

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 los años 2013 y 2014.

Bogotá, Septiembre de 2016

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. PRINCIPIOS GENERALES	5
2.1 CONSISTENCIA	6
2.2 PROCESO DE MEJORA CONTINUA DEL MRV	6
3. OBJETIVOS.....	8
4. ALCANCE	9
5. NIVEL DE PAGO PARA REM.....	10
5.1 NREF PRESENTADO POR COLOMBIA ANTE LA CMNUCC	10
5.1.1 Metodología empleada.....	10
5.1.2 Nivel de Pagos para el programa REM con base en el NREF presentado por Colombia ante la CMNUCC.....	11
6. MÉTODOS.....	13
6.1 USO DE LAS ORIENTACIONES Y DIRECTRICES DEL IPCC	13
6.2 ÁREA DE ESTUDIO	13
6.3 DEFINICIÓN DE BOSQUE Y DEFORESTACIÓN	14
6.4 GENERACIÓN DE DATOS DE ACTIVIDAD.....	14
6.4.1 Pre-procesamiento digital de imágenes de satélite	15
6.4.2 Procesamiento digital de imágenes de satélite	18
6.4.3 Cambio en la superficie cubierta por bosques naturales	19
6.4.4 Validación temática	20
6.5 GENERACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN	26
6.5.1 Compilación de datos de campo	26
6.5.2 Estratificación del bosque natural	27
6.5.3 Estimación de la biomasa de los individuos	28
6.5.4 Limpieza de datos	28
6.5.5 Factor de emisión del bioma amazónico.....	28
6.6 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES BRUTAS	29
7. SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO FORESTAL	31
7.1 ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE BOSQUES, DE ACUERDO A LAS CIRCUNSTANCIAS Y CAPACIDADES NACIONALES	31
7.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ROLES Y RESPONSABILIDADES PARA EL MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN (MRV)	32
8. RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN DE TONELADAS DE CO₂E AL AÑO, CONSISTENTE CON EL NREF PARA EL BIOMA AMAZÓNICO	35
9. REPORTE DE LAS INCERTIDUMBRES Y SESGOS.....	39
9.1 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD.	39
9.2 RESULTADOS DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LOS FACTORES DE EMISIÓN	41
10. BASES PARA LA VERIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA EL PROPÓSITO DE PAGO POR RESULTADOS	42
11. LITERATURA CITADA	43

1. INTRODUCCIÓN

En 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. Asimismo, en diciembre de 2015 en París, en nombre del Gobierno de Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional (APC), suscribieron un contrato de aporte financiero con el Banco Alemán de Desarrollo *Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)*. De igual forma, se suscribieron contratos de Implementación de la financiación entre APC y el KfW, compuestos por el *Financing Implementation Agreement* con recursos del Ministerio de Clima y Medio Ambiente del Reino de Noruega (NICFI), y el *Implementation Financing Agreement* con recursos del *Secretary of State for Energy and Climate Change (DECC)* del Reino Unido y Alemania. 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 y los detalles de la ejecución del proyecto REM Colombia¹.

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 los años 2013 hasta 2017 (apartado 8.11). El apartado 8.4 de este acuerdo establece el proyecto 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.

El acuerdo separado establece que el primer periodo de reporte incluirá las ER de los años 2013 y 2014 para la región de referencia estimada según la metodología del NREF (apartado 8.6). Asimismo, establece que los siguientes periodos de reporte serán anuales para las ER de los años 2015, 2016 y 2017 para la región de referencia (apartado 8.7). Para el primer periodo de reporte el Destinatario entregará un reporte de ER antes de finalizar el mes de Febrero de 2016 (apartado 8.13).

Este reporte se presenta de manera completa y transparente, permitiendo la verificación independiente de las ER. 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

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+)

utiliza como guía el *Outline Paper I: Reporting on emission reductions relative to the reference level*, acordados por las partes.

Este reporte fue preparado en conjunto por los equipos técnicos del MADS y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

2. 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 ha sido 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% arriba 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 será de 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:

- El primer pago se desembolsará hasta el 30 de abril de 2016. En caso de que no se concrete este desembolso, no se podrá considerar más las ER de 2013. Este pago se hará con base en el reporte enunciado más adelante, más no requerirá de la verificación.
- El segundo pago se desembolsará hasta el 31 de diciembre de 2016.
- El tercer pago se desembolsará hasta 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 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 condicionada 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 cuyo reporte se entregará a más tardar el 28 de febrero de 2016.

Este informe debe ser completo y transparente, que permita 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 acordará 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*.

2.1 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. Estas metodologías se describen en el capítulo 6.

Las emisiones reducidas para los años 2013 y 2014 fueron estimadas como la diferencia entre las emisiones brutas (t CO₂e/año) reportadas en el NREF para el periodo 2000-2012, y las emisiones anuales de CO₂e estimadas para los años 2013 y 2014 en el bioma amazónico (38.067.961 tCO₂e y 36.172.658 t CO₂e; respectivamente), es decir 19.599.514 tCO₂e, tal y como se verá de manera detallada más adelante.

2.2 Proceso de mejora continua del MRV

La presentación de este reporte y de los próximos reportes bajo el acuerdo REDD EARLY MOVERS (REM) se basan en la información proporcionada por el Sistema de monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Este sistema es considerado, de acuerdo con el párrafo 1d de la decisión 4/CP.16, como un sistema robusto, basado en las capacidades nacionales, que ha implementado operacionalmente la integración de datos de sensores remotos (*i.e.* imágenes

de satélite), para la generación de datos de actividad (*i.e.* cuantificación de la deforestación), y la estimación de contenidos de carbono (*i.e.* factores de emisión) en bosques naturales tal como se describe en la sección 6 del presente informe.

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, se ha previsto el desarrollo de una Hoja de Ruta (Anexo 1), donde se detallan las actividades previstas, la institución(es) responsable(s), fecha inicio, fecha finalización y productos asociados.

3. OBJETIVOS

El presente reporte 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 período 2013-2014 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 periodos 2013 y 2014.
- 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. NIVEL DE PAGO PARA REM

5.1 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 párrafo 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 párrafo 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 (párrafo 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 párrafo 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 (párrafo 2) y 14/CP.19 (párrafos 7 y 8).

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 1).

5.1.1 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 dirección IP pública de acceso al FTP que contiene la información de niveles de referencia es: <ftp://181.225.72.74/>.

El *factor de emisión* integra el contenido de CO_{2e} por hectárea almacenado en la BA y BS (raíces) estimados para la región del NREF.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores el NREF para el bioma amazónico de Colombia es de 46.920.066,3 t CO₂e/año (Figura 2), sin considerar el +10% de ajustes por Circunstancias Nacionales que fue presentando ante la CMNUCC.

