

MEMORIA TÉCNICA

CUANTIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE DE BOSQUE NATURAL Y DEFORESTACIÓN A NIVEL NACIONAL

ACTUALIZACIÓN PERIODO 2012 – 2013



JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN
Presidente de la República de Colombia

GABRIEL VALLEJO LÓPEZ
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

PABLO ABBA VIEIRA SAMPER
Viceministro de Ambiente

OMAR FRANCO TORRES
Director General - IDEAM
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental – IDEAM

EDITORES
Natalia Córdoba Camacho
Lina María Carreño Correa

DISEÑO DE LA CARÁTULA
Grupo de Comunicaciones – IDEAM

DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN
Editorial Scripto S.A.S.
Calle 76 Bis N° 20C – 19
Teléfono: (57-1) 7562003
<http://www.scripto.com.co>

ARCHIVO FOTOGRÁFICO
Sebastián Ramírez Echeverry, 2012, IDEAM, MADS, Patrimonio Natural
y Fundación Gordon y Betty Moore, 2014.
Archivo IDEAM

CÍTESE DENTRO DE UN TEXTO COMO:

Galindo *et al.* IDEAM 2014

CÍTESE COMO:

Galindo G., Espejo O. J., Ramírez J.P., Forero C., Valbuena C.A., Rubiano J. C., Lozano R.H., Vargas K.M., Palacios A., Palacios S., Franco C.A., Granados E.I., Vergara L. K. y Cabrera E., 2014. Memoria técnica de la Cuantificación de la superficie de bosque natural y deforestación a nivel nacional. Actualización Periodo 2012 – 2013. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 56 pp.

Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, octubre de 2014, Bogotá D.C., Colombia.

ISBN: 978-958-8067-68-1 - Distribución Gratuita

2014, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM.

Este trabajo fue financiado por la Fundación Gordon y Betty Moore, proyecto “Consolidación de un Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia”, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Patrimonio Natural.

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM**

OMAR FRANCO TORRES

Director General – IDEAM

CLEMENTINA DEL PILAR GONZÁLEZ PULIDO

Secretaria General – IDEAM

CONSEJO DIRECTIVO

GABRIEL VALLEJO LÓPEZ

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

JUAN PABLO RUIZ SOTO

Delegado de la Presidencia
de la República

NATALIA ABELLO VIVES

Ministra de Transporte

RAMÓN LEAL LEAL

Director Ejecutivo

SIMÓN GAVIRIA MUÑOZ

Director General
Departamento Nacional
de Planeación- DNP

Asociación de Corporaciones Autónomas
Regionales y de Desarrollo Sostenible – ASOCARS

YANETH GIHA TOVAR

Directora General

MAURICIO PERFETTI DEL CORRAL

Director General
Departamento Nacional
de Estadísticas-DANE

Departamento Administrativo de Ciencia,
Tecnología e Innovación –COLCIENCIAS

CLEMENTINA DEL PILAR GONZÁLEZ PULIDO

Secretaria Técnica del Consejo

DIRECTIVAS

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ

Subdirectora de Ecosistemas
e Información Ambiental

JAIRO CÉSAR FÚQUENE RAMOS

Jefe Oficina Asesora de Planeación

MAX ALBERTO TORO BUSTILLO

Subdirector (E) de Estudios Ambientales

BIBIANA LISSETTE SANDOVAL BÁEZ

Jefe (E) Grupo de Comunicaciones

NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ

Subdirector de Hidrología

LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA

Jefe Oficina de Informática

MARÍA TERESA MARTÍNEZ GÓMEZ

Subdirectora de Meteorología

ADRIANA PORTILLO TRUJILLO

Jefe Oficina Asesora Jurídica

CHRISTIAN FELIPE EUSCÁTEGUI COLLAZOS

Jefe Oficina Pronósticos y Alertas

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO

Jefe Oficina Control Interno

AUTORES

Gustavo Galindo
Óscar Javier Espejo
Juan Pablo Ramírez
Cristhian Forero
César Augusto Valbuena
Juan Carlos Rubiano
Santiago Palacios
Rosa Helena Lozano
Kattia Magreth Vargas
Adriana Palacios
Carol Andrea Franco
Edwin Iván Granados
Lina Katherine Vergara
Edersson Cabrera

COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN

Edersson Cabrera Montenegro

Coordinador General

Natalia Córdoba Camacho

Asistente de Coordinación

Lina María Carreño Correa

Apoyo Equipo Coordinación

Carlos Alberto Noguera Cruz

Asistente Administrativo y Financiero

María Saralux Valbuena López

Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

Adriana Paola Barbosa Herrera

Coordinadora Grupo de Bosques

Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

GRUPO DE BOSQUES

Adriana Paola Barbosa Herrera
Claudia Patricia Olarte Villanueva
Luis Mario Moreno Amado
Carolina Rozo Mora

COLABORADORES

Sonia Mireya Ortiz Camargo
Salomón Einstein Ramírez
Natalia Córdoba Camacho
Lina María Carreño Correa

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, agradece al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a la Fundación Gordon y Betty Moore, a Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas y a las siguientes entidades que contribuyeron al logro de esta publicación, por el apoyo e información suministrada:

WWF International– Naikoa Aguilar-Amuchastegui, MRV Coordinator. Forests and Climate Program

Universidad de Maryland (EE.UU.) -Departamento de Ciencias Geográficas. Mathew Hansen – Peter Potapov.

Programa SilvaCarbon (EE.UU) - Especialmente a Sylvia Wilson, Craig Wayson, Ana María Planas y Coral Roig-Sillva por su constante y sincero apoyo.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica - CIAF. Elena Posada y Mauricio Ramírez.

Proyecto “Consolidación de un Sistema de Monitoreo
de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental
y de Manejo en Colombia”

COMITÉ TÉCNICO

Rodrigo Suárez Castaño

Director de Cambio Climático
Ministerio de Ambiente y Desarrollo
Sostenible

María Claudia García Dávila

Dirección de Bosques, Biodiversidad
y Servicios Ecosistémicos
Ministerio de Ambiente y Desarrollo
Sostenible

María Saralux Valbuena López

Subdirectora Ecosistemas e Información
Ambiental Instituto de Hidrología,
Meteorología y Estudios Ambientales
IDEAM

Max Alberto Toro Bustillo

Subdirector (E) de Estudios Ambientales
Instituto de Hidrología, Meteorología
y Estudios Ambientales – IDEAM

Paulina Arroyo

Oficial Program Andes Amazon Initiative
Fundación Gordon y Betty Moore

Francisco Alberto Galán Sarmiento

Director Ejecutivo
Patrimonio Natural Fondo para la
Biodiversidad y Áreas Protegidas

Coordinación General

Edersson Cabrera Montenegro
Natalia Córdoba Camacho
Lina María Carreño Correa
Carlos Alberto Noguera Cruz

Equipo Técnico Carbono

Juan Fernando Phillips Bernal
Miguel Ángel Peña Hernández

**Equipo Técnico Procesamiento
Digital de Imágenes**

Gustavo Galindo García
Óscar Javier Espejo
Juan Carlos Rubiano Rubiano
Adriana Palacios Manrique
Kattia Vargas Jurado
Rosa Helena Lozano Cuevas
Santiago Palacios Noguera
Cristian Fabián Forero
César Augusto Valbuena Calderón
Juan Pablo Ramírez
Carol Franco Aguilera
Edwin Iván Granados
Sonia Mireya Ortiz Camargo

**Equipo Técnico Componente
Tecnológico**

María Liseth Rodríguez Montenegro
Xavier Corredor Llano
Emilio José Barrios Cárdenas
Nelly Novoa Castro

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y CONVENCIONES

°C:	Grados centígrados
BA:	Biomasa área
C:	Carbono
cm:	Centímetros
D:	Diámetro normal medido a 1,30 cm del suelo
e.g.:	Significa por ejemplo; del latín <i>exempli gratia</i>
et al.:	Significa ca y colaboradores, y otros; del latín <i>et alii</i>
Exp:	Función exponencial
ha:	Hectárea
i.e.:	Significa esto es; del latín <i>id est</i>
IDEAM:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
kg:	Kilogramo
ln:	Logaritmo neperiano
mm:	Milímetro
REDD:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
t:	Tonelada

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVO Y ALCANCE	13
2. CONCEPTOS Y LINEAMIENTOS APLICADOS EN EL MONITOREO DE DEFORESTACIÓN.....	15
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Insumos, selección de imágenes e insumos.....	19
3.2 Pre-procesamiento	20
3.3 Procesamiento.....	23
3.4 Control de calidad.....	23
3.5 Cálculo de la superficie de Bosque Natural y tasa de deforestación	24
4. RESULTADOS DE LA DEFORESTACIÓN A NIVEL NACIONAL ESCALA FINA.....	27
4.1 Superficie y distribución de la cobertura del Bosque Natural en 2013	27
4.2 Cambio en la superficie Bosque Natural	33
4.3 Núcleos de deforestación <i>-Hotspots-</i>	43
4.4 Deforestación histórica 1990-2013	46
LITERATURA CITADA.....	49
GLOSARIO	53

INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático– CMNUCC ha dado un reconocimiento especial al rol crítico que juegan los bosques en la lucha contra el cambio climático, es por esta razón que las partes reunidas en 2005 (COP11) acordaron poner en marcha una iniciativa para mitigar las emisiones potenciales de Gases de Efecto Invernadero -GEI generadas por los procesos de deforestación y degradación, iniciativa que recibe el nombre de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación - REDD+. Como parte de la estrategia se establece la importancia del monitoreo de los cambios en el área de la cobertura de bosques, para lo cual resulta fundamental el uso de imágenes y datos provenientes de sensores remotos (GOF-C-GOLD, 2013) gracias a que ofrecen la posibilidad de obtener información de las superficie terrestre con un amplio cubrimiento espacial y en algunos casos temporal.

Así mismo, recientemente en Varsovia, la COP 19 decidió que los países en desarrollo deben establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que permitan cuantificar las emisiones/absorciones de GEI y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de Carbono. Este contexto hace parte de lo que hoy se conoce como el marco de Varsovia para REDD+.

Atendiendo estas recomendaciones y en cumplimiento de sus funciones misionales, IDEAM con el apoyo de la Fundación Gordon and Betty Moore desde 2009 dio inicio al fortalecimiento de capacidades institucionales, técnicas y científicas para la implementación del mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación –REDD– en Colombia. Uno de los objetivos en este aspecto fue establecer las bases para implementar un sistema de monitoreo de la deforestación desde dos niveles de aproximación: Nacional y Sub-nacional. Como resultado se elaboró un primer protocolo para identificar y cuantificar la pérdida del bosque a partir de imágenes de sensores remotos. Esta metodología permitió realizar un seguimiento histórico de la deforestación a nivel nacional, con dos escalas de análisis, escala gruesa (compatible con 1:500.000) para el periodo 2000 - 2007 y otro a escala fina (compatible con 1:100.000) para los periodos 1990-2000, 2000-2005 y 2005-2010 (Cabrera *et al.*, 2011).

Para dar continuidad al proceso y gracias al apoyo financiero de la Fundación Gordon and Betty Moore, el IDEAM en 2012 pone en marcha la consolidación

del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia -SMBYC con el objetivo de afianzar los lineamientos técnicos, científicos y tecnológicos necesarios para implementar un Sistema de Monitoreo. Como parte de las estrategias diseñadas se establecieron tres componentes operativos: i) Alertas Tempranas de Deforestación; ii) Monitoreo del Carbono en Bosques Naturales; y iii) *Cuantificación de la Superficie de Bosque Natural y Superficie Deforestada*.

