamaño y forma de la parcela), es el conjunto de datos más grande que se dispone en la actualidad para estimar las existencias de carbono del bioma amazónico de Colombia.

Vale la pena mencionar que aunque se avanza en la implementación del Inventario Forestal Nacional (IFN) desde el 2015, no se cuenta aún con datos suficientes y estadísticamente significativos para mejorar las estimaciones de los contenidos de carbono en la BA y BS del Bioma Amazónico.

Se verificó la nomenclatura taxonómica utilizando *iPlant Collaborative* (Boyle *et al.* 2013). La base de datos incluye información de 98.500 individuos, 2.143 especies, 600 géneros y 117 familias de plantas. De los registros, el 63% fueron identificados a nivel de especie, 76% a nivel de género y 81% a nivel de la familia. Utilizando la identificación botánica, se asignaron valores de densidad de la madera (WD) para cada árbol, de acuerdo con la información disponible en la literatura (Chave *et al.* 2009, 2006). En los casos en los cuales no fue posible asignar un valor WD al nivel de especie, se utilizó el valor medio obtenido al nivel del género o la familia. Para los individuos que carecían de una identificación botánica, se empleó el promedio de la WD de las especies registradas en la parcela en la cual éstos se encontraban.

6.4.2 Estratificación del bosque natural para la generación de factores de emisión

Un considerable número de trabajos (Aiba & Kitayama 1999, Girardin *et al.* 2010, Grubb *et al.* 1963, Kitayama & Aiba 2002, Kitayama & Mueller-Dombois 1994, Lieberman *et al.* 1996, Moser *et al.* 2008, Schawe *et al.* 2007) han examinado la distribución de la BA y su relación con parámetros meteorológicos que covarían con la altitud (*e.g.* temperatura, radiación solar, presión atmosférica, radiación UV-B) y otros factores climáticos (*e.g.* humedad, precipitación, estacionalidad) que responden a variaciones regionales o locales (*e.g.* orografía, vientos) (Körner 2007, 2006, 1998). Éstos proponen que la reducción de la temperatura del aire, sumado a alteraciones en la disponibilidad de nutrientes y la composición química del suelo, puede afectar las tasas de crecimiento de los árboles y la estructura de la vegetación (Coomes & Allen 2007, Körner 2007), conduciendo a una disminución en la BA. Es por esto que se espera que la inclusión de dichas variables diagnósticas, en conjunto con la precipitación, permita estimar de manera más apropiada la BA y las reservas de Carbono almacenadas en los bosques naturales.

Teniendo en cuenta lo anterior, los bosques naturales del bioma amazónico colombiano se estratificaron utilizando la clasificación bioclimática de Holdridge *et al.* (1971), la cual emplea como

variable diagnóstica la evapotranspiración potencial, expresada en función del equilibrio entre la precipitación y la temperatura anual. Esta leyenda, adaptada para Colombia por IDEAM (2005), se seleccionó dado que es ampliamente utilizada en estudios florísticos, silviculturales y en evaluaciones ambientales a nivel nacional e internacional. Empleando esta estratificación se encontró que en el bioma amazónico colombiano ocurren tres tipos de bosques, siendo el bosque húmedo tropical en más representativo, al comprender más del 99% del área forestal de la región.

La estratificación se generó a partir de los promedios climatológicos de la normal climatológica 1981-2010 reportada por IDEAM⁷ y el modelo de elevación digital (DEM) de 30 m de la NASA (misión SRTM). En la construcción de las salidas cartográficas para la temperatura media anual se siguió a Díaz-Almanza (2013), mientras que para la precipitación anual se empleó una interpolación utilizando método del inverso de la distancia (IDW) siguiendo a IDEAM (2005).

6.4.3 Estimación de la biomasa de los individuos

Para estimar la biomasa aérea (BA) de cada árbol del estrato arbóreo ($DAP \geq 10 \text{ cm}$), se utilizó la ecuación alométrica desarrollada para el bosque húmedo tropical [Ec. 4] por Álvarez *et al.* (2012), que fue construida a partir de datos de 370 árboles ($DAP \geq 10 \text{ cm}$) cosechados en Colombia ($DAP_{m\acute{a}x} = 136,8 \text{ cm}$). Al no contar con información sobre la altura de los individuos (H), se empleó el modelo tipo II, en donde la BA se estima en función del Diámetro a la altura del pecho (DAP) y la WD (densidad de madera), en lugar de utilizar modelos de tipo I, que usan el DAP, la WD y la H. Se excluyeron palmas, lianas y helechos de la estimación.

$$BA = \exp^{(2,406 - (1,289 \ln(DAP)) + (1,169 (\ln(DAP))^2) - (0,122 (\ln(DAP))^3) + (0,445 \ln(WD)))} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Se estimó la biomasa subterránea (BS) de cada árbol y palma, empleando la ecuación [Ec. 4] propuesta por Cairns *et al.* (1997), en la cual la BS se expresa en función de la BA.

$$BS = \exp^{(-1,095 + (0,9256 \ln(BA)))} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Posteriormente, la biomasa total (BT) para cada individuo se obtuvo al sumar su BA y su BS [Ec. 5].

$$BT = BA + BS \quad [\text{Ec. 5}]$$

6.4.4 Limpeza de datos

Por principio de precaución, se excluyó la información proveniente de 70 parcelas en las cuales se registró una disminución $\geq 20\%$ de la BT al excluir de la estimación los individuos no-arbóreos, presentaron distribuciones diamétricas truncadas o discontinuas y/o se observó que la diferencia absoluta entre la altitud reportada y la interpolada era mayor o igual a 100 m.s.n.m. Por tanto, los

⁷ Los promedios climatológicos fueron consultados y descargados el 14 de septiembre de 2014 en <http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile15803&downloadname=Promedios%2081-10.xlsx>.

análisis se realizaron con datos generados a partir del establecimiento de un total de 651 parcelas, que representan 133 hectáreas muestreadas.