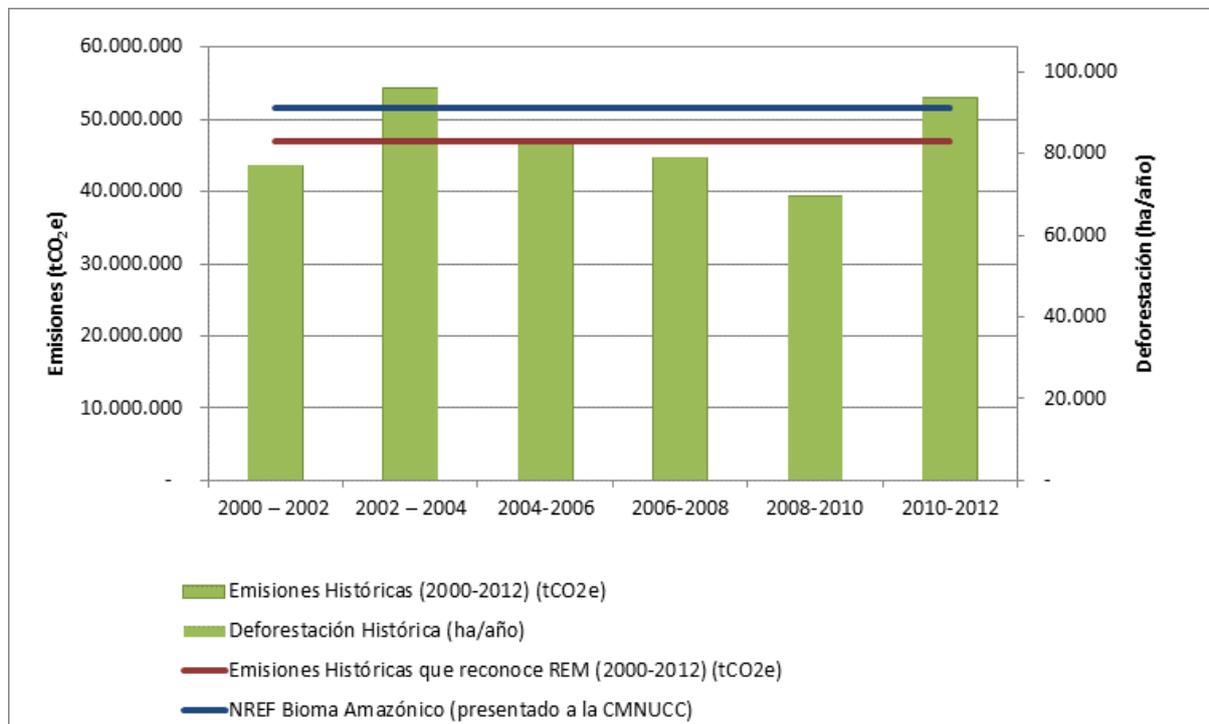


Figura 2. Comparación del NREF para el bioma amazónico colombiano (2000-2012), presentado ante la CMNUCC y Nivel de Pago que reconoce REM.

La evaluación técnica por parte de la convención fue publicada el pasado 20 de octubre de 2015 ([link aquí](#)) 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.

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 Uso de las Orientaciones y directrices del 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 y 2014, 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).

6.2 Área de Estudio

Colombia presentó en 2014 un primer Nivel de referencia de emisiones forestales (NREF sub-nacional, como un primer paso hacia la construcción de un NREF nacional. El área considerada en dicho NREF corresponde al bioma² 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.

² 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.

6.3 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).

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).

6.4 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.

El protocolo incluye 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), 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), la validación de los datos utilizando un diseño de muestreo aleatorio y estratificado, y el reporte de los datos de actividad (*i.e.* cálculo y reporte de los cambios en la superficie de bosque natural).

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, parágrafo 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 de referencia 2013 y 2014, esto 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.

6.4.1 Pre-procesamiento digital de imágenes de satélite

Se aplicaron 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). Para cada año de referencia el SMBYC usa todo el catálogo de imágenes Landsat (7 ETM+ y OLI 8) del nivel L1T (superficie de reflectancia) con menos del 80% de cobertura de nubes, y con una ventana temporal entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año de referencia. 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.

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 5). Las figuras 3 y 4 presentan la distribución mensual de las imágenes LANDSAT utilizados para la generación de los compuestos anuales.

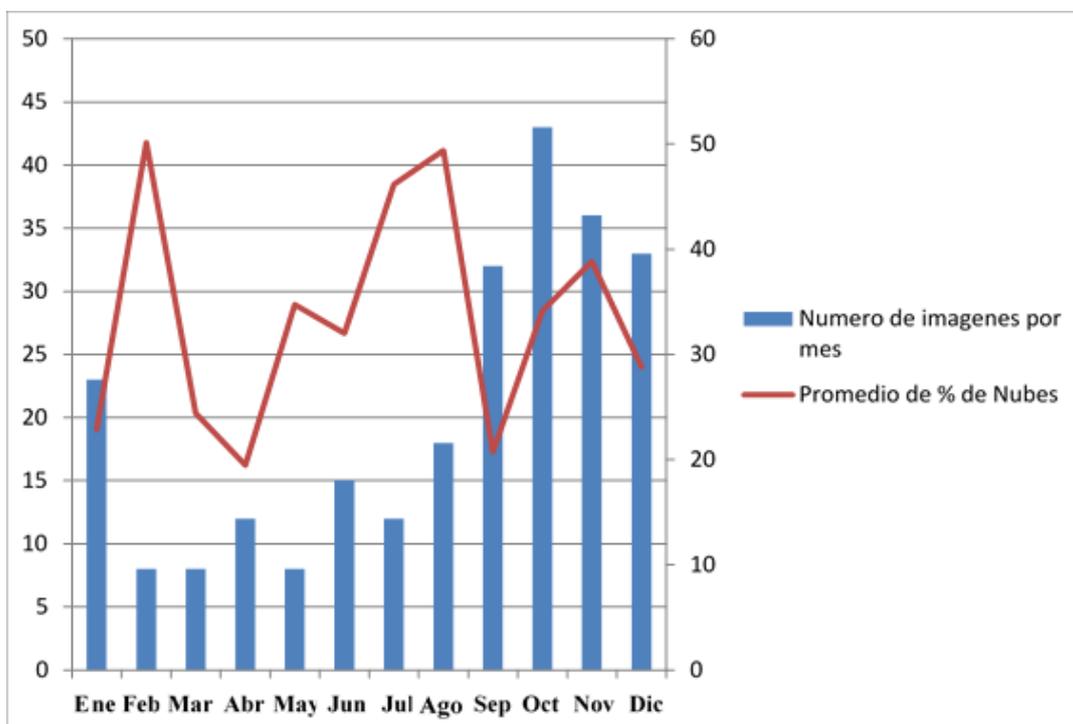


Figura 3. Distribución mensual de imágenes y promedio de cobertura de nubes en el bioma amazónico de Colombia. Año 2013.

Como se puede apreciar, la mayor cantidad de imágenes proviene del último trimestre de cada año de referencia, por ejemplo, para el monitoreo del bioma amazónico en el año 2013 se utilizaron 230 imágenes Landsat 7 ETM+ / Landsat 8 OLI imágenes. De éstos, 133 imágenes son del último trimestre del año (Figura 3). Para el año 2014 se utilizaron 369 imágenes y de ellos 145 imágenes son del último trimestre de ese año (Figura 4).

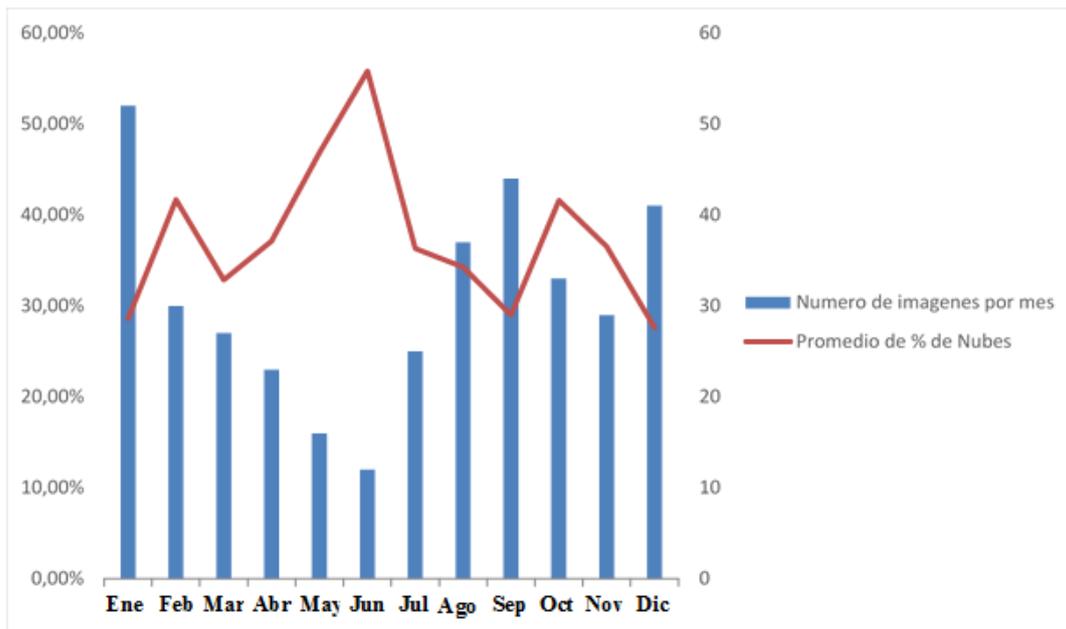


Figura 4. Distribución mensual de imágenes y promedio de cobertura de nubes en el bioma amazónico de Colombia. Año 2014.