Desde entonces y gracias a la experiencia adquirida se han implementado mejoramientos, realizando ajustes metodológicos al procesamiento de imágenes de sensores remotos. Esta actualización incorpora avances tecnológicos derivados de la investigación científica y mejoramiento del componente *iii*, aumentando la exactitud y confiabilidad en los resultados, a la vez que se reduce el tiempo de procesamiento para entregar resultados oportunos. Con estos ajustes se logra dar continuidad al monitoreo de la deforestación generando un nuevo periodo de análisis 2012-2013. De esta forma, el país cuenta por primera vez con una cifra anual de deforestación, lo cual constituye un importante logro para potencializar las acciones de control en las áreas de mayor deforestación. Ahora es posible monitorear sistemáticamente el bosque y tomar acciones rápidas y oportunas frente a actividades que atentan contra la conservación de estos ecosistemas naturales en Colombia.

Este documento condensa los resultados del componente de *Cuantificación de la Superficie de Bosque Natural y Superficie Deforestada* a nivel nacional y regional, basado en el procesamiento digital semi-automatizado de imágenes de sensores remotos. Este es un reporte de la deforestación registrada a nivel nacional durante el periodo 2012-2013

1. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo principal de este componente, es cuantificar la superficie de bosque natural y la deforestación ocurrida a nivel nacional durante el periodo 2012-2013, a partir del procesamiento digital semi-automatizado de imágenes de sensores remotos de resolución espacial media. Así mismo, pretende dar continuidad al seguimiento y monitoreo histórico realizado a nivel nacional para el periodo 1990-2010 (Cabrera, Galindo & Vargas, 2011) y 2010-2012 (IDEAM, 2013).

Cabe aclarar que las imágenes satelitales utilizadas y los procesos metodológicos fueron diseñados para identificar y cuantificar la deforestación en una escala 1:100.000 aproximadamente, por lo que preferiblemente su ámbito de aplicación se aconseja para análisis a nivel nacional y regional. En este sentido, los productos generados pueden no ser compatibles a niveles locales y deben ser utilizados con precaución a nivel de proyecto, los análisis, reportes o toma de decisiones de índole local deben tomar en consideración las restricciones de escala de representación.

Así mismo, es necesario tener en cuenta que la implementación de todo sistema de monitoreo es un proceso de mejoramiento continuo, requiriendo ajustes constantes de manera que se optimicen los procesos logrando resultados cada vez más satisfactorios y oportunos. Aunque los principios metodológicos del monitoreo histórico 1990-2010 (Cabrera, Galindo, *et al.*, 2011) continúan vigentes, el procesamiento digital de las imágenes para el periodo 2012-2013 se realizó efectuando mejoramientos procedimentales; enfoque que permitió incrementar la eficacia en la detección de los eventos de deforestación y disminuir el tiempo de producción de los resultados para tener un reporte anual del cambio en la superficie de bosque natural (Galindo *et al.*, 2014).

Estos mejoramientos procedimentales pueden repercutir en los resultados, con la posibilidad de incrementar el uso y disponibilidad de insumos de teledetección, lo que puede originar diferencias en las cifras de deforestación reportadas para periodos anteriores (p.e. 1990-2012).

2. CONCEPTOS Y LINEAMIENTOS APLICADOS EN EL MONITOREO DE DEFORESTACIÓN

Para el monitoreo del cambio de la cobertura del bosque se mantienen las definiciones de bosque, deforestación y regeneración establecidas en el “Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia a Nivel Nacional – Escala Gruesa y Fina (Cabrera *et al.*, 2011).

Cobertura de Bosque: 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 m al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha (Figura 1). Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales (coníferas y/o latifoliadas), plantaciones comerciales de Palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria, y árboles en parques urbanos. Esta definición es consecuente con los criterios definidos por la CMNUCC en su decisión 11/COP.7, con la definición adoptada por Colombia ante el Protocolo de Kioto (MAVDT, 2002).

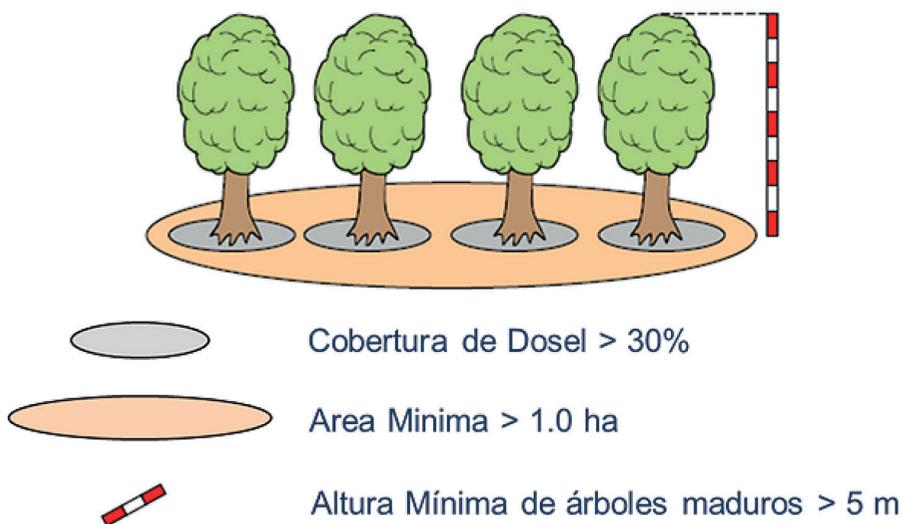


Figura 1. Representación de los criterios que definen la Cobertura Boscosa.

Deforestación: Corresponde a la conversión directa y/o inducida de la cobertura bosque natural a otro tipo de cobertura de la Tierra en un periodo de tiempo determinado (DeFries *et al.*, 2006; GOF-C-GOLD, 2009).

Regeneración: Corresponde a la recuperación directa y/o inducida de la cobertura de bosque natural proveniente de otro tipo de cobertura de la Tierra en un periodo de tiempo determinado, donde no estaba presente en fechas anteriores.

Por otra parte, para el procesamiento y reporte de los eventos de cambio en la cobertura del bosque se siguieron los lineamientos técnicos definidos en el Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia Versión 2.0 (Galindo *et al.*, IDEAM 2014), los cuales se resumen a continuación:

- 1. Enfoque de Detección de cambio vs. Comparación de mapas de dos fechas:** La identificación de la deforestación se realiza mediante la detección directa de cambios. En este enfoque se procesan y comparan simultáneamente las imágenes de satélite de las dos fechas analizadas, identificando los cambios en la repuesta espectral que puedan corresponder a una pérdida o ganancia de la cobertura de Bosque. De esta forma, se comparan directamente las imágenes y no los mapas de Bosque y No Bosque generados de manera independiente para cada fecha.
- 2. Generación de compuestos de imágenes libres de nubes:** La detección de cambio directa se realiza a partir del uso de series de tiempo y generación de compuestos temporales derivados de estas series que se obtienen integrando los datos de todas las imágenes disponibles para el intervalo de tiempo analizado (1 año en este caso). Este enfoque disminuye las áreas sin información, ya que existe la posibilidad de que al menos una de las imágenes de la serie esté libre de nubes para un pixel dado. Igualmente permite incluir en el análisis la variabilidad en la respuesta espectral debida a la estacionalidad, de tal forma que los cambios detectados no se deban a diferencias en las condiciones climáticas de la época del año en la que se toman las imágenes. Este enfoque resulta especialmente útil en las coberturas boscosas con mayor estacionalidad tales como áreas de bosques secos o áreas de bosques inundables.
- 3. Manejo de áreas sin información para la cuantificación de la deforestación:** Para calcular la superficie de deforestación entre dos fechas se tendrá en cuenta únicamente los eventos en los cuales se tiene información de la existencia de bosque en la primera fecha y de pérdida de 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 serán incluidas en el cálculo con el fin de evitar superficies sobrestimadas luego de periodos en los que aumenta las áreas sin información. Este criterio está incluido en la hoja metodológica de cálculo de los indicadores

Superficie de Bosque Natural y Cambio en la Superficie de Bosque natural generados por el IDEAM en su sistema de indicadores ambientales.

4. **Control de calidad constante:** Durante todo el proceso de generación de los mapas de cambio de la cobertura de bosque se sigue un protocolo de control de calidad que evalúa constantemente los productos generados a fin de detectar errores e inconsistencias y verificar su ajuste antes de obtener los productos finales que serán sometidos a la evaluación de exactitud temática.
5. **Preferencia de uso de software libre:** Priorizar el uso de programas de procesamiento digital de imágenes de carácter libre, de código abierto y/o gratuito, de acuerdo con la disponibilidad y aplicabilidad de los mismos. El uso de los programas de código abierto permite optimizar las tareas de pre-procesamiento y procesamiento digital, adecuando algoritmos para las necesidades particulares del sistema de monitoreo, mejorando la calidad y tiempo de los procesos computacionales. El uso de herramientas gratuitas reduce la dependencia institucional de las licencias de tipo propietario con los costos y limitaciones de uso que conlleva, garantizando la sostenibilidad económica del sistema de monitoreo en el tiempo.

3. METODOLOGÍA

El monitoreo sistemático de la superficie bosque natural permite identificar y tomar acciones de control en las áreas de mayor deforestación en Colombia. Esta información es generada a partir del procesamiento digital semi-automatizado de imágenes de sensores remotos. A continuación se presenta una descripción detallada de la metodología implementada.

3.1 Insumos, selección de imágenes e insumos

Información de referencia Año 2012: Como información de referencia se utilizaron las imágenes del programa satelital *Landsat* (TM5, ETM+), integrando las imágenes disponibles en el catálogo en compuestos temporales para el año de referencia.

Se utilizaron los productos *Median last single cloud-free observation (MedLast)* y *Average 2575* generados por el laboratorio *Global Land Cover Facility* de la Universidad de Maryland (EE.UU.). Estos productos son construidos a partir de compuestos multianuales de imágenes *Landsat* del periodo 2000 - 2012 a las que previamente se les ha aplicado procesos de calibración y corrección radiométrica, eliminando los píxeles contaminados atmosféricamente. El producto *Average 2575* (ver Figura 2, derecha) corresponde al valor promedio de los valores de reflectancia que se encuentran entre el percentil 25 y 75 del compuesto, generado para cada píxel de cada banda espectral. Por su parte, el producto *MedLast* (ver Figura 2 izquierda) corresponde a la mediana de los tres últimos valores sin nubes de cada banda obtenida del compuesto de imágenes multianual, y que para el caso serían datos correspondiente al año 2012. Los dos productos incluyen cuatro bandas espectrales de las imágenes *Landsat*, a saber: Rojo (0.626-0.693 μ m), Infrarrojo cercano- NIR (0.776-0.904 μ m), Infrarrojo de onda corta SWIR1 (1.567-1.784 μ m) e infrarrojo de onda media SWIR2 (2.097-2.349 μ m).

Información de referencia 2013: Para esta fecha se utilizaron las imágenes *Landsat* de los sensores *Landsat 7 ETM+* y *Landsat 8 OLI* descargadas del servidor del *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS) del Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS a través del visualizador *Glovis*.

Para este periodo de referencia, el objetivo es construir un compuesto temporal anual, para cada una de las 62 escenas que cubren el área continental del país, por lo cual en el catálogo disponible se seleccionaron las imágenes con menos del 40% de nubosidad. En total se utilizaron 664 imágenes correspondientes al año 2013.