6.4.5 Factor de emisión del bioma amazónico

El procedimiento descrito en el acápite anterior produce una estimación de la BT a escala del rodal forestal, que está asociada a una incertidumbre, relacionada a su vez con la varianza de la BT. Esta varianza incluye el error de medición de los individuos, la incertidumbre del modelo alométrico y el error de muestreo espacial en relación con el tamaño y precisión de la ubicación de las parcelas (Chave *et al.* 2004). Por ejemplo, la presencia de árboles grandes en parcelas pequeñas podría dar lugar a valores extremadamente altos de BA, en comparación con parcelas más grandes que incluyen árboles de tamaño similar.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que la varianza sólo puede ser calculada entre parcelas del mismo tamaño, se usó cada tamaño de manera independiente para estimar la BT de la población. Estos estimados fueron combinados de manera óptima utilizando una ponderación por el inverso de sus varianza (Gatz & Smith 1995), en la cual se asigna mayor peso a los estimados que son más precisos. La idea subyacente de esta ponderación es que las estimaciones medias se pueden calcular como un promedio ponderado de las estimaciones puntuales, en el cual se asigna menor peso a los estimados puntuales que tienen asociada una mayor incertidumbre (i.e. mayor varianza). Por tanto, la ponderación define los pesos como el inverso de la varianza de las estimaciones puntuales. De lo anterior, la BT media (t/ha) utilizando la ponderación por el inverso de la varianza [Ec. 6] y su varianza asociada [Ec. 7], se calcularon como:

$$\bar{y}_h = \sum \frac{w_{hi} \bar{y}_{hi}}{w_h} \quad [\text{Ec. 6}]$$

$$\text{var}(\bar{y}_h) = \frac{1}{w_h} \left[1 + \frac{4}{w_h^2} \sum \frac{1}{n_{hi}} (w_{hi} \{w_h - w_{hi}\}) \right] \quad [\text{Ec. 7}]$$

En donde $\bar{y}_{hi} = \frac{\sum y_{hij}}{n_{hi}}$, $w_{hi} = \frac{1}{\text{var}(\bar{y}_{hi})}$, $\text{var}(\bar{y}_{hi}) = \frac{(\sum y_{hij}^2) - n_{hi} \bar{y}_{hi}^2}{n_{hi}(n_{hi}-1)}$, $w_h = \sum w_i$, y n_{hi} es el número de parcelas del tamaño de parcela i que fueron establecida en el bosque h (i.e. bosque húmedo tropical). En todos los casos, se requirió un mínimo de tres parcelas de tamaño de parcela i para calcular la varianza $\text{var}(\bar{y}_h)$ (Westfall *et al.* 2011).

El intervalo de confianza [Ec. 8] y el error de muestreo [Ec. 9] de \bar{y}_h se calcularon de la siguiente manera:

$$CI_{\bar{y}_h} = \bar{y}_h \pm \sqrt{\text{var}(\bar{y}_h)} t_{\alpha, n_h-1} \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$SE_h (\%) = 100 \frac{\sqrt{\text{var}(\bar{y}_h)}}{\bar{y}_h} \quad [\text{Ec. 9}]$$

En donde n_h es el número de parcelas establecidas en el bosque h y α es 0,05.

La cantidad total de carbono almacenado en la BT se calculó multiplicando \bar{y}_h por un factor de 0,47, mientras que para evaluar la cantidad de CO₂e almacenado en la BT, se multiplicó la cantidad de carbono por un factor de 3,67 (IPCC 2006, 2003).

6.5 Estimación de las Emisiones Brutas

Las emisiones brutas de CO₂e se obtuvieron al multiplicar el área deforestada durante el periodo de análisis (*i.e.* datos de actividad) por el promedio ponderado de CO₂e estimado para el bioma amazónico de Colombia (*i.e.* factor de emisión) [Ec. 10].

$$\hat{y}_f = A_f \bar{y}_h \quad [\text{Ec } 10]$$

En donde A_f es el área (en ha/año) deforestada en el bioma amazónico colombiano durante el periodo de análisis.

7. RESULTADOS DATOS DE ACTIVIDAD AÑO 2016.

Corresponde a los resultados de monitoreo de la deforestación generados por el SMBYC para el año de referencia 2016.

7.1 Datos de actividad para el año de referencia 2016

Para el año 2016, a partir de la interpretación de las imágenes de satélite, se identificaron 69,781 ha deforestadas en el bioma amazónico tal como se presentan en la Tabla 2 y son representados en la Figura 11:

Tabla 2. Datos de actividad año 2016.