Antes de construir los compuestos anuales, sobre el catálogo de imágenes se aplican correcciones geométricas, enmascaramiento de nubes y normalización radiométrica. Estas actividades corresponden a la fase de pre-procesamiento del protocolo establecido por el SMBYC y es necesario para asegurar el co-registro pixel a pixel de los datos y reducir los efectos atmosféricos. Estos procesos también permiten la comparación directa de imágenes, haciendo que los cambios identificados no sean productos de artefactos (errores) inducidos por estos factores (Olthof *et al.* 2005, Potapov *et al.* 2012).

Finalmente, con el catálogo de imágenes normalizadas se construye un compuesto anual que permite “unir” todas las imágenes disponibles con información para cada una de las bandas espectrales a través de la utilización de la función estadística de la media (compuesto de mediana). Este enfoque metodológico ayuda a reducir las áreas sin información, ya que existe la posibilidad de que al menos una de las imágenes de la serie anual esté libre de nubes para un determinado píxel.

A pesar de que la utilización de esta técnica se 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 antes, se realiza una verificación visual y ajuste manual de los resultados utilizando 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.

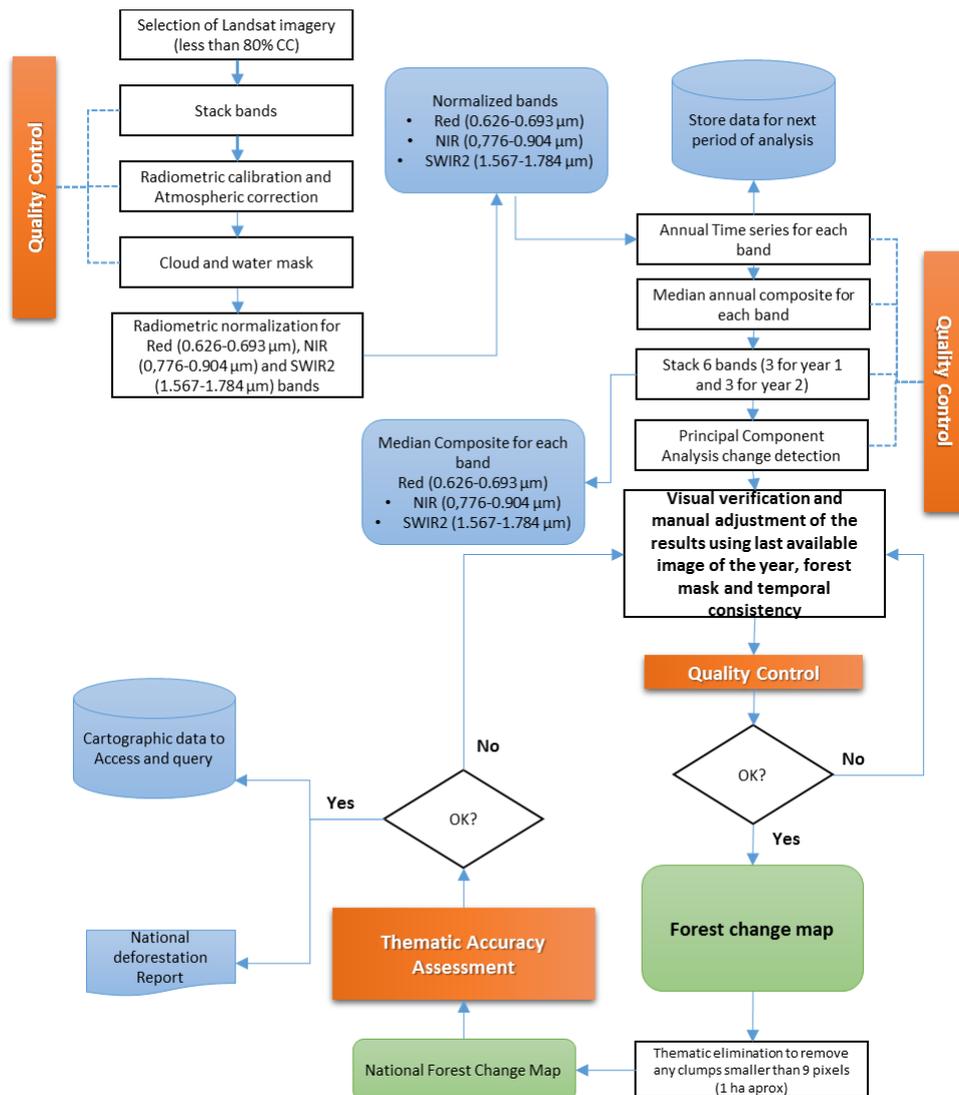


Figura 5. Esquema del proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes.

Mayor información acerca del protocolo 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](http://redd.unfccc.int/files/anexo_a_protocolo_procesamiento_digital.pdf)).

6.4.2 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 de la clasificación automática de los cambios en la superficie de bosque. Igualmente permite 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*.

La implementación del protocolo de Procesamiento digital de imágenes también permite identificar 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 2013 en el bioma amazónico de Colombia se identificaron 6.199 ha sin información, que corresponden al 0.01% del área total del bioma. Asimismo, para el mapa para del año 2014 se identificaron 8.916 ha sin información, que corresponden al 0.02% del área total del bioma. También, es importante mencionar que para ninguno de los periodos bienales de reporte de las ERs 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 toman en cuenta la información del más reciente periodo de reporte y con éste se ajusta las áreas sin información retrospectivamente para los otros periodos de reporte, como se presenta en la figura 6.