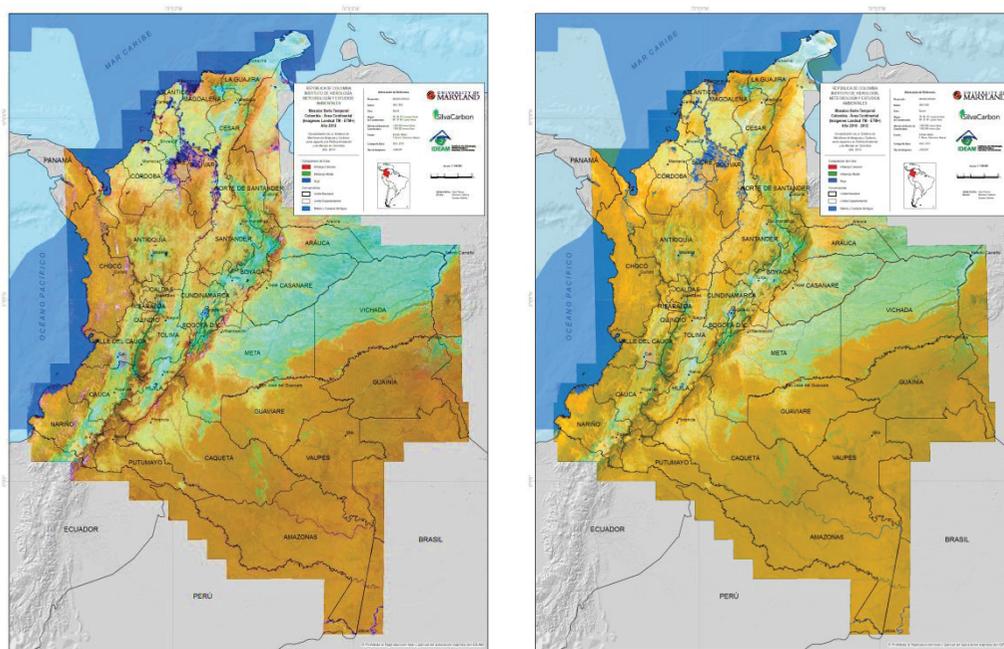


Figura 2. Compuestos temporales de imágenes Landsat utilizados como referencia. Derecha: Average 25-75, Izquierda: MedLast de 2002

3.2 Pre-procesamiento

Las imágenes descargadas fueron reconstruidas uniendo las bandas espectrales. Se descartaron las bandas que corresponden a la longitud de onda del Infrarrojo térmico y adicionalmente las capas de Aerosoles y Cirrus en el caso de las imágenes *Landsat 8*. A continuación se describen los pasos de pre-procesamiento adelantados sobre el conjunto de imágenes (Figura 3).

Corrección geométrica: Para la construcción de la serie de tiempo y los compuestos temporales es indispensable tener un co-registro exacto a nivel de pixel entre todas las imágenes de cada escena. Aunque en la mayoría de casos las imágenes descargadas tenían un perfecto co-registro, aquellas que no cumplieron esta condición fueron ajustadas modificando los valores de las coordenadas externas. Es importante mencionar que el sistema de referencia geográfico en el que se descargaron las imágenes fue conservado durante toda la fase de pre-procesamiento y procesamiento, con el fin de evitar problemas de co-registro al aplicar los algoritmos de transformación de coordenadas. Una vez generado el Mapa de Cambios en la Su-

perficie de Bosque se realiza una re-proyección utilizando los parámetros oficiales del sistema de coordenadas para Colombia, MAGNA-Sirgas.

Calibración radiométrica y corrección atmosférica: Los valores de niveles digitales de las imágenes descargadas fueron transformados en datos de energía emitida por la superficie y ajustados atmosféricamente con el modelo de corrección 6s para obtener imágenes con valores de reflectancia. Las imágenes así transformadas tienen una mayor consistencia en las respuestas radiométricas dentro y entre imágenes, permitiendo la aplicación de procesos y modelos estándar para todas las escenas y fechas analizadas (Coppin & Bauer, 1996; Hansen & Loveland, 2012; Théau, 2012).

Para realizar la conversión de los datos a valores de reflectancia se usó la herramienta LEDAPS® Pre-processing desarrollada por NASA (<http://ledaps.nascom.nasa.gov/tools/tools.html>). Debido a que a la fecha LEADPS no soporta imágenes Landsat 8, éstas se procesaron con el programa Carnegie Landsat Analysis System Lite- CLASLite®.

Enmascaramiento de nubes y agua: Los píxeles sin información por condiciones de nubosidad, bruma y sombras junto con los cuerpos de agua fueron eliminados de las imágenes mediante funciones de enmascaramiento. Se utilizaron las aplicaciones **Claslite**®, **Fmask**® (Zhu & Woodcock, 2012) diseñada para imágenes *Landsat* sobre plataforma **MatLab**® <http://ftp-earth.bu.edu/public/zhuzhe/> e **ImgTools 1.0**® (versión beta), desarrollado por el Instituto IMAZON de Brasil (Souza Moreira & Siquieria Nascimento, 2013). En los casos en que los píxeles enmascarados quedaron con valores negativos se reasignaron a valores de "No Dato", evitando así que sean computados en los procesos y algoritmos aplicados posteriormente.

Normalización radiométrica: Se aplicó con el objeto de ajustar las señales radiométricas entre las imágenes de los años 2012 y 2013 disminuyendo las variaciones en la reflectancia debidas a condiciones atmosféricas, de tal manera que la información radiométrica sea comparable para la detección del cambio (Olthof, Pouliot, Fernandes, & Latifovic, 2005; Potapov *et al.*, 2012). Debido a que no se cuenta con datos de la atmósfera y geometría del sensor al momento de la toma, se llevó a cabo una normalización relativa en la que se ajustó la media y desviación estándar de cada banda espectral de las imágenes de 2013 respecto a los valores de reflectancia del producto *AVG2575*.

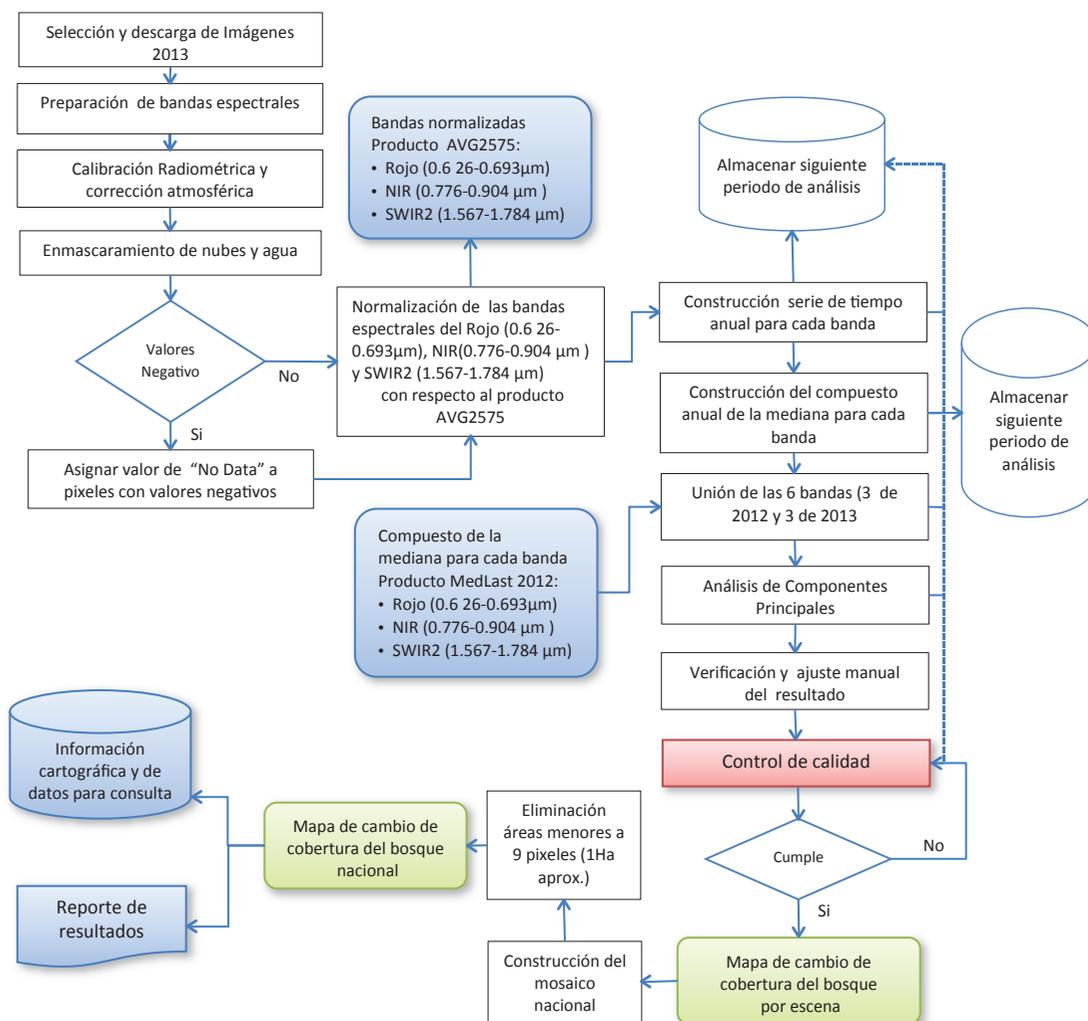


Figura 3. Proceso metodológico para obtener el Mapa de Cambio de la Cobertura de Bosque 2012-2013

La normalización y demás procesos subsiguientes se realizan únicamente con las bandas de longitudes de onda del **Rojo** (0.6 26-0.693µm), **infrarrojo cercano – NIR** (0.776-0.904 µm) e **infrarrojo medio de onda corta - SWIR2** (1.567-1.784), debido a que estas bandas recogen la mayoría de la información espectral de la vegetación que resulta clave en la detección de cambio.

Series de tiempo y compuestos temporales: Con las imágenes normalizadas de 2013 se construyó una serie de tiempo anual para cada una de las tres bandas (**Rojo, NIR, SWIR2**) y tipo de sensor (*Landsat 7 y 8*) por separado. Finalmente, se generó el compuesto de cada banda y escena extrayendo el valor correspondiente a la mediana de cada serie de datos disponible; en el caso de presentarse datos de los dos sensores (**TM y ETM+**) para una misma banda y escena se procede a realizar un promedio de las medianas.

3.3 Procesamiento

Se adelantó una etapa de revisión de diferentes métodos de detección directa de cambios, producto de lo cual se optó por el uso de Análisis de Componentes Principales (**PCA** por sus siglas en inglés), aplicado a los datos fusionados de los dos años (2012 y 2013), empleando matrices de correlación. La premisa para este tipo de análisis es que las imágenes de las fecha comparadas son altamente correlacionadas y la transformación con **PCA** puede resaltar las diferencias atribuibles al cambio (Muchoney & Haack, 1994; Munyati, 2004). Existen estudios que dan soporte al uso del **PCA** en la identificación de cambios de cobertura (Fung & Ledrew, 1987; Guild, Cohen, & Kauffman, 2004; Hayes & Sader, 2001), particularmente se ha encontrado que los dos primeros componentes tienden a representar la variación asociada a coberturas que permanecen sin cambio y al ruido de las imágenes, mientras que los componentes subsiguientes resultan útiles en la detección de cambios de coberturas (Hayes & Sader, 2001).

Para aplicar el algoritmo se unieron los compuestos de las tres bandas generados para las escenas del periodo de referencia 2013 (**Rojo, NIR y SWIR2**) y las tres bandas correspondientes del producto *MedLast* para el periodo de referencia 2012. Con este producto de seis capas se efectuó el análisis **PCA** evaluando cada uno de los componentes principales derivados y seleccionando el que resultara más efectivo para detectar los posibles cambios del bosque; en este caso el tercer, cuarto o quinto componente fueron útiles detectando los cambios en la superficie de bosques natural. Una vez seleccionado el componente principal de interés, se determinan los umbrales o rango de valores que representara cada una de las clases del mapa de cambio, a saber:

1. Bosque Estable,
2. No Bosque Estable,
3. Deforestación,
4. Regeneración y
5. Sin Información (corresponde a los pixeles enmascarados),

El producto de esta etapa es un archivo geográfico temático, reclasificado en estas cinco clases. Finalmente, se verifica visualmente el resultado con las imágenes de reflectancia de los dos periodos de referencia para detectar zonas que no fueron clasificadas satisfactoriamente y reasignar a la clase adecuada.

3.4 Control de calidad

Una de las claves para asegurar la calidad temática de los resultados, es la implementación de un procedimiento de control de calidad temática. En este sentido, se realizó un seguimiento y verificación de cada uno de los procedimientos efectua-

dos y productos intermedios requeridos para generar el mapa de cambio, a saber: i) Descarga de imágenes, ii) Pre-procesamiento, iii) Mapa de cambio primera versión, iv) ajustes y observaciones de control de calidad, v) mapa final de cambio.