Clase	Área (Ha)
Bosque estable	39,661,279
Deforestación	69,781
Regeneración	11
No bosque estable	6,124,557
Sin información	2,543

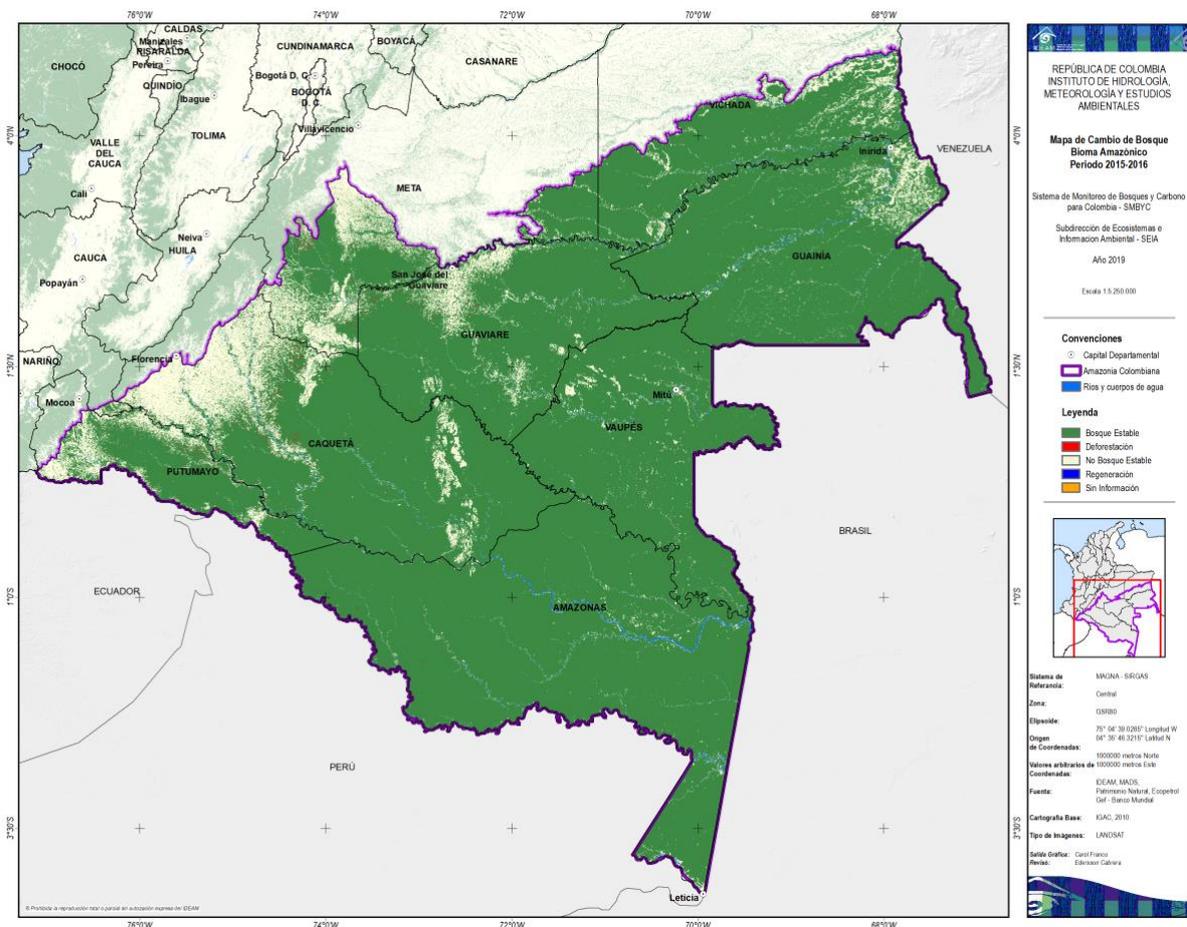


Figura 11. Mapa de Cambio en la superficie de Bosque año 2016

7.2 Validación temática 2016

7.2.1 Muestreo

Se implementó un muestreo aleatorio estratificado, en donde la estratificación se realizó a partir de del riesgo de deforestación, evaluando este de acuerdo a la distancia a las áreas deforestadas en los cinco años anteriores al periodo de análisis (2010-2015) (Figura 12). Se utilizó una muestra de 7,354 unidades de verificación (Tabla 3), es decir el doble del tamaño a la que realizó para los periodos 2013,2014 y 2015.