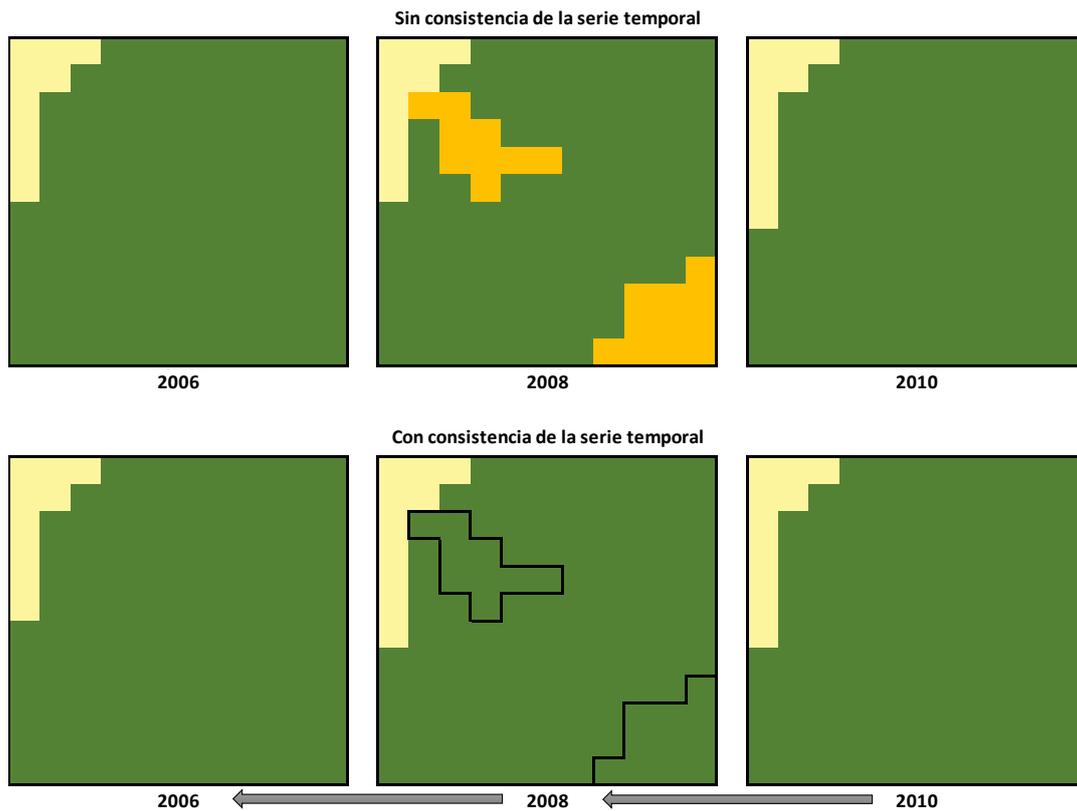


Figura 6. Ejemplo del análisis de consistencia de la serie temporal en monitoreo de la superficie de bosque. En la fila superior aparecen Bosque (verde), No bosque (amarillo) y Sin información (naranja) sin análisis de consistencia temporal. En la fila inferior resultado del análisis de consistencia 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 marca 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.

6.4.3 Cambio en la superficie cubierta por bosques naturales

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 se detecta bosque en la primera fecha y no-bosque en la segunda, 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) y 2014 (2013-2014).

Los cambios anualizados en la superficie cubierta por bosque (CSB) se calcularon como la diferencia entre la superficie de bosque detectada en el periodo inicial y la superficie de bosque detectada en el periodo final dividido por el número de años del periodo. En el proceso se tuvieron en cuenta únicamente las áreas comunes en ambos periodos de análisis que pueden ser interpretadas excluyendo del análisis las áreas sin información en cualquiera de los dos periodos. Los datos de CSB constituyen los datos de actividad para los periodos 2013 y 2014 (Tabla 2 y Tabla 3) necesarios para la construcción del NREF.

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 deforestada no podría ser asignado a una clase de cambio hasta después de seis años.

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.

6.4.4 Validación temática

El SMBYC proporciona información sólida y transparente, generando estimaciones que son consistentes, y en la medida de lo posible exactas, teniendo en cuenta las capacidades nacionales de acuerdo con las decisiones 4 CP.15, párrafo 1d (ii) y 14 CP.19, Parágrafo 11. Como se presentó en la figura 5 el proceso metodológico aplicado en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes involucra varias etapas que aseguran la calidad temática

de los productos generados por el SMBYC. Una de estas etapas principales es la evaluación de la exactitud temática del mapa nacional de cambio de la superficie de bosque, que permite generar métricas de confiabilidad de las cifras oficiales generadas.

El procedimiento de evaluación de la exactitud satisface dos criterios: (1) No subestimar ni sobrestima 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 el documentos de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques (GFOI, por sus siglas en inglés³). 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. A continuación se describe con más detalle los datos de referencia, datos de actividad, recurso humano y el método de validación.

Datos de Referencia

Como datos de referencia tanto para el año 2013 como para el año 2014, 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 los mismos años. 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. Adicionalmente, se consultaron las imágenes disponibles en la herramienta Google Earth para ciertas zonas del territorio evaluado, con cubrimiento en los periodos 2013 y 2014.

Datos de actividad evaluados.

Corresponde a los resultados de monitoreo de la deforestación generados por el SMBYC para los años de referencia 2013 y 2014 que se presentan en las tablas 1 y 2, respectivamente.

3

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

Tabla 1. Mapa Datos de actividad año 2013.

Clase	Área (Ha)
Bosque estable	39.880.800
Deforestación	67.246
Regeneración	3.391
No bosque estable	5.899.680
Sin información	6.199

Tabla 2. Mapa Datos de actividad año 2014.

Clase	Área (Ha)
Bosque estable	39.816.300
Deforestación	63.898
Regeneración	28
No Bosque estable	5.968.393
Sin información	8.916

Recurso humano

Para la ejecución de la validación temática, se conformó 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 fueron los mismos que realizaron la interpretación de los mapas iniciales.

Métodos

La evaluación de la exactitud temática de los datos de actividad para los periodos 2013 y - 2014 en el bioma amazónico de Colombia, se llevó a cabo siguiendo lo establecido en el *Outline paper I: Reporting on emission reductions relative to the reference level*. Asimismo, se han incorporado 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). Esta evaluación en general se desarrolla en las siguientes fases:

- a. *Muestreo*. 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 consistió en la implementación de un muestreo aleatorio estratificado.

El tamaño de la muestra (n) fue determinado siguiendo las recomendaciones de Cochran (1977) para un diseño de muestreo estratificado aleatorio, donde el tamaño de la muestra fue determinado 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 los mapas de cambio del Bosque de para los años de referencia 2013 y 2014, esos estratos 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 (Bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación, No bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación, deforestación en zonas de alto riesgo de deforestación, Bosque estables en áreas de bajo riesgo de deforestación, No Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación y 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 (ver Tablas 1 y 2). 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, es decir, *Bosque estable en áreas de Alto Riesgo de Deforestación (BE-AR)*, *No bosque estable en áreas de Alto Riesgo de Deforestación (NB-AR)*, *bosque estable en áreas de bajo Riesgo de Deforestación (BE-BR)* y *No bosque estable en áreas de Bajo Riesgo de Deforestación (NB-BR)*, a partir de referentes internacionales de evaluación de exactitud de mapas de cambio, se les asignó 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 asignó

un valor de p de 0,80, por considerar que para estas clases existe mayor incertidumbre y por lo tanto menor exactitud.

Se calculó el error estándar (típico, S_i) asociado a cada clase como la raíz cuadrada de la varianza. El tamaño total de la muestra (n), fue calculado 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]