El control de calidad de los mapas de cambio por escena se hizo mediante un proceso iterativo de revisión y ajuste hasta obtener un producto final satisfactorio. Cada versión del Mapa de Cambio fue evaluada, generando reportes gráficos, estadísticos y espaciales en los que se mostraron los posibles errores en la detección de cambio, reportes que incluyen: i) Áreas de cambio por deforestación y regeneración de la escena evaluada, ii) Polígonos de cambio menores a una hectárea tanto en deforestación como en regeneración, de acuerdo con el área mínima cartografiable y iii) sectores con polígonos de cambio cercanos que deberán ser examinados.

Igualmente, para garantizar la consistencia histórica de los datos reportados, se comparó cada escena con la serie histórica de deforestación 1990-2012 generada por el IDEAM (Cabrera, Vargas, *et al.*, 2011). Las clases que no presentaron cambios lógicos fueron revisadas y corregidas en caso de que el error correspondiera al periodo 2012 – 2013. Algunos ejemplos de estas inconsistencias corresponden a valores de No Bosque Estable en la serie histórica y Deforestación en 2012-2013, o Bosque Estable Histórico y No Bosque Estable en el periodo de análisis.

Finalmente, para construir el mosaico nacional se compararon y ajustaron las áreas comunes entre las escenas vecinas realizando el empalme entre cada par de escenas.

3.5 Cálculo de la superficie de Bosque Natural y tasa de deforestación

Para el cálculo y reporte de la cobertura y cambio del bosque se siguieron los lineamientos definidos en los indicadores ambientales del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible e IDEAM versión 5 (2014) correspondientes a la *Proporción de la superficie cubierta por bosque natural y tasa de deforestación*.

Superficie Cobertura de bosque natural 2013: Se calculó como el área de bosque identificada en las imágenes de satélite para 2013.

Tasa anual de deforestación (TD): En la estimación de la tasa anual de cambio del bosque se utilizó la función propuesta por Puyravaud, (2003):

$$TD_{2012-2013} (\%) = \left[\left(\frac{1}{(2013-2012)} \right) * \ln \left(\frac{A_{2013}}{A_{2012}} \right) \right] * 100$$

Donde, A_{2012} y A_{2013} son las áreas de bosques presentes en 2012 y 2013

Es necesario tener en cuenta que las áreas sin información en las imágenes de cada año son diferentes y por lo tanto afectan el valor del área total del bosque observado, por lo cual no resultan comparables. En consecuencia, para el cálculo de la tasa es necesario incluir únicamente aquellas áreas de bosque observadas en 2012 y que pudieron ser monitoreadas también en 2013.

Estos valores fueron estimados según los resultados del Mapa de Cambio de la Cobertura de Bosque, el cual tiene 5 clases definidas: 1) Bosque Estable, 2) No Bosque Estable, 3) Deforestación, 4) Regeneración y 5) Sin Información. El cálculo del Área del bosque (A_t) para la tasa de cambio se realizó de la siguiente manera:

$$A_{2012} = SBE_{2012-2013} + SD_{2012-2013}$$

$$A_{2013} = SEB_{2012-2013}$$

Donde, $SBE_{2012-2013}$ es la superficie de bosque que ha permanecido estable entre los años 2012 y 2013.

$SD_{2012-2013}$ es la superficie deforestada en el intervalo 2012-2013.

La superficie de bosque natural y tasas de deforestación fueron estimadas para la superficie continental del país, regiones naturales, áreas hidrográficas, regiones sub-nacionales definidas para el seguimiento del cambio climático, corporaciones autónomas regionales – CARs y departamentos.

4. RESULTADOS DE LA DEFORESTACIÓN A NIVEL NACIONAL ESCALA FINA

Este capítulo presenta los resultados de la *cuantificación de la Superficie de Bosque Natural y Superficie Deforestada* a nivel nacional y regional, basado en el procesamiento digital semi-automatizado de imágenes de sensores remotos, durante el periodo 2012-2013.

4.1 Superficie y distribución de la cobertura del Bosque Natural en 2013

La aplicación del protocolo de procesamiento digital de imágenes de satélite a nivel nacional (Galindo *et al.*, IDEAM 2014), permite identificar que para 2013, el territorio continental colombiano contaba con 59.134.663 ha de bosque natural, equivalentes al 51,8%¹. Asimismo, el 46% de superficie continental presentó otro tipo de coberturas, ya sean naturales o antrópicas (Figura 2). El 2,2% del territorio continental restante no pudo ser evaluado debido a la persistencia de nubes en todas las imágenes de satélite utilizadas.

Un análisis a nivel regional, permite identificar que tan solo la región natural de la Amazonía concentra el 67,2% del área total de bosque natural del país, seguida por la región Andina (17,2%), Pacífica (8,9%), Orinoquía (3,7%) y finalmente Caribe, que continúa siendo la región con menor cobertura de bosque (3%). Como se nota, la región Pacífica ocupa el tercer lugar en porcentaje de bosque natural remanente a nivel nacional; no obstante cabe destacar que el 78,6% de la superficie de esta región se encontraba cubierta por bosque natural, frente a solo un 34,8% de la región Andina, denotando la relevancia del Pacífico colombiano a nivel nacional en conservación de superficie boscosa (Tabla 1). La figura 4 presenta la distribución geográfica de la superficie de bosque natural a nivel nacional.

1. Calculado sobre un área total de 114.059.487 ha correspondiente al área de extraída de las imágenes de satélite. La diferencia con el dato oficial de la superficie continental del país (114.174.800 ha) se debe a que las imágenes y la cartografía derivada se procesa en formato *raster*, es decir que la información se encuentra almacenada en píxeles y éstos no pueden ser cortados o divididos para que concuerden exactamente con la línea que representa el límite del territorio.

Tabla 1. Superficie de bosque natural para el año 2013, distribución por regiones naturales en el área continental de Colombia.

Región Natural	Bosque natural (ha)	No Bosque (ha)	Sin Información (ha)	% de la región con cobertura de bosque	% Bosque del total nacional*
Amazonas	39.744.524	5.988.476	125.171	86,7	67,2
Andes	10.151.728	17.193.587	1.851.260	34,8	17,2
Caribe	1.767.666	13.561.274	121.215	11,4	3,0
Orinoquía	2.185.960	14.645.280	1.377	13,0	3,7
Pacífico	5.284.786	1.044.609	392.574	78,6	8,9
Total nacional	59.134.663	52.433.226	2.491.598		

* Porcentaje del total del bosque a nivel nacional que se encuentra en cada región natural

Desde el punto de vista de las Áreas Hidrográficas, la cuenca del río Amazonas alberga la mitad de la cobertura de bosque natural remanente con un 50,2% del total nacional; en segundo lugar está el área hidrográfica del río Orinoco (25,9%), la cual como cuenca incluye las zonas del flanco oriental de la Cordillera Oriental y parte de los bosques de la región amazónica cuyos ríos drenan al Orinoco. Asimismo, las áreas hidrográficas de Magdalena-Cauca (8,4%), Pacífico (8,2%) y Caribe (7,3%) presentan coberturas significativas de bosque natural representando el 24% restante (Tabla 2).

Tabla 2. Superficie de bosque natural para el año 2013, distribución por Áreas hidrográficas en el área continental del país.

Área Hidrográfica	Bosque (ha)	No Bosque (ha)	Sin Información (ha)	% del área hidrográfica con cobertura de bosque	% Bosque del total nacional*
Amazonas	29.666.412	4.165.133	367.873	86,7	50,2
Caribe	4.292.348	5.889.255	301.344	40,9	7,3
Magdalena - Cauca	4.994.056	21.223.060	702.772	18,6	8,4
Orinoco	15.335.967	19.062.856	326.170	44,2	25,9
Pacífico	4.845.881	2.092.922	793.438	62,7	8,2
Total nacional	59.134.663	52.433.226	2.491.598		

* Porcentaje del total del bosque a nivel nacional que se encuentra en cada área hidrográfica

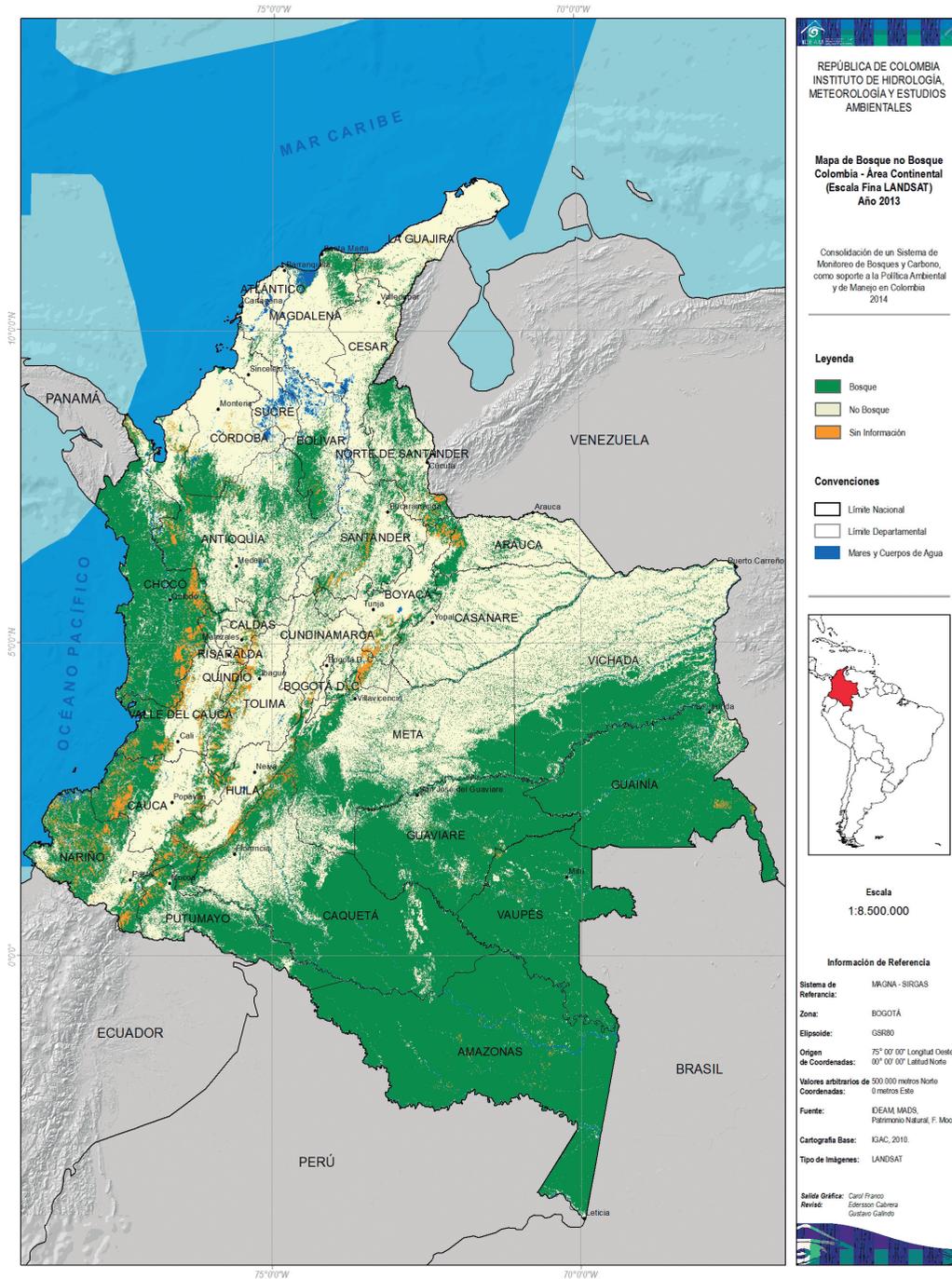


Figura 4. Mapa de Superficie de Bosque natural remanente para el año 2013.