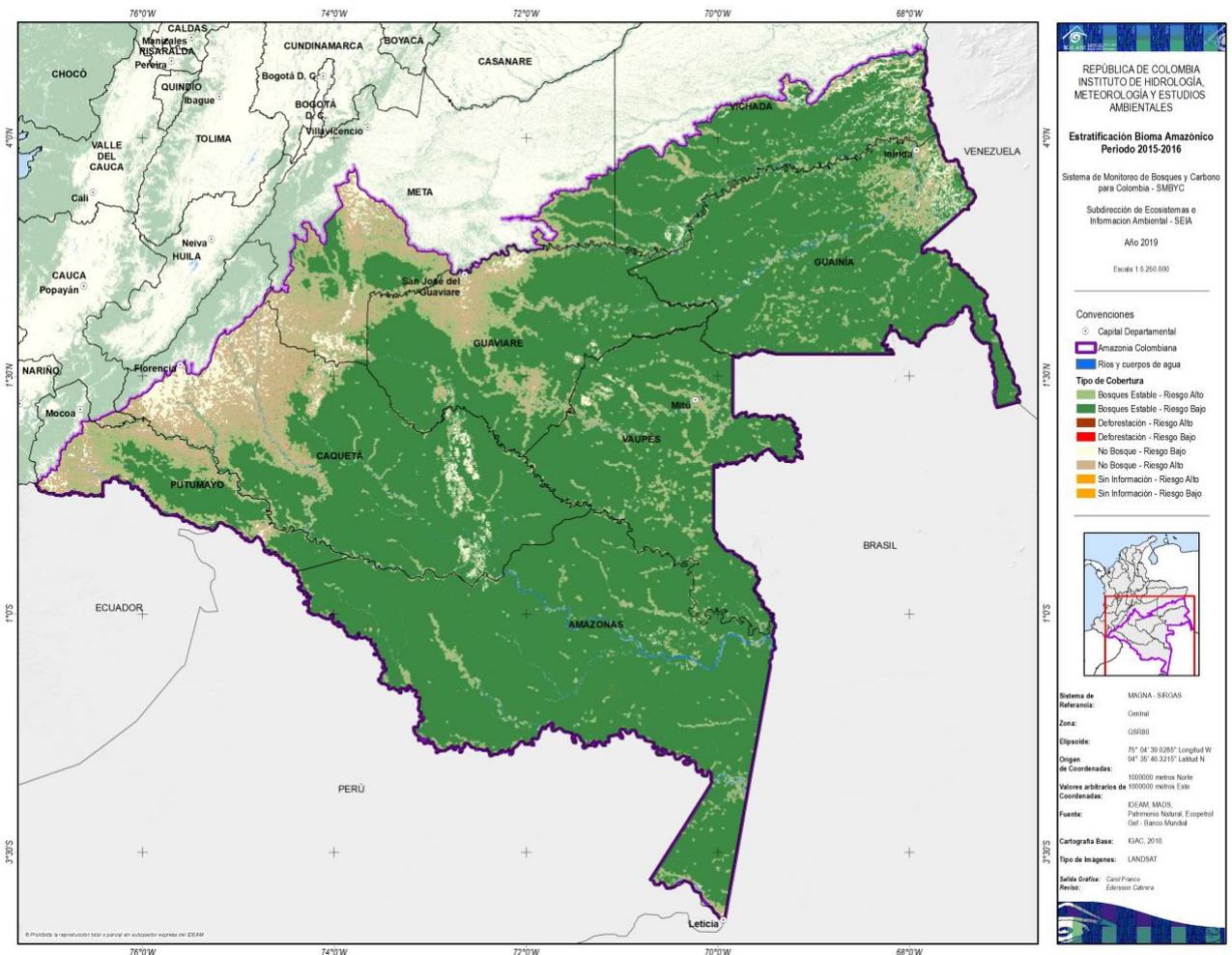


Figura 12. Estratificación Bioma Amazonico - año 2016

Tabla 3. Cálculos tamaños de muestra. Periodo 2016

Clase	Área[Ha]	Wi	Ui	Si	S(O)	n
BE-AR	5,960,810	0,130	0,9	0,3	0,0035	7354
DEF-AR	65.778	0,001	0,8	0,4		
NB-AR	4.184.685	0,091	0,9	0,3		
BE-RB	33,700,469	0,735	0,9	0,4		

DEF-RB	4.003	0,0001	0,8	0,3
NB-RB	1.939.872	0,042	0,9	0,4

Posteriormente se distribuyó la muestra a los diferentes estratos a partir de la proporción de área asociada a cada clase. Para las clases de deforestación, que con una distribución proporcional tendrían una muestra de menos de 11 elementos, se aplicó una distribución balanceada de 400 unidades para la región de alto riesgo y de 140 unidades para la región de bajo riesgo, distribuyendo la diferencia entre las clases de mayor área y a partir de la proporción de sus áreas (ver Tabla 4). La implementación del muestreo se realizó en el software Atacama.

Tabla 4. Distribución de la muestra. Periodo 2016

Clase	Balanceada Ajustada
BE-AR	886
BE-RB	5017
DEF-AR	400
DEF-RB	140
NB-AR	622
NB-RB	289
TOTAL	7354

7.2.2 Datos de referencia

Como datos de referencia para el año 2016, se emplearon las imágenes del sensor LANDSAT 7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) y del sensor LANDSAT 8 OLI, utilizadas en la elaboración de los mapas de Superficie de Bosque para el mismo año. Dichas imágenes cuentan con cobertura del 100% del territorio evaluado, tamaño de pixel de 30 metros, 6 bandas espectrales con profundidad de pixel de 16 Bits, valores digitales correspondientes a valores de reflectancia y temporalidad del 1 de enero al 31 de diciembre del periodo reportado, dando énfasis en que el insumo principal debe ser la última imagen del año analizado.