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

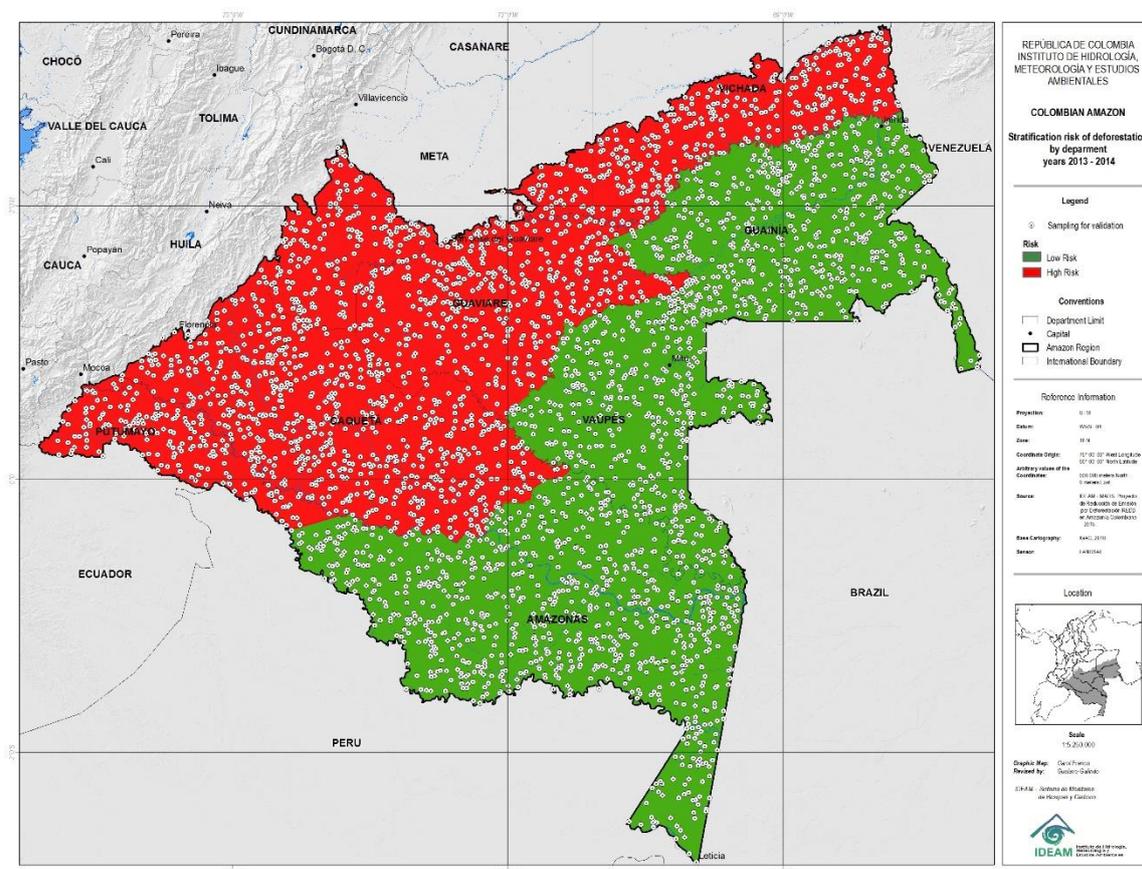


Figura 7. Estratificación de muestreo para la validación temática. Periodo 2014.

Para efectos prácticos, este apartado del reporte solamente incluye la validación temática de los resultados de monitoreo de la deforestación para el periodo 2014. En el anexo 2 del reporte se presentan la validación temática de los resultados de monitoreo de la deforestación para el periodo 2013.

Para el periodo 2014, se asumió un error estándar esperado general de clasificación de 0,5%, es decir la exactitud esperada general del mapa es del 99,5%. A partir de este

procedimiento, se obtuvo un tamaño total de muestra de 3.606 unidades de verificación para cada periodo a validar (ver Tabla 3, Figura 7).

Tabla 3. Cálculo de tamaño de muestra. Periodo 2014.

Clase	Área[Ha]	Wi	Ui	Si	S(O)	n
BE-AR	17.384.300	0,379	0,9	0,3	0,005	3.606
DEF-AR	58.859	0,0010	0,80	0,4		
NB-AR	5.006.940	0,1090	0,90	0,3		
BE-RB	22.432.000	0,4890	0,90	0,4		
DEF-RB	4.999	0,0001	0,80	0,3		
NB-RB	961.453	0,0210	0,90	0,4		

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, los estratos más pequeños (DEF-RB y DEF-RA) fueron ajustados 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.

Para las clases de deforestación, que a partir de una distribución proporcional tendrían una muestra de menos de 10 elementos, se le asignaron 100 unidades de la muestra para el estrato de deforestación en alto riesgo y de 20 unidades para el estrato de deforestación en bajo riesgo; restando éstas unidades adicionales de los estratos de Deforestación entre los estratos de mayor área y a partir de la proporción de éstas áreas (ver Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de la muestra. Periodo 2014.

Clase	Balanceada Ajustada
BE-AR	1300
BE-RB	1720
DEF-AR	100
DEF-RB	20
NB-AR	390
NB-RB	75
TOTAL	3605

En conclusión, cada una de las clases de cambio esta sobre-muestreadas en la asignación final, y las clases estables están ligeramente sub-muestreada. Por ejemplo, con una asignación proporcional del estrato BE-RA necesita 1371 muestras, y con el enfoque óptimo simplificado el tamaño de la muestra se ajustó a 1,306.

- b. *Implementación del Muestreo.* Consistió en la extracción, en formato Raster, de cada clase de interés del mapa de datos de actividad para los años 2013 y 2014 empleando la herramienta de extracción por atributos para datos Raster provista por ArcGIS 10©. Posteriormente, se genera una muestra aleatoria de puntos por estrato, de acuerdo al tamaño de muestra calculado en el diseño de muestreo, para lo cual se aplicó una restricción de distancia mínima de separación de 1.000 metros, para evitar la autocorrelación 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.

Finalmente, se genera un *buffer* con radio de 50 metros, sobre los puntos de la muestra con el fin de obtener posteriormente una ventana de 100x100 metros.

- c. *Interpretación.* El equipo de intérpretes realiza la interpretación visual de cada unidad de verificación, aplicando las definiciones de Bosque y Deforestación, adoptadas por el SMByC. La herramienta empleada para facilitar la asignación de la clase identificada visualmente sobre cada ventana de contexto evaluada fue Wildlife Works©⁴, 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.
- d. *Validación.* La validación de la exactitud temática de los datos de actividad para los periodos 2013 y 2014, fue llevada a cabo mediante la construcción de matrices de error, o de confusión. A partir de las clases extraídas de los mapas de dichas muestras y las clases de referencia obtenidas mediante la interpretación visual de la muestra. Posteriormente, a partir las matrices de error, se construyeron nuevas matrices expresadas en términos de la proporción del área estimada.

6.5 Generación de Factores de Emisión

6.5.1 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.

⁴ Página oficial de Wildlife Works, fuente: <http://www.wildlifeworks.com/index.php>.

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.

6.5.2 Estratificación del bosque natural

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 el 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 IDEAM⁵ y el modelo de elevación digital (DEM) de 30

⁵ 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>.

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).

6.5.3 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. 5] propuesta por Cairns *et al.* (1997), en la cual la BS se expresa en función de la BA.

$$BS = \exp^{(-1,095 + (0,9256 \ln(BA)))} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Posteriormente, la biomasa total (BT) para cada individuo se obtuvo al sumar su BA y su BS [Ec. 6].

$$BT = BA + BS \quad [\text{Ec. 6}]$$

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

6.5.5 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 varianzas (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. 7] y su varianza asociada [Ec. 8], se calcularon como:

$$\bar{y}_h = \sum \frac{w_{hi} \bar{y}_{hi}}{w_h} \quad [\text{Ec. 7}]$$

$$\text{var}(\bar{y}_h) = \frac{1}{w_h} \left[1 + \frac{4}{w_h^2} \sum \frac{1}{n_{hi}} (w_{hi} \{w_h - w_{hi}\}) \right] \quad [\text{Ec. 8}]$$

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 establecidas 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. 9] y el error de muestreo [Ec. 10] de \bar{y}_h se calcularon de la siguiente manera:

$$CI_{\bar{y}_h} = \bar{y}_h \pm \sqrt{\text{var}(\bar{y}_h)} t_{\alpha, n_h-1} \quad [\text{Ec. 9}]$$

$$SE_h (\%) = 100 \frac{\sqrt{\text{var}(\bar{y}_h)}}{\bar{y}_h} \quad [\text{Ec. 10}]$$

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).

6.6 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. 11].

$$\hat{y}_f = A_f \bar{y}_h \quad [\text{Ec 11}]$$

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

7. SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO FORESTAL

El SMByC es un instrumento que permite contar con información sobre la deforestación en Colombia, incluyendo la identificación de superficies en áreas de bosque (B) y no bosque (NB), la cuantificación de la deforestación bruta/neta, 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.

El objetivo básico 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.

Los principales componentes del SMByC son i) monitoreo de la deforestación, ii) monitoreo de biomasa y carbono en bosques naturales, y iii) causas y agentes de deforestación. Toda la información generada por el SMByC se encuentra disponible en la página web del sistema, a excepción de aquella que tiene restricciones de uso (vínculo [aquí](#)).

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

En Colombia actualmente se está trabajando en el diseño y estructuración de los diferentes componentes 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.

La información para el seguimiento de las emisiones y de las reducciones de GEI, no solo será proporcionada por los proponentes de acciones de mitigación, sino también se obtendrán de la conexión con diferentes sistemas de información sectoriales y transversales, como el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y del cual forma parte el SMByC cuyo principal objetivo es realizar el seguimiento de la cobertura de bosque natural a nivel nacional y regional.