A nivel departamental, se identifica que Amazonas, Guainía, Caquetá, Vaupés y Guaviare registran las mayores áreas de bosque remanente, albergando en conjunto el 57% del bosque identificado para el año 2013; además de su gran extensión estos departamentos conservan entre un 73 y un 97% de su territorio con cobertura forestal. Otros departamentos con extensiones considerables en bosque son Vichada, Chocó, Meta, Antioquía y Putumayo.

Cabe resaltar que, si bien por su tamaño algunos departamentos tenían una superficie menor de bosque, ésta ocupa una porción considerable de su territorio; es el caso de los departamentos de Nariño, Norte de Santander y Cauca en los cuales el bosque natural cubre respectivamente el 54,5%, 42,5% y 41,5% de su superficie (Tabla 3).

De otra parte, los departamentos que registraron la menor extensión de bosque fueron Atlántico, Sucre, el Distrito Capital y Quindío cada uno con menos del 0,5% del total nacional. En el caso de Quindío, debido a su tamaño se identifica que el área de bosque remanente es relativamente bajo en relación con el total nacional, sin embargo, se identifica que el 16% del departamento se encuentra cubierto por cobertura boscosa.

Tabla 3. Superficie de bosque natural para el año 2013, distribución por departamentos en el área continental del país.

Departamento	Bosque (ha)	No Bosque (ha)	Sin Información (ha)	% del Área Hidrográfica con cobertura de bosque	% Bosque del total nacional*
Amazonas	10.590.056	287.860	39.175	97,01	17,91
Antioquia	2.283.260	3.907.926	127.649	36,14	3,86
Arauca	421.291	1.933.366	31.936	17,65	0,71
Atlántico	4.890	326.211	0	1,47	0,01
Bogotá D.C	9.284	154.287	483	5,66	0,02
Bolívar	649.144	1.998.363	18.108	24,35	1,1
Boyacá	457.215	1.740.995	111.248	19,81	0,77
Caldas	142.471	568.199	31.151	19,22	0,24
Caquetá	6.587.456	2.322.058	99.762	73,12	11,14
Casanare	573.022	3.871.140	4.182	12,88	0,97
Cauca	1.268.968	1.492.785	296.997	41,49	2,15
Cesar	193.552	2.039.634	12.467	8,62	0,33
Chocó	3.796.030	687.406	315.062	79,12	6,42
Córdoba	439.610	2.018.271	45.604	17,56	0,74
Cundinamarca	285.152	1.860.354	90.631	12,76	0,48
Guainía	6.602.692	494.250	37.259	92,57	11,17
Guaviare	4.818.498	701.981	25.672	86,87	8,15
Huila	468.300	1.259.583	144.010	25,01	0,79
La Guajira	168.906	1.867.714	28.689	8,17	0,29

Continúa en la página siguiente →

→ Viene de la página anterior

Departamento	Bosque (ha)	No Bosque (ha)	Sin Información (ha)	% del Área Hidrográfica con cobertura de bosque	% Bosque del total nacional*
Magdalena	339.878	1.975.642	5.164	14,64	0,57
Meta	3.173.788	5.320.163	51.556	37,13	5,37
Nariño	1.708.874	1.090.358	338.141	54,47	2,89
Norte de Santander	931.269	1.204.392	58.230	42,45	1,57
Putumayo	1.821.439	720.154	48.486	70,34	3,08
Quindío	31.401	129.252	32.891	16,22	0,05
Risaralda	109.085	203.215	41.092	30,9	0,18
Santander	804.269	2.187.164	66.795	26,3	1,36
Sucre	28.649	1.030.486	12.022	2,67	0,05
Tolima	362.011	1.869.650	165.446	15,1	0,61
Valle del Cauca	779.619	1.120.118	194.732	37,23	1,32
Vaupés	5.150.204	181.449	16.877	96,29	8,71
Vichada	4.134.378	5.868.802	85	41,34	6,99
Total Nacional	59.134.663	52.433.226	2.491.598		

* Porcentaje del total del bosque a nivel nacional que se encuentra en cada departamento

Respecto a las jurisdicciones de Autoridades ambientales regionales, es de resaltar que un poco más del 80% de los ecosistemas de bosque del área continental del país se encuentra bajo la jurisdicción de tan sólo cinco de las 34 corporaciones autónomas, a saber Corpoamazonía, CDA, Corporinoquía, Codechocó y Cormacarena. También, se destacan Autoridades Ambientales como Corponariño, CRC, Corantioquia, Corponor y Corpourabá, cada una con más del 40% de su superficie cubierta por bosques naturales. En contraste, Corpomojana, CRA, Carsucre, SDP, Cardique, Corpoguajira, Corpocesar y CAR presentan los porcentajes más bajos, con menos del 10% del área de su jurisdicción con coberturas forestales naturales (Tabla 4).

Tabla 4. Superficie de bosque natural para el año 2013, distribución por jurisdicción de Autoridades Ambientales regionales en el área continental del país.

Autoridad Ambiental Regional	Bosque (ha)	No Bosque (ha)	Sin Información (ha)	% del Área Hidrográfica con cobertura de bosque	% Bosque del total nacional*
AMVA	21.989	93.134	451	19	0,04
CAM	468.363	1.258.832	144.141	25,02	0,79
CAR	172.774	1.505.710	26.693	10,14	0,29
CARDER	109.127	203.523	41.134	30,88	0,18
CARDIQUE	40.159	587.714	0	6,4	0,07
CARSUCRE	26.441	489.308	24	5,13	0,04
CAS	664.893	1.860.785	63.310	25,68	1,12

Continúa en la página siguiente →

→ Viene de la página anterior

Autoridad Ambiental Regional	Bosque (ha)	No Bosque (ha)	Sin Información (ha)	% del Área Hidrográfica con cobertura de bosque	% Bosque del total nacional*
CDA	16.573.517	1.374.968	79.812	91,94	28,03
CDMB	139.761	327.670	3.521	29,67	0,24
Codechocó	3.796.594	687.643	315.304	79,11	6,42
Corantioquia	1.139.356	2.322.710	25.437	32,68	1,93
Cormacarena	3.174.560	5.321.595	51.647	37,13	5,37
Cornare	274.465	536.674	2.499	33,74	0,46
Corpamag	340.093	1.977.965	5.184	14,64	0,58
Corpoamazonia	18.995.520	3.329.286	187.267	84,38	32,12
Corpoboyacá	246.718	1.319.520	40.226	15,36	0,42
Corpocaldas	142.471	568.003	31.151	19,23	0,24
Corpocesar	193.414	2.038.794	12.447	8,62	0,33
Corpochivor	50.904	214.866	43.600	16,49	0,09
Corpogujaira	168.830	1.867.586	28.688	8,17	0,29
Corpoguvio	69.592	236.927	59.603	19	0,12
Corpomojana	2.331	542.310	12.010	0,42	0
Corponariño	1.708.215	1.089.833	337.929	54,47	2,89
Corponor	931.351	1.204.518	58.251	42,45	1,57
Corporinoquia	5.331.284	11.999.813	67.905	30,65	9,02
Corpourabá	846.776	954.972	99.229	44,54	1,43
Cortolima	362.201	1.870.511	165.569	15,1	0,61
CRA	4.890	325.900	0	1,48	0,01
CRC	1.269.141	1.492.522	297.067	41,49	2,15
CRQ	31.368	129.370	32.779	16,21	0,05
CSB	609.415	1.409.372	18.123	29,91	1,03
CVC	779.312	1.120.025	194.524	37,22	1,32
CVS	439.603	2.017.651	45.591	17,57	0,74
SDP	9.235	153.213	479	5,66	0,02
Total nacional	59.134.663	52.433.223	2.491.595		

Finalmente para el año 2013, 10´700.141 hectáreas en bosque se encontraban dentro de las áreas protegidas del Sistema Nacional de Parques Nacionales Naturales. Esta superficie es equivalente al 18% del total del bosque natural remanente del área continental del país.

Las áreas protegidas con mayor extensión de superficie de bosque natural son el PNN Serranía de Chiribiquete, RNN Puinawi, PNN Yaigoje Apaporis, PNN Río Puré y RNN Nukak, todos ellos ubicados en la amazonia colombiana y con más del 95% de su extensión ocupada por este tipo de cobertura. Otras áreas protegidas con extensiones de bosque considerables son el PNN Cahuinari, PNN Sierra de La Macarena, PNN Paramillo, PNN La Paya y el PNN Amacayacu.

4.2 Cambio en la superficie Bosque Natural

En el monitoreo de deforestación anual 2012-2013 se logró monitorear el 97,3% del territorio continental colombiano, identificando la presencia o ausencia de cobertura de bosque, así como los eventos de deforestación y regeneración. El 2,7%² restante no pudo ser evaluado debido a la persistencia de nubes en todas las imágenes descargadas; estas áreas "Sin Información" se localizan principalmente en las regiones del Pacífico, Andes y Amazonia colombiana, especialmente en áreas de piedemonte con cobertura boscosa asociadas a las cordilleras occidental y oriental.

Durante el año 2013 se registró una deforestación de 120.934 hectáreas en el territorio continental colombiano, correspondientes a una tasa anual de cambio de -0,21%, frente a una regeneración de 214 hectáreas; en consecuencia, durante el periodo se produjo una pérdida neta de 120.721 hectáreas de bosque (Tabla 6).

Durante el año 2013, las mayores extensiones de área deforestada se localizaron en las regiones naturales con mayor cobertura de bosque remanente. Es así como en la región natural de la Amazonía, donde se concentra el 67,2% del bosque natural del país, se presentó el 56,8% de la deforestación nacional equivalente a 68.725 hectáreas. Asimismo, en la región natural de los Andes, que representa el 17,2% del bosque natural del país, aportó el 21,5% de la deforestación nacional con 26.014 hectáreas. Estos resultados contrastan con los análisis realizados para el periodo 2010-2012, en los que la deforestación de la región de la Amazonia fue de 47% del total nacional, indicando una mayor concentración de la deforestación en dicha región para 2012-2013.

Por otra parte, la menor superficie deforestada identificada en el año 2013 se presentó en la región del Pacífico colombiano, representando el 4,15% del total nacional; sin embargo, esta región es la que presenta la mayor área sin información en el país con el 16,1%, y a su vez fue la única que registró un aumento del área deforestada respecto al periodo 2010-2012. (Figura 5, Tabla 5).

También es importante destacar lo identificado para la región del Caribe colombiano, ya que con tan solo un 3% del bosque natural nacional, presentó en términos netos la tasa más alta de deforestación; es así como esta región durante el año de 2013 perdió el -0,7% del bosque reportado para el año 2012, especialmente en áreas de bosque seco tropical. De manera similar la región de la Orinoquía con un 3,7% del bosque del país tuvo una tasa de deforestación de -0,4%. Le siguen Andes con -0,36%, Amazonía con 0,17% y finalmente Pacífico con 0,1%.

2. Para el análisis de cambio, las áreas sin información hacen referencia a la superficie que no pudo ser observada en las imágenes de satélite de 2012, 2013 o en ambos años, y es el área que no se considera en el análisis de deforestación.

En términos netos, las regiones más afectadas por la pérdida del bosque son las regiones Caribe y Orinoquía, puesto que tienen una menor extensión de bosque y lo están perdiendo a un ritmo más acelerado. No obstante, Amazonía y Andes a pesar de tener extensiones mayores cobertura forestal, presentan una superficie deforestada que alcanza extensiones considerables.

Tabla 5. Superficies de las clases de cambio, porcentajes y tasas de deforestación anual del periodo 2012-2013 para las regiones naturales que se encuentran dentro del área continental del país

Región Natural	Bosque Estable (ha)	No bosque estable (ha)	Sin información (ha)	Regeneración (ha)	Deforestación (ha)	% Deforestación del total nacional*	Tasa anual de deforestación (%)**
Caribe	1.759.489	13.531.250	146.956	56	12.403	10,25	-0,70
Andina	9.942.827	17.094.557	2.133.120	58	26.014	21,51	-0,26
Amazónica	39.701.950	5.814.776	272.637	83	68.725	56,83	-0,17
Orinoquía	2.178.489	14.613.752	31.597	16	8.764	7,25	-0,40
Pacífico	5.232.562	989.591	494.788	0	5.028	4,16	-0,10
Total nacional	58.815.317	52.043.925	3.079.098	214	120.934		-0,21

* Porcentaje del total de la deforestación ocurrida a nivel nacional que se registró en cada región natural.