Se utilizaron los compuestos de mediana anual para los años 2012, 2014, 2015 y 2016 y los compuestos anuales del *Last Pixel* de los años 2015 y 2016. Adicionalmente se utilizaron las últimas imágenes apiladas de los años 2015 y 2016, se consultaron las imágenes disponibles en la herramienta Google Earth y de Bing maps y se utilizaron los compuestos mensuales Planet Labs de enero y diciembre de 2016.

Para la ejecución de la validación temática, se conformó un equipo de cuatro (4) expertos del grupo de intérpretes del Ideam: Un líder de la evaluación, quien se encargó 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 y Tres (3) intérpretes, con amplia experiencia en interpretación visual y digital, y entrenados para aplicar el concepto de Cobertura boscosa en imágenes ópticas de media resolución, dos de los cuales no fueron los mismos que realizaron la interpretación de los mapas iniciales.

7.2.3 Resultados de la Estimación de la Exactitud Temática de los Datos de Actividad- Matriz de Confusión

Se identificaron elementos erróneamente clasificados en el 2.7% de la muestra (201 puntos de muestreo). De este total, 32 muestras se identificaron como errores de comisión para las clases de deforestación. En cuanto a los errores de omisión, para esta clase se identificó un error de omisión en un elemento de muestreo que había sido marcado en el mapa como *No Bosque en la zona de riego Alto* “NB-AR”. (Tabla 5).

Tabla 5. Matriz de confusión muestra Datos de Actividad 2016

		<i>Referencia</i>								
<i>Mapa</i>	Clase	BE-AR	BE-RB	DEF-AR	DEF-RB	NB-AR	NB-RB	Total	A_m [ha]	W_h
	BE-AR	848					38	886	5,960,810	0.130
	BE-RB		4972				45	5017	33,700,469	0.735
	DEF-AR	9		379		12		400	65,778	0.001
	DEF-RB		8		129		3	140	4,003	0.000
	NB-AR	68		1		553		622	4,184,685	0.091
	NB-RB		17				272	289	1,939,872	0.042
	Total	925	4997	193	66	324	124	7354	45,855,617	1.000

7.2.4 Matriz de Error e Intervalos de Confianza

A partir de los resultados consignados en la Tabla 6, se observa que la exactitud general para los datos de actividad año 2016, empleando estimadores estratificados, es del 97,5%. Por otra parte, se obtuvo una exactitud de usuario superior al 90% para todas las clases a excepción de la clase “NB-RA” (No bosque estable en áreas de riesgo alto de deforestación) que fue del 89%. La exactitud del productor también fue superior al 85% para todas las clases.

Tabla 6. Matriz de error de la proporción de área estimada Periodo 2016.

		Referencia					Exactitud (%)			
Mapa	Clase	BE-AR	BE-RB	DEF-AR	DEF-RB	NB-AR	NB-RB	Usuario	Productor	General
	BE-AR	7.8378E-07	0	0	0	7.8378E-07	0	0.957	0.926	0.972
	BE-RB	0	9.5716E-07	0	0	0	9.5716E-07	0.991	0.997	
	DEF-AR	1.13423E-10	0	2.56532E-10	0	1.50071E-10	0	0.948	0.903	
	DEF-RB	0	2.95435E-12	0	3.9699E-12	0	1.14985E-12	0.921	1	
	NB-AR	1.30583E-06	0	2.15258E-08	0	1.32264E-06	0	0.889	0.935	
	NB-RB	0	3.44026E-07	0	0	0	3.44026E-07	0.941	0.858	
	Total	0.00145	0.00114	0.00015	0.00000	0.00145	0.00114			

Oloffson et al., (2014) sugieren que se deben ajustar los estimativos de área para eliminar el sesgo que pueda surgir de los errores de clasificación de los mapas. Esta guía sugiere que la estimación de las áreas debe ser basada en las proporciones de área derivadas de las clasificaciones de referencia –ya que son de mayor calidad que los mapas y el sesgo debe ser menor-. Siguiendo esta recomendaciones y usando las matrices de error y las proporciones de áreas estimadas de los datos de referencia (de Tabla 5 y Tabla 6), se realizó un ajuste de áreas para todas las clases, y se estimó la deforestación en las áreas de Riesgo Alto (DEF-AR) en 69,052 ha +/- 6768 ha y en las áreas de Riesgo bajo (DEF-RB) en 3,689 ha +/- 91 para una deforestación consolidada para el bioma amazónico de 72,369 ha +/- 6,760 con un intervalo de confianza al 95%. (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados área estimada por clase e Intervalos de confianza (al 95%). Periodo 2016.

Clase	Área estimada ajustada	Error estándar para el área estimada	Lim. Inf	Lim Superior
BE-AR	6,164,124	66,288	6,031,548	6,296,701
BR-RB	33,512,531	52,307	33,407,917	33,617,146
DEF-RA	69,052	6,768	55,517	82,588
DEF-RB	3,689	91	3,506	3,872

NB-AR	3,978,096	66,555	3,844,986	4,111,206
NB-RB	2,128,124	52,307	2,023,510	2,232,739

8. RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN DE TONELADAS DE CO₂E AL AÑO, CONSISTENTE CON EL NREF PARA EL BIOMA AMAZÓNICO

La decisión 14/CP 19 párrafo 3 establece que *“los datos y la información utilizados por las Partes para estimar las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros relacionadas con los bosques, las reservas forestales de carbono y las variaciones del carbono almacenado en los bosques y los cambios en la superficie forestal, según corresponda a las medidas mencionadas en la decisión 1/CP.16, párrafo 70, que emprendan las Partes, deben ser transparentes y coherentes, tanto a lo largo del tiempo como con los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o niveles de referencia forestal establecidos de conformidad con las decisiones 1/CP.16, párrafo 71 b) y c), y 12/CP.17”*.