7.2 Descripción de los roles y responsabilidades para el monitoreo, reporte y verificación (MRV⁶)

Los componentes del sistema 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 5 se presenta el esquema de MRV para el NREF.

El SMByC descrito anteriormente 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.

⁶ 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.

Tabla 5. 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	<p>Realizar seguimiento de la cobertura de bosque natural a nivel nacional y regional, a través de tres componentes:</p> <p>Alertas tempranas de deforestación; ii) monitoreo de carbono y iii) cuantificación de la superficie de bosque y deforestación.</p> <p>Además, es el responsable de realizar la estimación de emisiones por reducción de la deforestación a nivel nacional y regional.</p>	Vinculo aquí
	Inventario Forestal Nacional (IFN)	MADS IDEAM, Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	<p>Recoger datos que permitan realizar una estimación de las variables (y su error asociado) definidas para caracterizar las coberturas boscosas del país.</p> <p>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 madera del bosque, la calidad y condiciones de la masa forestal, y la dinámica del recurso forestal.</p>	
Reporte	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC)	IDEAM, Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	<p>Nivel Nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Boletín semestral de Alertas Tempranas por Deforestación. ● Protocolos nacionales. ● Mapas deforestación y contenido de carbono. ● Reportes Anuales de deforestación nacional. 	

MRV	Instrumento/proyecto	Institución responsable	Roles	Información adicional
			<p>Nivel regional:</p> <ul style="list-style-type: none"> Boletín trimestral de Alertas Tempranas por Deforestación para el Bioma Amazónico <p>Nivel Internacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reporte requeridos por la CMNUCC relacionados principalmente con REDD+, como el NREF y el Anexo Técnico del BUR. 	
	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

De acuerdo con el párrafo 1d decisión 4 CP16, Colombia ha establecido el SMByC como componente del MRV, como un sistema robusto, basado en las capacidades nacionales, que ha implementado operativamente 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.

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 C⁷. A continuación se reportan los resultados obtenidos por reducción de emisiones por deforestación bruta en el bioma amazónico de Colombia para los años 2013 y 2014 para el nivel de pago para REM.

Los resultados de ER para los años 2013 y 2014 corresponden a la diferencia entre el NREF y las emisiones estimadas para cada año [Ec. 12 y Ec. 13]. Las metodologías para el cálculo se describen en la siguiente sección sobre el SMByC. Así las ER para 2013 han sido estimadas en 8.852.106 t CO₂e y para el año 2014 en 10.747.409 t CO₂e.

$$ER_{2013} = NREF_{2000-2012} - EA_{2013} \quad [Ec. 12]$$

$$ER_{2013} = 46.920.066 \text{ t CO}_2\text{e/año} - 38.067.961 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$ER_{2013} = 8.852.106 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

⁷ <http://redd.unfccc.int/submissions.html?country=col>

$$ER_{2014} = NREF_{2000-2012} - EA_{2014} \quad [Ec. 13]$$

$$ER_{2014} = 46.920.066 \text{ t CO}_2\text{e/año} - 36.172.658 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$ER_{2014} = 10.747.409 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

El total de reducciones en los dos años se han estimado en 19.599.514 t CO₂e (Figura 8 y Tabla 6). Si se considerara el ajuste por Circunstancias Nacionales, las reducciones estimadas serían de 28.983.527 t CO₂e.

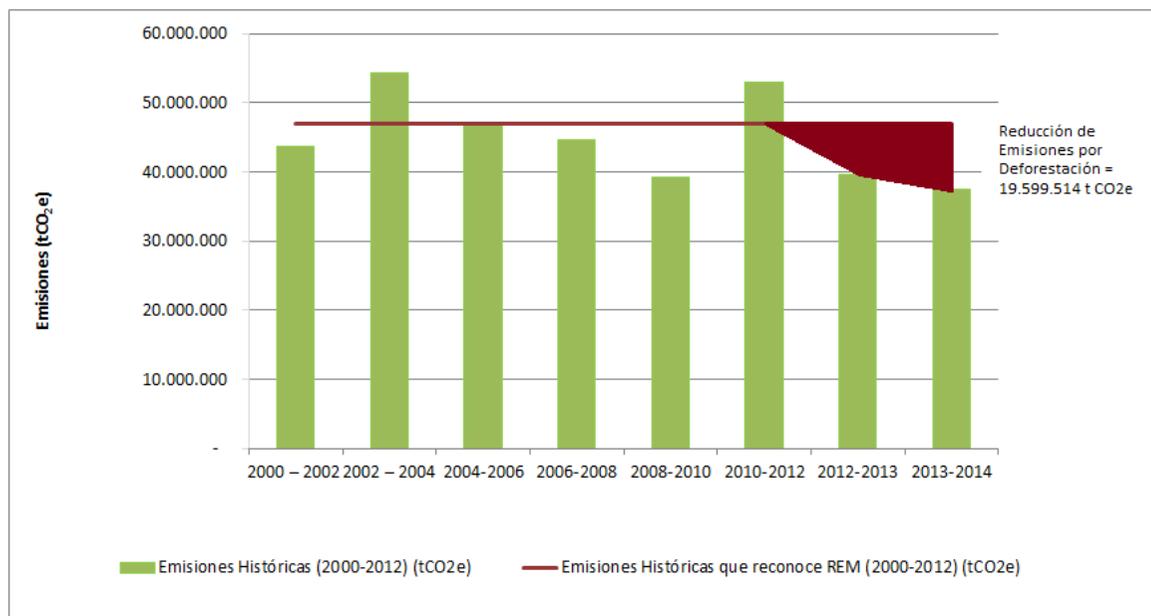


Figura 8. Resultados estimados para los años 2013 y 2014 basados en el NREF remitido por Colombia a la CMNUCC en diciembre de 2014, sin considerar ajuste por Circunstancias Nacionales, para el Nivel de Pago por REM.

Tabla 6. Resultados calculados para los años 2013 y 2014 basados en el Nivel de pago de REM.

Año	Deforestación (ha/año)	CO ₂ e (t/ha)	Emisiones (t CO ₂ e/año)	Reducción Neta (t CO ₂ e)
NREF (2000-2012)	82.883*	566,1	46.920.066	N.A
2013	67.246	566,1	38.067.961	8.852.106
2014	63.898	566,1	36.172.658	10.747.409
Total				19.599.514

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

9. 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, párrafo 7. Para la construcción de este reporte de ERs y del NREF se utilizaron los mismos métodos (incluyendo límite geográfico del bioma, datos de actividad, factores de emisión, conjuntos de datos, etc.).

9.1 Resultados de la validación de los Datos de Actividad.

La determinación del resultado final de evaluación de exactitud temática de los datos de actividad para los periodos 2013 y 2014, empleó el 100% de las unidades de la muestra (3606). En la Tabla 7, se presenta la matriz de error para el periodo 2014 obtenida a partir del recuento de las unidades efectivas de la muestra empleada.

Tabla 7. Matriz de error de recuentos de la muestra para los DA 2014.