**Calculada según la propuesta de Puyravaud (2003).

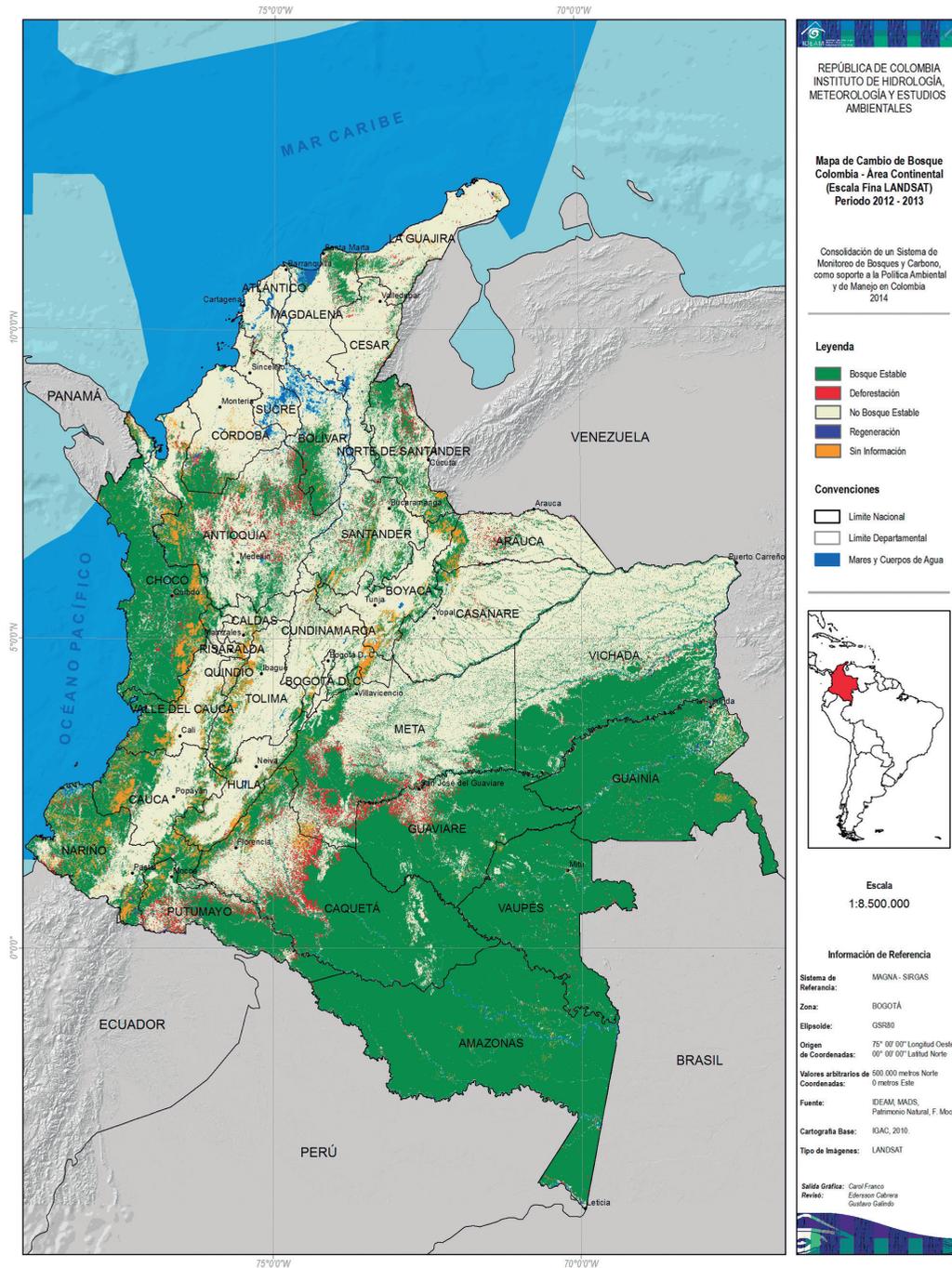


Figura 5. Mapa de cambio de la cobertura de bosque por regiones naturales para el área continental de Colombia, año 2013

A nivel de áreas hidrográficas, las mayores extensiones de áreas deforestadas se encontraron en las cuencas del Río Amazonas y Orinoco aportando respectivamente el 40,5% y 29,2% de la pérdida de bosque del país (Figura 5). El área hidrográfica de los ríos Magdalena y Cauca tuvo la mayor tasa anual de cambio de cobertura de bosque con un valor de -0,42%; le siguen en orden las áreas hidrográficas de Caribe (-0,26%), Orinoco (-0,23%), Amazonas (-0,17%) y finalmente Pacífico con -0,1% (Tabla 6, Figura 6). De esta manera, desde el punto de vista de áreas hidrográficas, la Cuenca del río Amazonas presenta las mayores extensiones de deforestación, pero son las áreas de Magdalena–Cauca, Caribe y Orinoco las que estarían perdiendo el bosque que aún tienen a un ritmo más acelerado.

Tabla 6. Superficie de cambio de bosque natural, porcentajes y tasas de deforestación 2013, distribución por áreas hidrográficas.

Área Hidrográfica	Bosque Estable (ha)	No Bosque estable (ha)	Sin información (ha)	Regeneración (ha)	Deforestación (ha)	% Deforestación del total nacional	Tasa anual de deforestación (%)**
Amazonas	29.592.224	4.009.343	548.897	67	48.887	40,42	-0,17
Caribe	4.207.166	5.801.325	463.328	22	11.107	9,18	-0,26
Magdalena - Cauca	4.945.836	21.172.487	780.819	51	20.695	17,11	-0,42
Orinoco	15.235.186	18.975.103	479.263	74	35.367	29,25	-0,23
Pacífico	4.834.905	2.085.668	806.790	0	4.878	4,03	-0,10
Total nacional	58.815.317	52.043.925	3.079.098	214	120.934		-0,21

* Porcentaje del total de la deforestación ocurrida a nivel nacional que se registró en cada área hidrográfica.

**Calculada según la propuesta de Puyravaud (2003).

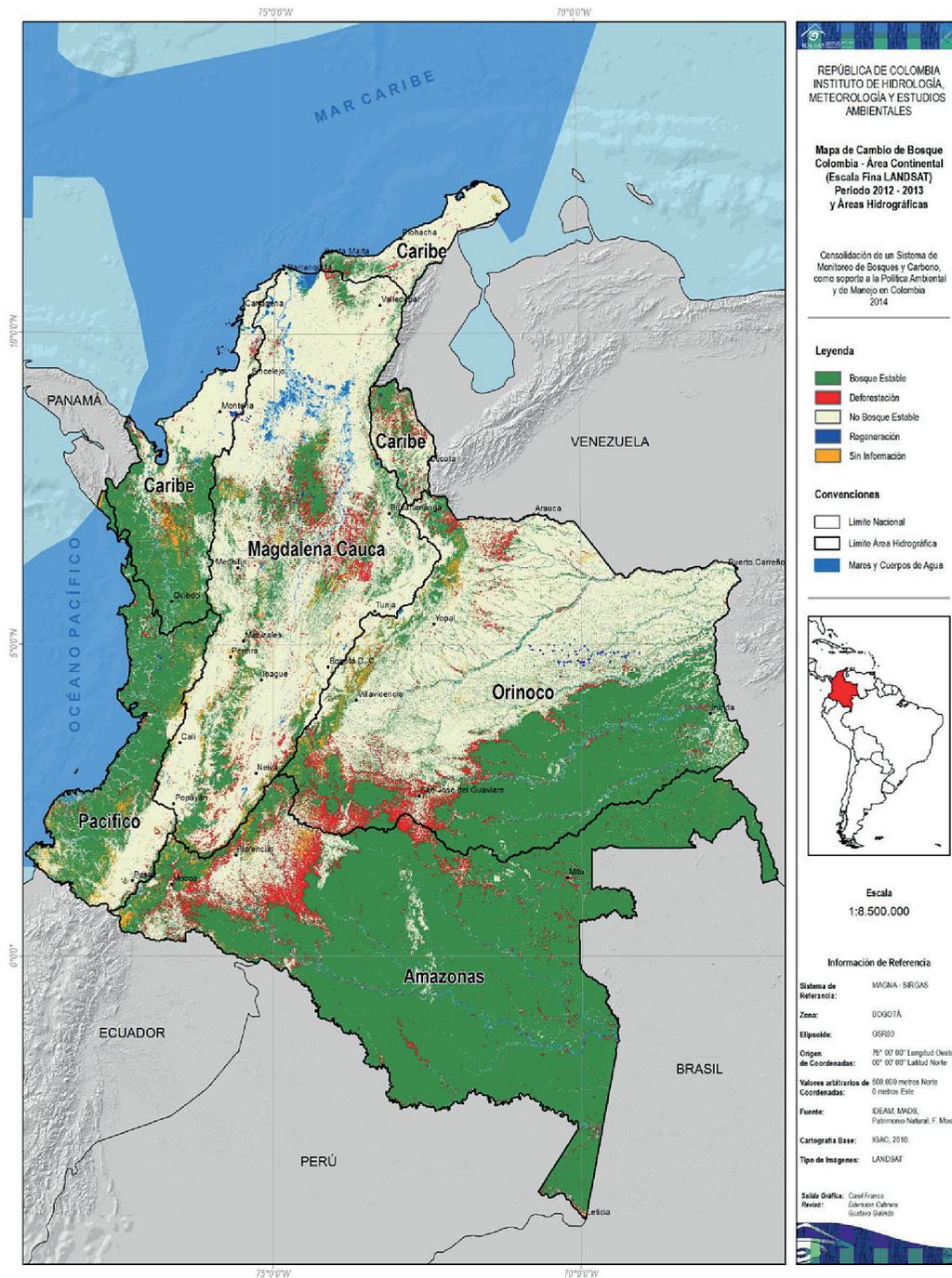


Figura 6. Mapa de cambio de la cobertura de bosque por áreas hidrográficas para la superficie continental de Colombia, periodo 2012-2013

Desde el punto de vista de la división político- administrativa, se identifica que el 52.7% de la pérdida de bosque natural del país en 2013 ocurrió en tres departamentos a saber: Caquetá, Meta y Antioquia. Se resalta el departamento de Caquetá como el de mayor pérdida de la cobertura boscosa, representando el 24.7% de la deforestación nacional. Asimismo, se identifica que los departamentos de Putumayo, Guaviare y Norte de Santander registraron una reducción considerable en la superficie de la cobertura forestal remanente (Figura 7, Tabla 7). En consecuencia, en estos seis departamentos constituyen los grandes núcleos de deforestación del país, contribuyendo con el 73,7% de la pérdida de ecosistemas de bosque del área continental de Colombia durante el monitoreo del año 2013.

Por otro lado, las mayores tasas anuales de deforestación se registraron en los departamentos de Sucre, Atlántico, La Guajira, Arauca, Meta, Antioquia, Putumayo, Cesar, Caquetá, y Norte de Santander. En consecuencia, es necesario prestar atención a los procesos de deforestación ocurridos en Antioquia, Caquetá, Meta Putumayo y Norte de Santander, departamentos que si bien presentan extensiones considerables de bosque, también muestran áreas y tasas de deforestación altas, indicando una pérdida acelerada de estos ecosistemas.