Las emisiones de carbono derivadas de la deforestación bruta en el bioma amazónico de Colombia para el periodo 2000-2012 fueron calculadas en el NREF usando la metodología cuya síntesis se presentó en el NREF y se describe de manera detallada en los anexos A, B y C⁸. A continuación se reportan los resultados obtenidos por reducción de emisiones por deforestación bruta en el bioma amazónico de Colombia para el año 2016 para el nivel de pago para REM (No incluye circunstancias nacionales contempladas por la CMNUCC).

8.1 Reducciones de emisiones 2016

Las emisiones reducidas para el año 2016 fueron estimadas como la diferencia entre las emisiones brutas reportadas en el NREF para el periodo 2000-2012 (46,920,066 tCO₂e/año), y las emisiones anuales de CO₂e estimadas para el año 2016 en el bioma amazónico (39.503.024,1 tCO₂e), es decir 7.417.042,2 tCO₂e, [Ec. 11].

$$ER_{2016} = NREF/REM_{2000-2012} - EA_{2016} \quad [Ec. 11]$$

$$ER_{2016} = 46.920.066.3 \text{ t CO}_2\text{e} - 39.503.024,1 \text{ t CO}_2\text{e}$$

$$ER_{2016} = 7.417.042,2 \text{ t CO}_2\text{e}$$

El total de reducciones para el programa REM (promedio histórico deforestación) en los años 2013, 2014, 2015 y 2016 se ha estimado en 41.690.433,9 t CO₂e (Figura 12 y Tabla 8). Si se

⁸ <http://redd.unfccc.int/submissions.html?country=col>

considerara el ajuste por Circunstancias Nacionales (NREF ante la CMNUCC), las reducciones estimadas serían de 60.458.460,4 t CO₂e.

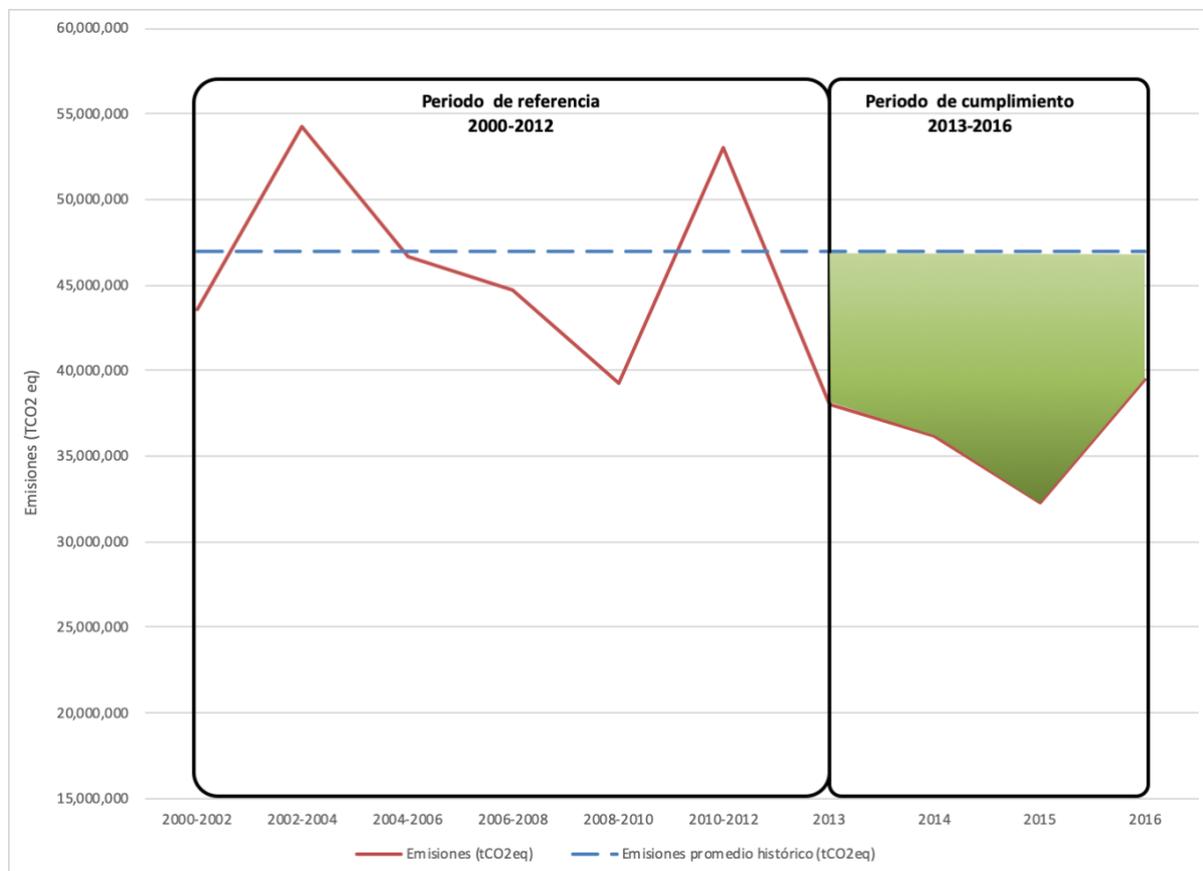


Figura 12. Resultados estimados para los años 2013, 2014, 2015 y 2016 basados en el NREF remitido por Colombia a la CMNUCC en diciembre de 2014, sin considerar ajuste por Circunstancias Nacionales, para el Nivel de Pago por REM.