		<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	1293					7	1300	17.384.300	0,3790
	BE-RB		1707				13	1720	22.432.000	0,4890
	DEF-AR	6		80		16		102	58.900	0,0010
	DEF-RB			2	17		1	20	4999	0,0001
	NB-AR	28		1		360		389	5.006.940	0,1090
	NB-RB			8				67	961.453	0,0210
	Total	1327	1717	81	17	383	81	3606	45.848.591	1

En la Tabla 9, se presenta la matriz de error de la proporción de área estimada para los DA 2014, así como las exactitudes del usuario, del productor y la exactitud general, las cuales fueron calculadas a partir de los datos consignados en la Tabla 8. A partir de los resultados consignados en la Tabla 9, se observa que la exactitud general para el mapa de DA 2014, es del 98,4%. Por otra parte, se obtuvo una exactitud de usuario para las clases estables “BE-AR” y “NB-AR” de 99,5% y 92,5% respectivamente, mientras que la exactitud de usuario para las clases de cambio “DEF-AR” y “DEF-RB” fue del 78% y 85% respectivamente. Para el primer caso (DEF-AR) este valor corresponde a la ocurrencia de 22 errores de comisión y para el segundo a tal solo tres. Los errores de comisión son mayores para las clases de deforestación y son mayores que los de omisión para esta misma clase. Esto se puede explicar ya que la presencia de este tipo de errores se presentó en zonas que se deforestaron en el último bimestre de 2013, pero **no** en 2014. **Tabla 9. Matriz de error de la proporción de área estimada Periodo 2014.**

		Referencia						Exactitud		
Mapa	Clase	BE-AR	BE-RB	DEF-AR	DEF-RB	NB-AR	NB-RB	Usuario	Productor	General
	BE-AR	5,92738E-07	0	0	0	5,9274E-07	1,04455-06	0.995	0.98	0.984
	BE-RB	0	1,04455E-06	0	0	0	0	0.992	0.995	
	DEF-AR	9,04632E-10	0	2,76415E-09	0	2,1611E-09	2,9717E-11	0.784	0.782	
	DEF-RB	0	5,63073E-11	0	7,97687E-11	0	0	0.850	1	
	NB-AR	2,05318E-06	0	7,88122E-08	0	2,1206E-06	5,66258E-07	0.925	0.98	
	NB-RB	0	5,66258E-07	0	0	0	0	0.893	0.83	
	Total	0,00163	0,00127	0,00029	0,00001	0,00165	0,00127			

En cuanto a la exactitud del productor, se estimó en 78,2% para la clase DEF-AR y de 100% para la clase DEF-RB, para el primer caso corresponde a 1 error de omisión.

Para este análisis utilizamos una muestra pequeña y un error de omisión o de comisión puede determinar variaciones considerables en el área ajustada y en los intervalos de confianza asociados. Obviamente, la solución para esto sería disminuir el error estándar esperado e incrementar el tamaño de la muestra lo cual implicaría un aumento de los costos de validación, por lo cual hace parte de la revisión de la hoja de ruta presentada. A partir del ajuste de áreas, se estima la deforestación en las áreas de Riesgo alto (DEF-RA) en 59.067 ha y en las áreas de Riesgo bajo (DEF-RB) en 4.249 ha (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados área estimada por clase e Intervalos de confianza. Periodo 2014.

Clase	Área Ajustada	Error (ha)	Lim. Inf (ha)	Lim Superior (ha)
BE-AR	17.654.551	74.591	17.508.352	17.800.750
BR-RB	22.365.511	58.191	22.251.456	22.479.565
DEF-RA	59.035	13.095	33.369	84.701
DEF-RB	4.249	409	3.446	5.052
NB-AR	4.736.512	75.553	4.588.428	4.884.596
NB-RB	1.028.692	58.190	914.639	1.142.745

9.2 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 $\pm 11,7$ t CO₂e/ha, con un error de muestreo de 1,8%.

10. 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 (vínculo [aquí](#)).

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 los periodos de referencia 2013 y 2014.
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 2013 (un mapa anual). Formato Raster, proyección Magna-Sirgas.
Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (img), proyección oficial de Colombia.
4. Mapa temático de deforestación anual para el año 2014 (un mapa anual). Formato Raster, proyección oficial de Colombia.
Nota: Este mapa se proporciona en formato Raster (img), proyección oficial de Colombia.
5. 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.
6. Ejemplo de la estructura de la base de datos implementada para la estimación de BA y BS.
7. Puntos del diseño de muestreo para la validación temática (anexo 3).
Nota: Se proporciona en formato vectorial (*shapefile*).
8. Base de datos con los resultados del proceso de validación temática (anexo 3).

11. 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 829 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, GOF-C-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: <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: 1130-1139.

Anexo 1. Hoja de ruta para el mejoramiento del (Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono).

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
1	Fortalecimiento institucional													
1.1	Fortalecer las capacidades técnicas para el monitoreo forestal basado en integración de datos de Observación de la Tierra e información levantada en campo en Autoridades ambientales regionales.	IDEAM	MADS/CAR/CDS	jul-15	dic-19	Sesiones de capacitaciones ejecutadas por el IDEAM a funcionarios y/o contratistas de CAR/CDS. Documentación técnica de soporte a la ejecución de módulos de capacitación por parte de IDEAM. Información de monitoreo forestal generada por CARs con el apoyo técnico del IDEAM. Infraestructura de procesamiento de datos instalada en sedes de las Autoridades Ambientales Regionales.								

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016	2017	2018	2019	
							I	II	I	II	I
1.2	Fortalecer las capacidades técnicas para el monitoreo forestal basado en integración de datos de Observación de la Tierra e información levantada en campo en Instituciones públicas del orden nacional y/o regional.	IDEAM	MADS/IIA/PNN/o tras entidades relacionadas	jul-15	dic-19	Sesiones de capacitación ejecutada por el IDEAM a funcionarios y/o contratistas de entidades públicas relacionadas con el monitoreo forestal. Documentación técnica de soporte a la ejecución de módulos de capacitación por parte de IDEAM.					
1.3	Incorporar elementos de monitoreo comunitario, en procesos de validación de datos de actividad, causas y agentes de deforestación.	IDEAM	MADS/grupos étnicos y/o locales.	ene-17	dic-19	Documento técnico con la propuesta de incorporación del Monitoreo comunitario para la validación de datos del SMByC. Resultados de la implementación de los casos piloto de monitoreo comunitario en áreas de alta dinámica de la cobertura forestal.					

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
1.4	Desarrollar el componente de fortalecimiento de capacidades del SMBYC a través de procesos de educación formal (maestrías, doctorados, posdoctorados) y no formal (pasantías, talleres técnicos, webinars, etc.).	IDEAM	MADS/IIA/PNN/o tras entidades relacionadas	jul-17	dic-19	Incorporación de estudiantes de maestría, doctorado y/o posdoctorado en las actividades de monitoreo forestal. Sesiones de capacitación no formal realizadas. Documentación técnica de soporte a la ejecución de módulos de capacitación no formal. Artículos científicos publicados.								
2	Mejoras en datos de actividad													
2.1	Implementar dentro del SMBYC un mecanismo técnico para asegurar que las áreas marcadas como deforestadas en un periodo determinado, no sean nuevamente reportadas en nuevos periodos de monitoreo.	IDEAM	MADS	ene-16	dic-16	Procedimiento técnico implementado en la generación de datos de actividad. Productos temáticos de datos de actividad generados con la implementación del procedimiento técnico.								

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016	2017	2018	2019	
							I	II	I	II	I
2.2	Implementar dentro del SMByC un mecanismo técnico para la imputación de los datos de actividad en áreas marcadas como <i>Sin información</i> . Esta acción incrementará la confiabilidad, credibilidad y legitimidad de los datos de actividad generados por el SMByC.	IDEAM		jul-16	jul-17	Procedimiento técnico implementado en la generación de datos de actividad. Productos temáticos de datos de actividad generados con la implementación del procedimiento técnico.					
2.3	Implementar dentro del SMByC metodologías estandarizadas para integrar el componente de monitoreo de la degradación forestal.	IDEAM	SINCHI	ene-16	dic-18	Protocolo para la estimación de la degradación forestal. Identificación de áreas con procesos de degradación forestal en Colombia.					
2.4	Implementar dentro del SMByC metodologías estandarizadas para integrar el monitoreo operacional de otras coberturas de la Tierra diferentes de Bosque, incluyendo principalmente: otros ecosistemas naturales, vegetación leñosa, plantaciones forestales y cultivos agroforestales.	IDEAM	MADS/IIA	ene-16	dic-18	Metodologías para integrar el monitoreo operacional de otras coberturas de la Tierra. Resultados de la implementación de las metodologías para integrar el monitoreo					