Un análisis multi-temporal respecto al periodo anterior de monitoreo (2010-2012), permite identificar que los departamentos con mayores reducciones en área deforestada fueron Guaviare y Santander (10.410 ha y 7.548 ha), respectivamente; mientras que Antioquia y Nariño presentaron los mayores aumentos en la superficie deforestada con 4.963 ha y 1.412 ha, respectivamente. Un análisis más detallado acerca de la reducción de la deforestación, identificó que en los departamentos de Caquetá y Meta, los municipios de Cartagena del Chairá, San Vicente del Caguán, Solano, La Macarena y La Uribe en el periodo 2010-2012 habían concentrado gran parte de la pérdida de bosque, para el año 2013 presentaron reducciones entre el 3 y el 30%.

Por el contrario, en el departamento de Antioquia los municipios de Segovia, Turbo, Ituango, Anorí, y El Bagre, que en el periodo 2010-2012 presentaron baja pérdida de cobertura boscosa, incrementaron la deforestación entre el 45 y el 75% en el monitoreo del año 2013.

Congruentemente con estos resultados, el 62.3% de la pérdida de bosque natural del país en el último año (2013) ocurrió en la jurisdicción de tan solo tres de las 34 Autoridades Ambientales Regionales, a saber: Corpoamazonia (Caquetá, Putumayo, Amazonas); Cormacarena (Meta) y CDA (Guania, Guaviare, Vaupés); estas tres junto con Corantioquia, Corporinoquia y Corponor abarcaron el 82,2% de la deforestación ocurrida a nivel nacional.

En cuanto a las tasas anuales de pérdida de bosque, los valores más altos se presentaron en las jurisdicciones de Corpomojana (-1,55%), CRA (-1,26%), Carsucre

(-1,24%), Corpoguajira (-0,94%) y Corantioquia con -0,88% (Tabla 8). Es necesario resaltar que además de las altas tasas, las tres primeras son las corporaciones con menor extensión de su superficie cubierta por bosque natural (Tabla 4).

Un análisis multi-temporal respecto al periodo anterior de monitoreo 2010-2012 (IDEAM, 2014a), revela que la jurisdicción de las autoridades ambientales regionales con mayor incremento en la superficie deforestada correspondió a Corantioquia y Corponariño (3.201 ha y 1.409 ha, respectivamente). Por el contrario, CDA y Corpoamazonia fueron las corporaciones que más disminuyeron la extensión del área deforestada (13.444 ha y 8.406 ha, respectivamente).

Tabla 7. Superficie de cambio de bosque natural, porcentajes y tasas de deforestación 2013, distribución por departamentos en el área continental del país.

Departamento	Bosque Estable (ha)	No bosque estable (ha)	Sin información (ha)	Regeneración (ha)	Deforestación (ha)	% Deforestación del total nacional	Tasa anual de deforestación (%)**
AMAZONAS	10.589.212	286.660	40.173	6	1.042	0,87	-0,01
ANTIOQUIA	2.227.237	3.856.754	221.108	0	13.736	11,39	-0,61
ARAUCA	389.404	1.919.239	74.821	10	3.119	2,58	-0,8
ATLÁNTICO	4.890	325.822	326	0	62	0,05	-1,26
BOGOTÁ, D.C	9.284	154.286	483	0	1	0	-0,01
BOLÍVAR	646.566	1.994.098	23.135	14	1.803	1,5	-0,28
BOYACÁ	431.206	1.728.715	149.168	6	362	0,3	-0,08
CALDAS	142.471	568.048	31.180	0	123	0,1	-0,09
CAQUETÁ	6.547.104	2.216.711	215.611	5	29.844	24,71	-0,45
CASANARE	548.997	3.856.843	40.694	3	1.807	1,49	-0,33
CAUCA	1.257.110	1.490.368	309.802	0	1.470	1,21	-0,12
CESAR	189.807	2.038.140	16.571	25	1.110	0,92	-0,58
CHOCÓ	3.762.350	648.504	384.771	0	2.874	2,37	-0,08
CÓRDOBA	431.752	2.013.169	56.815	5	1.743	1,44	-0,4
CUNDINAMARCA	274.262	1.850.070	111.473	0	332	0,28	-0,12
GUAINÍA	6.584.731	485.354	62.221	33	1.863	1,54	-0,03
GUAVIARE	4.818.449	690.807	26.326	0	10.569	8,74	-0,22
HUILA	458.347	1.258.043	154.567	0	936	0,77	-0,2
LA GUAJIRA	165.154	1.862.204	36.375	12	1.564	1,28	-0,94
MAGDALENA	339.758	1.973.252	6.611	3	1.060	0,88	-0,31
META	3.166.515	5.266.101	92.758	6	20.126	16,62	-0,63
NARIÑO	1.704.479	1.085.787	344.608	24	2.474	2,04	-0,15
NORTE DE SANTANDER	926.631	1.196.376	66.790	10	4.084	3,37	-0,44
PUTUMAYO	1.816.426	707.529	55.376	27	10.720	8,88	-0,59
QUINDÍO	31.401	129.209	32.891	0	43	0,04	-0,14

Continúa en la página siguiente →

→ Viene de la página anterior

Departamento	Bosque Estable (ha)	No bosque estable (ha)	Sin información (ha)	Regeneración (ha)	Deforestación (ha)	% Deforestación del total nacional	Tasa anual de deforestación (%)**
RISARALDA	109.085	203.127	41.092	0	88	0,07	-0,08
SANTANDER	796.429	2.178.341	80.497	6	2.955	2,43	-0,37
SUCRE	28.649	1.030.104	12.037	0	366	0,3	-1,27
TOLIMA	362.011	1.869.417	165.446	0	233	0,19	-0,06
VALLE DEL CAUCA	775.056	1.119.490	199.310	0	611	0,51	-0,08
VAUPÉS	5.149.152	180.157	18.067	0	1.154	0,95	-0,02
VICHADA	4.131.391	5.861.201	7.992	20	2.661	2,2	-0,06
Total Nacional	58.815.317	52.043.925	3.079.098	214	120.934	100	-0,21

* Porcentaje del total de la deforestación ocurrida a nivel nacional que se registró en cada departamento.

**Calculada según la propuesta de Puyravaud (2003).

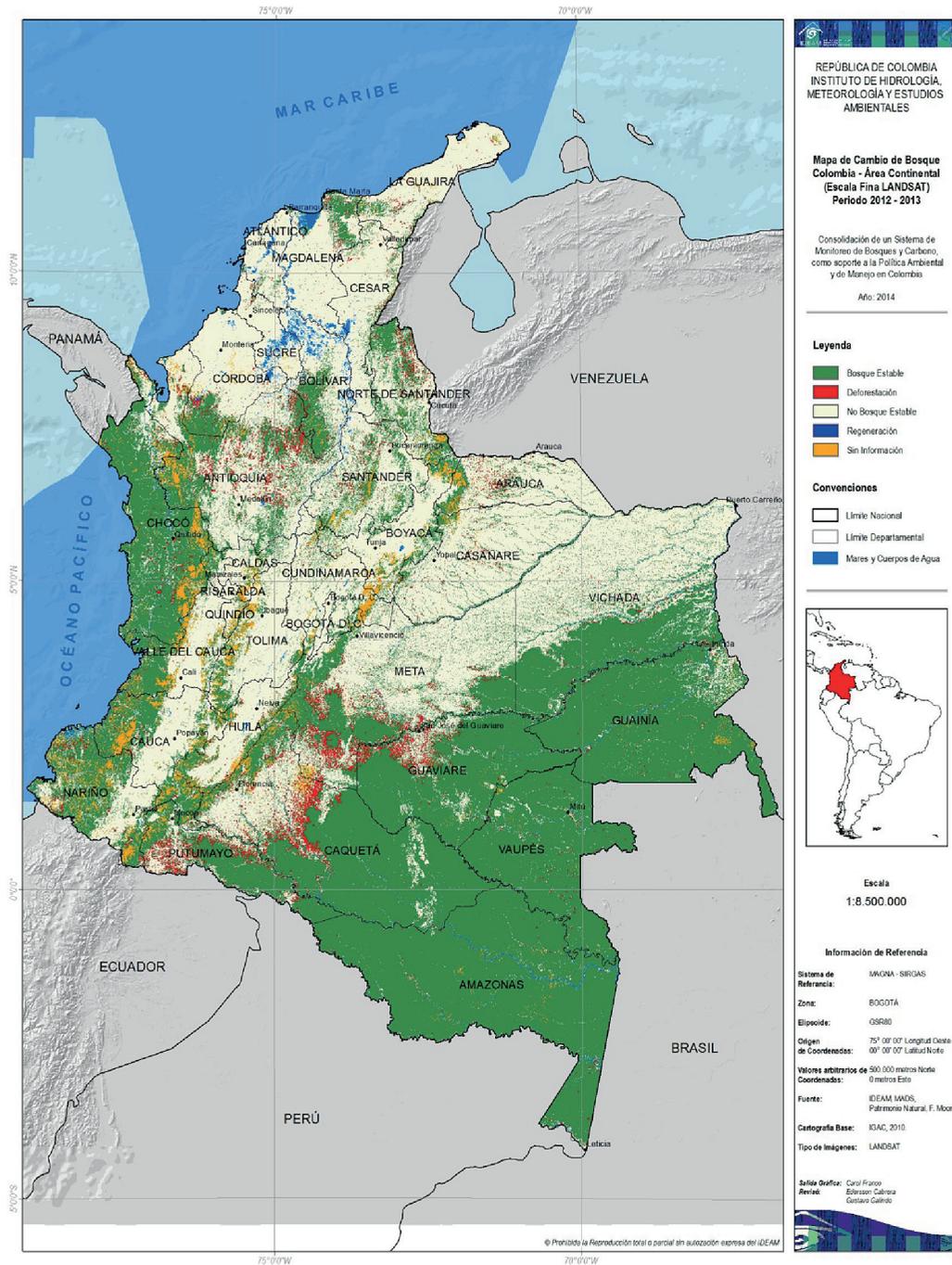


Figura 7 Mapa de cambio de la cobertura de bosque por departamentos para la superficie continental de Colombia, periodo 2012-2013.

Tabla 8. Superficie de cambio en bosque natural, porcentajes y tasas de deforestación 2013, distribución por Autoridades Ambientales Regionales.

CAR	Bosque Estable (ha)	No bosque estable (ha)	Sin información (ha)	Regeneración (ha)	Deforestación (ha)	% Deforestación del total nacional	Tasa anual de deforestación (%)**
AMVA	21.989	92.951	451	0	183	0,15	-0,83
CAM	458.386	1.257.292	154.723	0	935	0,77	-0,20
CAR	165.036	1.496.260	43.630	0	251	0,21	-0,15
CARDER	109.127	203.435	41.134	0	88	0,07	-0,08
CARDIQUE	40.159	587.398	0	0	316	0,26	-0,78
CARSUCRE	26.441	488.976	25	0	331	0,27	-1,24
CAS	657.098	1.852.492	76.955	6	2.437	2,01	-0,37
CDA	16.554.461	1.353.614	106.611	33	13.578	11,23	-0,08
CDMB	139.706	327.136	3.593	0	517	0,42	-0,37
Codechocó	3.762.914	648.740	385.013	0	2.874	2,37	-0,08
Corantioquia	1.129.909	2.307.362	40.287	0	9.945	8,25	-0,88
Cormacarena	3.167.282	5.267.481	92.899	6	20.134	16,63	-0,63
Cornare	274.461	535.396	2.530	0	1.251	1,04	-0,45
Corpamag	339.973	1.975.561	6.646	3	1.060	0,88	-0,31
Corpoamazonia	18.949.334	3.210.160	310.937	38	41.604	34,45	-0,22
Corpoboyacá	228.678	1.311.359	66.236	0	190	0,16	-0,08
Corpocaldas	142.471	567.852	31.179	0	123	0,10	-0,09
Corpocesar	189.669	2.037.300	16.551	25	1.110	0,92	-0,58
Corpochivor	46.567	212.061	50.612	0	130	0,11	-0,28
Corpogujaira	165.077	1.862.077	36.374	12	1.564	1,28	-0,94
Corpoguvio	66.104	235.451	64.493	0	75	0,06	-0,11
Corpomojana	2.331	542.259	12.025	0	36	0,03	-1,55
Corponariño	1.703.827	1.085.267	344.388	24	2.471	2,03	-0,14
Corponor	926.713	1.196.502	66.811	10	4.084	3,37	-0,44
Corporinoquia	5.269.092	11.963.115	159.119	39	7.637	6,31	-0,14
Corpourabá	800.205	920.612	177.806	0	2.355	1,95	-0,29
Cortolima	362.201	1.870.277	165.569	0	234	0,19	-0,06
CRA	4.890	325.526	312	0	62	0,05	-1,26
CRC	1.257.283	1.490.104	309.872	0	1.471	1,21	-0,12
CRQ	31.368	129.327	32.779	0	43	0,04	-0,14
CSB	606.837	1.405.421	23.150	14	1.489	1,24	-0,25
CVC	774.749	1.119.398	199.103	0	611	0,51	-0,08
CVS	431.745	2.012.550	56.803	5	1.743	1,44	-0,40
SDP	9.235	153.211	479	0	1	0,00	-0,01
Total nacional	58.815.317	52.043.925	3.079.098	214	120.934		-0,21