Tabla 8. Resultados calculados para los años 2013, 2014, 2015 y 2016 basados en el Nivel de pago de REM.

Año	Deforestación (ha/año)	CO ₂ e (t/ha)	Emisiones Estimadas Bajo promedio histórico (TCO ₂ eq)	Reducción Neta (t CO ₂ e)
NREF REM (Deforestación promedio histórico 2000-2012)	82.883*	566,1	46,920,066	N.A
2013	67.246	566,1	38,067,961	8,852,105

2014	63.898	566,1	36,172,658	10,747,408
2015	56.962	566,1	32,246,188	14,673,878
2016	69.781	566,1	39.503.024,1	7.417.042,2
Total				41.690.434

* Este valor corresponde a la estimación bienal de la deforestación.

8.2 Reporte de las incertidumbres y sesgos

El SMBYC, en línea con las capacidades nacionales, provee información robusta y transparente que permite consolidar y presentar estimaciones tan precisas como es posible, que reducen las incertidumbres tomando en cuenta las capacidades nacionales, de acuerdo con la decisión 2 CP.13, parágrafo 7. Para la construcción de este reporte de ERs y del NREF se utilizaron los mismos métodos (incluyendo el límite geográfico del bioma, datos de actividad, factores de emisión, conjuntos de datos, etc.).

8.3 Resultados de la incertidumbre asociada a los Factores de emisión

De acuerdo con lo planteado en las ecuaciones 8 y 9, se encontró que el intervalo de confianza asociado al factor de emisión fue $\pm 11,7$ Mg/ha, con un error de muestreo de 1,8%.

9. BASES PARA LA VERIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA EL PROPÓSITO DE PAGO POR RESULTADOS

Se presenta información completa que permite la reconstrucción del NREF y de la estimación del Nivel de Pago para REM consignado en el presente documento. Esta sección contiene una descripción de la información requerida para la reconstrucción de los resultados, a continuación se presentan vínculos a las base de datos e información geográfica que permite la reconstrucción de los resultados.

1. Imágenes de sensores remotos (programa satelital LANDSAT TM5, ETM+ 7 y OLI8) utilizadas para la cuantificación de la deforestación en el bioma amazónico colombiano para el periodo de referencia 2016.
Nota: Todas las imágenes se proporcionan a 30m de resolución, formato geotiff y/o img.
2. Mapa digital base del bioma amazónico de Colombia.
Nota: Se proporciona en formato vectorial (shapefile), proyección oficial de Colombia (Magna-Sirgas).
3. Mapa temático de deforestación anual para el año 2016 (un mapa anual). Formato Raster, proyección Magna-Sirgas.
Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (img), proyección oficial de Colombia.
4. Mapa digital de parcelas disponibles para el bioma amazónico de Colombia en el periodo 1990-2014. Cada parcela tiene asociado el tipo de bosque al que pertenece y la ecuación alométrica utilizada para la estimación de biomasa aérea.
Nota: Se proporciona en formato vectorial (*shapefile*), proyección Magna-Sirgas.
5. Ejemplo de la estructura de la base de datos implementada para la estimación de BA y BS.
6. Puntos del diseño de muestreo para la validación temática (anexo 3).
Nota: Se proporciona en formato vectorial (*shapefile*).
7. Base de datos con los resultados del proceso de validación temática.