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
						operacional de otras coberturas de la Tierra								
2.5	Continuar la implementación dentro del SBYC de metodologías automatizadas de procesamiento digital de datos de monitoreo para reducir los tiempos de generación de información y aumentar la frecuencia de los reportes.	IDEAM	CARs priorizadas	ene-16	dic-19	Metodologías y/o algoritmos de procesamiento del SBYC que usan procesamiento automatizado.								
2.6	Implementar operacionalmente dentro del SBYC la generación de series densas anuales de datos históricos para el monitoreo de la deforestación.	IDEAM	MADS	jul-16	dic-17	Serie histórica de monitoreo de la superficie de bosque/deforestación para el periodo 2000-2015.								
2.7	Implementar dentro del SBYC la utilización de nuevos conjuntos de datos de Observación de la Tierra, como SAR, Sentinel 1 y 2 para mejoramiento del componente de monitoreo de la deforestación; y LiDAR como apoyo a la estimación de factores de emisión.	IDEAM	MADS/IIA	jul-16	dic-19	Nuevos conjuntos de datos (p.e SAR, LiDAR, Sentinel 1 y 2) procesados para el monitoreo forestal. Protocolos de monitoreo								

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
						de la deforestación y el carbono actualizados para la incorporación de estos conjuntos de datos.								
2.8	Articulación técnica de los datos del SNIF y el SMBYC para el monitoreo de la degradación forestal.	IDEAM	MADS/CARs	may-16	jun-18	Información espacialmente explícita de aprovechamiento forestal que permite analizar procesos de degradación forestal en Colombia.								
2.9	Disponer algoritmos en la nube para facilitar, liberar y masificar el uso de algoritmos de procesamiento en Colombia para la generación de datos de actividad.	IDEAM	MADS/IIA/CARs	jul-16	dic-19	Algoritmos de PDI disponibles en la nube para el procesamiento de datos.								
2.10	Mejorar infraestructura para almacenamiento, procesamiento y disposición de datos de actividad/factores de emisión.	IDEAM	MADS/IIA	jul-16	dic-19	Infraestructura tecnológica de procesamiento de datos mejorada y disponible para la generación de nuevos conjuntos de								

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
						datos de monitoreo forestal.								
3.	Ajuste/mejoramiento factores de emisión													
3.1	Implementar el Inventario Forestal Nacional en el bioma amazónico colombiano, a fin de contar con datos e información sobre las existencias de carbono, el volumen de madera, el área basal, el número de individuos arbóreos y la diversidad florística de los bosques naturales de la región.	MADS IDEAM	IIA Parques Nacionales Universidades Centros investigación Otros	jun-15	jul-18	Datos e información sobre las existencias de carbono (biomasa aérea, suelos y detritos de madera muerta), el volumen de madera, el área basal, el número de individuos arbóreos y la diversidad florística de la región de estudio. Bases de datos en donde se compile la información generada a partir de la implementación del Inventario Forestal Nacional en el bioma amazónico colombiano.								

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016	2017	2018	2019							
							I	II	I	II	I	II	I	II			
						<p>Estimación de los contenidos de carbono almacenados en la biomasa aérea, el suelo y los detritos de madera muerta en los bosques naturales presentes en el bioma amazónico colombiano.</p> <p>Informe con los resultados obtenidos del análisis de la información generada en el marco de la implementación en campo del Inventario Forestal Nacional en la Amazonía colombiana.</p>											
3.2	Generar datos e información sobre la dinámica del carbono almacenado de los bosques naturales del bioma amazónico colombiano, a partir del establecimiento y la remediación de parcelas permanentes de 1-ha.	IDEAM SINCHI	Parques Nacionales Universidades Centros investigación Otros	jun-15	jul-18	Bases de datos en donde se compile la información generada a partir del establecimiento/remediación de parcelas permanentes de 1-ha en											

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
						el bioma amazónico colombiano.								
						Documento técnico que sintetice la información obtenida sobre la dinámica del carbono almacenado de los bosques naturales del bioma amazónico colombiano.								
3.3	Generar datos e información necesaria para la estimación de contenidos de carbono almacenados en coberturas no-boscosas naturales y antropizadas, de manera articulada con la implementación del Inventario Forestal Nacional.	IDEAM SINCHI	MADS Parques Nacionales Universidades Centros investigación Otros	jul-16	jun-18	Protocolos para la estimación y monitoreo de las reservas de carbono almacenadas en coberturas no-boscosas. Bases de datos en donde se compile la información generada en campo en lo que respecta al almacenamiento de								

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
						carbono en coberturas no-boscosas.								
						Estimaciones de los contenidos de carbono almacenados en coberturas no-boscosas presentes en el bioma amazónico colombiano.								
3.4	Construir/ajustar ecuaciones alométricas y factores de expansión necesarios para estimar la biomasa de los bosques naturales del bioma amazónico colombiano.	IDEAM SINCHI	Universidades Centros investigación Otros	ene-17	dic-18	Ecuaciones alométricas y factores de expansión para estimar la biomasa de los bosques de bioma amazónico de Colombia.								
3.5	Generar información tier 3 sobre las reservas y dinámica del carbono, a partir de la puesta en operación de un conjunto de sitios intensivos de monitoreo de carbono en el bioma amazónico de Colombia.	IDEAM	IIA Parques Nacionales Universidades Centros investigación Otros	jul-16	dic-19	Bases de datos en donde se compile la información generada en los sitios de monitoreo intensivo del carbono en lo que respecta al almacenamiento y dinámica de carbono.								

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
4.3	Aumentar el tamaño de la muestra para la evaluación de la exactitud temática.	IDEAM	MADS	jun-15	dic-17	Selección y tamaño de muestra del proceso de verificación.								
4.4	Implementar el componente de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) en el marco de la implementación del Inventario Forestal Nacional en el bioma amazónico colombiano.	MADS IDEAM	IIA Universidades Centros investigación Otros	jun-15	dic-17	Formularios de campo y los datos a nivel de micro-dato, generados durante el desarrollo de las actividades de aseguramiento y control de calidad en la Amazonía colombiana.								
						Indicadores sobre la calidad de los datos generados durante de la implementación del IFN en la Amazonía colombiana.								
4.5	Avanzar en la estimación de incertidumbres globales que incluya las relacionadas con datos de actividad y factores de emisión.	IDEAM	MADS	may-16	dic-18	Estimación global de la incertidumbre asociada a la estimación de emisiones.								
5.	Mejoras en la difusión y retroalimentación de la información													

No	Actividad	Responsable	Trabajo conjunto	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Producto asociado	2016		2017		2018		2019	
							I	II	I	II	I	II	I	II
5.1	Implementar una plataforma pública web que incorpore un componente de trazabilidad, para la publicación de toda la información relevante del SMBYC, en formatos de trabajo, incluyendo documentos metodológicos, catálogo de imágenes de satélite, información geo-referenciada y bases de datos.	IDEAM	MADS	jun-15	dic-21	Plataforma de publicación de datos, implementada y operacional, articulada con el SIA y el SIAC.								
5.2	Lanzamiento y difusión de la plataforma pública web con toda la información relevante del SMBYC, para asegurar su uso efectivo.	IDEAM	MADS	jun-15	dic-17	Espacios de difusión para asegurar el uso efectivo de la plataforma.								
5.3	Realización de intercambios técnicos con sistemas de monitoreo operacionales en otros países.	IDEAM	MADS	jul-16	dic-17	Espacios de difusión para asegurar el uso efectivo de la plataforma.								
5.4	Coordinar y promover espacios de discusión científica de monitoreo de la superficie de bosque natural en Colombia, que puede incluir Foros, seminarios y congresos técnicos.	IDEAM	MADS	jul-16	dic-21	Informes de realización de espacios de discusión científica, indicando participantes, entidades, temas tratados e identificación de aspectos clave.								