10. LITERATURA CITADA

- AIBA, S. & KITAYAMA, K. 1999. Structure, composition and species diversity in an altitude- substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology* 140: 139-157.
- ÁLVAREZ, E., DUQUE, A., SALDARRIAGA, J. G., CABRERA, K., DE LAS SALAS, G., DEL VALLE, J. I., MORENO, F., 792 ORREGO, S. A & RODRÍGUEZ, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management* 267, 297-308.
- BOYLE, B., HOPKINS, N., LU, Z., RAYGOZA-GARAY, J.A., MOZZHERIN, D., REES, T., MATASCI, N., NARRO, M.L., PIEL, W.H., MCKAY, S.J., LOWRY, S., FREELAND, C., PEET, R.K. & ENQUIST, B.J. 2013. The taxonomic name resolution service: an online tool for automated standardization of plant 815 names. *BMC Bioinformatics* 14: 16.
- CAIRNS M A, BROWN S, HELMER E H AND BAUMGARDNER G A 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111, 1–11.
- CHAMBERS, J.Q., DOS SANTOS, J., RIBEIRO, R.J. & HIGUCHI, N. 2001. Tree damage, allometric relationships, and aboveground net primary production in a central Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 152: 73-84.
- CHAVE, J., CONDIT, R., AGUILAR, S., HERNANDEZ, A., LAO, S. & PEREZ, R. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions Royal Society B* 359: 830 409-420.
- CMNUCC. 2010. Informe de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto sobre su sexto período de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010: Decisiones adoptadas por la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto. <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cmp6/spa/12a01s.pdf>. Accedido el 12 de agosto de 2012.
- COOMES, D.A. & ALLEN, R.B. 2007. Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology* 95: 1084-1097.
- DEFRIES, R., ACHARD, F., BROWN, S., HEROLD, M., MURDIYARSO, D., SCHALAMADINGER, B., & DE SOUZA, C. (2006). Reducing greenhouse gas in temperate forests. *Remote Sensing Reviews*, 13, 207–852. Emissions from Deforestation in developing countries: Considerations for monitoring and measuring, report of the Global Terrestrial Observing System (GTOS) Number 46, GOFC-GOLD report 26 (p. 23). Roma, Italia.
- DÍAZ-ALMANZA, E. 2013. Informe de avance - Contrato PC-CPS-013/2013. Junio 2013. Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas. Bogotá D.C. 24 pp.
- GALINDO G., ESPEJO O. J., RUBIANO J. C., VERGARA L. K., CABRERA E. 2014. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia., 54 878 pág.
- GIRARDIN, C.A.J., MALHI, Y., ARAGÃO, L.E.O.C., MAMANI, M., HUARACA HUASCO, W., DURAND, L., FEELEY, K.J., RAPP, J., SILVA-ESPEJO, J.E., SILMAN, M., SALINAS, N. & WHITTAKER, R.J. 2010.

- Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in 883 the Peruvian Andes. *Global Change Biology* 16: 3176-3192.
- GOFC-GOLD. (2009). Reducing Greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: A sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting, GOFC-GOLD Report version COP14-2. (F. Achard, S. Brown, R. De Fries, G. Grassi, M. Herold, D. Mollicone, Pandey, D. & C. J. Souza, Eds.) (p. 185). Alberta, Canada.
- GONZÁLEZ, J., CUBILLOS, A., ARIAS, M, ZAPATA, B. IDEAM-MADS. 2014. Resultados de la simulación de la deforestación para el ajuste del nivel de referencia del área subnacional A8. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.
- GRUBB, P.J., LLOYD, J.R., PENNINGTON, T.D. & WHITMORE, T.C. 1963. A comparison of montane and lowland rain forest in Ecuador. The forest structure, physiognomy and floristics. *Journal of Ecology* 51: 567-601.
- HOLDRIDGE, L.R., GRENKE, W., HATHEWAY, W.H., LIANG, T. & TOSI, J.A. 1971. Forest 920 Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study. Pergamon Press, Oxford.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2005. Distribución espacio-temporal de las variables del clima. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Eds.), Atlas climatológico de Colombia. Bogotá D.C. 218 pp.
- IPCC 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- IPCC 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- IPCC 2006. Intergubernamental Panel on Climate Change. VOL. 4 Agricultura Silvicultura y Otros Usos de la Tierra. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- KITAYAMA, K. & AIBA, S. 2002. Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along 952 altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Ecology* 90: 37-51.
- KITAYAMA, K. & MUELLER-DOMBOIS, D. 1994. An altitudinal transect analysis of the windward vegetation on Haleakala, a Hawaiian island mountain. *Phytocoenologia* 24: 135-154.
- KÖRNER, C. 1998. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia* 115: 445-459.
- KÖRNER, C. 2006. Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist* 172: 393-411.

- KÖRNER, C. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. *TRENDS in Ecology and Evolution* 22(11): 569-574.
- LIEBERMAN, D., LIEBERMAN, M., PERALTA, R. & HARTSHORN, G.S. 1996. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology* 84: 137-152.
- Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. (2002). Definición de Bosque para proyectos de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura para el primer período de compromiso. (19 p). Bogotá D.C., Colombia.
- OLTHOF, I., POULIOT, D., FERNANDES, R., & LATIFOVIC, R. (2005). Landsat-7 ETM+ radiometric normalization comparison for northern mapping applications. *Remote Sensing of Environment*, 1007 95(3), 388–398.
- POTAPOV, P. V., TURUBANOVA, S., HANSEN, M. C., ADUSEI, B., BROICH, M., ALTSTATT, A., MANE, L. & JUSTICE, C. O. (2012). QUANTIFYING FOREST COVER LOSS IN DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO, 2000–2010, WITH LANDSAT ETM+ DATA. *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT*, 122, 106–116.
- THOMAS, C.E. & RENNIE, J.C. 1987. Combining Inventory Data for Improved Estimates of Forest 1044 Resources. *Southern Journal of Applied Forestry* 11(3): 168-171. 1045-1046 UNFCCC. 2009. Advance unedited version Decision -/CP.15 The Conference of the Parties, takes note of the Copenhagen Accord of 18 December 2009. http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/application/pdf/cop15_cph_auv.pdf. Accedido el 14 de agosto de 2012.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE. 2014. USGS Landsat Project. Disponible en línea en: 1047 <http://landsat.usgs.gov/>.
- WESTFALL, J.A., PATTERSON, P.L. & COULSTON, J.W. 2011. Post-stratified estimation: within-strata and total sample size recommendations. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 1130-11