* Porcentaje del total de la deforestación ocurrida a nivel nacional que se registró en cada CAR

**Calculada según la propuesta de Puyravaud (2003)

Finalmente, es importante mencionar que la mayor parte de las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas -SINAP, no registraron áreas de deforestación o estas fueron bajas. Sin embargo, debido a la presencia de Áreas Protegidas (Parques Nacionales Naturales) en los grandes núcleos de deforestación, se registraron 7.689 hectáreas de pérdida del bosque natural, equivalentes a un 6,4% del total nacional. Esta deforestación tuvo lugar principalmente en las áreas protegidas PNN Tinigua, PNN Sierra de La Macarena, PNN Paramillo y PNN Cordillera de los Picachos, los cuales representan el 73,4% de la deforestación ocurrida dentro de las áreas protegidas del SINAP en la superficie continental del país.

Respecto a las tasas anuales de deforestación, las áreas protegidas PNN Tinigua, SFF Ciénaga Grande de Santa Marta, PNN Cordillera de Los Picachos y PNN Sierra de La Macarena presentaron tasas más altas de pérdida de bosque con valores de -1,57%, -0,35%, -0,29% y -0,27%, respectivamente.

4.3. Núcleos de deforestación -Hotspots-

En términos generales las áreas núcleo de deforestación donde se concentra la mayor pérdida de bosque durante el año 2013, se localizan en los departamentos de Caquetá - Putumayo, Meta-Guaviare y el eje San José del Guaviare-Calamar.

También se encontraron áreas activas de deforestación en el nordeste del departamento de Antioquia (bajo Cauca y Nechí, flancos de la Serranía de San Lucas), estribaciones de Paramillo, Catatumbo, el piedemonte orinocense en el departamento de Arauca y el Pacífico nariñense (Figura 8).

Así mismo, es importante mencionar que en este periodo se siguió presentando la pérdida de cobertura boscosa en las estribaciones Nororiental y Suroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta y el Bajo Baudó (departamento del Chocó).

De esta forma, los núcleos de deforestación que se han identificado históricamente desde 1990 (Cabrera, Vargas, *et al.*, 2011) continúan activos. Para el periodo 2012-2013 los principales sitios en los que se evidenció un incremento en la pérdida de bosque para estos núcleos son los siguientes:

- Bajo Cauca-Nechí y Serranía de San Lucas: Principalmente en el departamento de Antioquia (municipios de Segovia, Turbo, Ituango, Anorí, y El Bagre) y Sur de Bolívar (municipio de Montecristo).
- Estribaciones de Paramillo: Se localizan en el departamento de Córdoba (municipios de Tierra Alta, Montelíbano y Puerto Libertador) y Antioquia (municipios de Ituango, Apartadó y Turbo).
- Guaviare: Municipios de San José del Guaviare, El Retorno y Calamar.

- Sur del Pacífico: Principalmente en el departamento de Nariño (municipios de Tumaco, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola y El Charco) y Cauca (municipio de Guapí).
- Departamento del Putumayo: Principalmente en los municipios de Valle del Guamuez, San Miguel, Puerto Asís y Orito.
- Catatumbo: Municipio de Tibú (departamento de Norte de Santander).

En términos de conectividad, se detectó que a la fecha y como producto de la deforestación histórica, la masa boscosa occidental asociada a las sabanas del Yarí, se ha fragmentado notoriamente, aumentando la accesibilidad hacia el bosque natural mejor conservado que se encuentra en las inmediaciones del Parque Nacional Natural Chiribiquete (ampliado recientemente).

Igualmente, se ha consolidado una tendencia de pérdida en la continuidad de las masas boscosas de la Amazonia colombiana y los relictos de bosque natural de la cordillera oriental en el sector del Parque Nacional Natural Sierra de La Macarena y en el Parque Nacional Natural Tinigua.

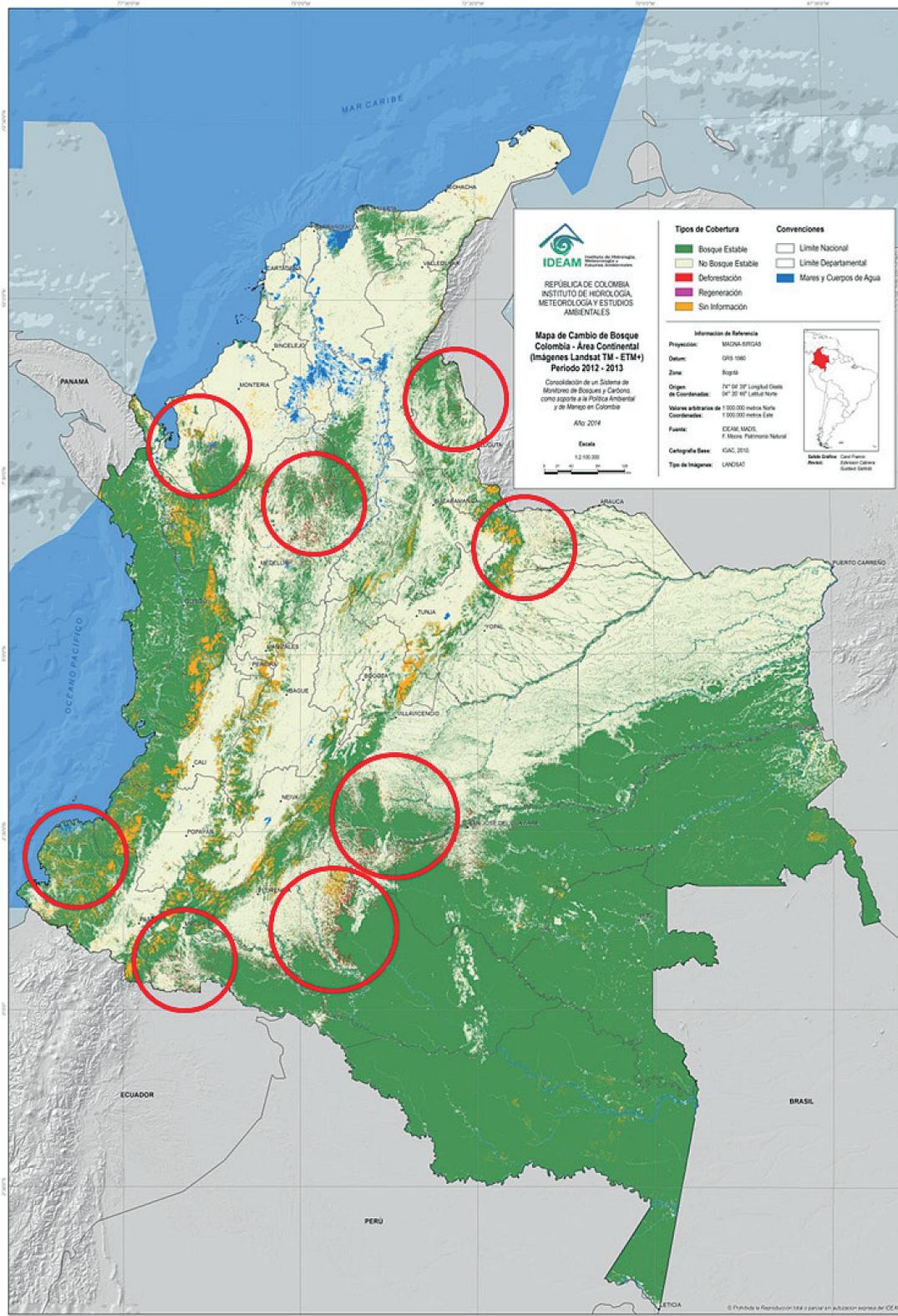


Figura 8. Mapa de núcleos de deforestación durante el año 2013 en Colombia.

4.4 Deforestación histórica 1990-2013

En los últimos 23 años el país ha perdido 6.095.312 hectáreas de bosque natural con un promedio anualizado de cerca de 265.000 ha por año. De acuerdo con los datos generados por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono, existe evidencia de que la tasa de deforestación anualizada ha decrecido, siendo el periodo más crítico 2000-2005 con una pérdida de -0,52%, frente al -0,21% registrado en 2012-2013³ (Tabla 9).

Sin embargo, a nivel regional se identifica un aumento en la extensión de los frentes de deforestación. De acuerdo con los datos históricos (Cabrera, Vargas, *et al.*, 2011, IDEAM 2014a) desde 1990 las áreas más extensas de pérdida de bosque están ocurriendo en la región natural de la Amazonia, concentrándose en los departamentos de Caquetá, Meta, Guaviare y Putumayo. Le siguen las regiones Andina y Caribe.

Dependiendo del periodo de análisis la menor deforestación ha ocurrido históricamente en las regiones de la Orinoquia y el Pacífico; cabe resaltar que en esta última, debido al porcentaje alto de nubosidad, es la región en la que menos superficie de bosque ha podido ser monitoreada en cada periodo, lo cual puede influir en la tendencia registrada.

Tabla 9. Promedio anual de la superficie deforestada y tasa anual de deforestación. Superficie continental nacional entre 1990-2013

Periodo (t1 - t2)	Superficie deforestada	Promedio anual de superficie deforestada (ha/año)	Proporción de la superficie total sin información* (%)	Tasa anual de deforestación** (%)
1990 -2000	2.654.410	265.441	3,2	-0,42
2000-2005	1.577.985	315.597	2,7	-0,52
2005-2010	1.409.844	281.969	2,8	-0,47
2010- 2012	332.139	166.070	2,1	-0,28
2012-2013	120.934	120.934	2,7	-0,21
Total 1990-2013	6.095.312	265.014		

*Calculada según la propuesta de Puyravaud (2003).

**Corresponde a la proporción de la superficie cartografiada sin información en cualquiera de los años t1 y t2 de cada periodo, área que no se considera en el análisis de deforestación.

Fuente: IDEAM, 2014b.

Desde el punto de vista de las Autoridades Ambientales, en los últimos 23 años, las mayores extensiones de pérdida de bosque han ocurrido principalmente en la jurisdicción de siete Autoridades Ambientales Regionales. En estas décadas, la jurisdicción con mayor área deforestada ha sido Corpoamazonia, seguida por Cormacarena y CDA. De igual forma, es de resaltar que la jurisdicción de Corponariño en el

3. Cabe aclarar que para este último periodo no se cuenta aún con la cuantificación de las áreas insulares, que sin embargo no afectan los consolidados nacionales.

periodo 2005-2010 presentó áreas considerables de deforestación, ha disminuido la superficie de pérdida de bosque natural paulatinamente. Por su parte las jurisdicciones de CAS y Codechocó, aunque presentaron un incremento notorio en la deforestación para en el periodo 2005 - 2010, registraron descensos en la superficie deforestada en los dos últimos reportes. Finalmente, se identifica que la jurisdicción de Corantioquia, ha aumentado la superficie deforestada alcanzando valores altos para el periodo 2012-2013 (Figura 9).

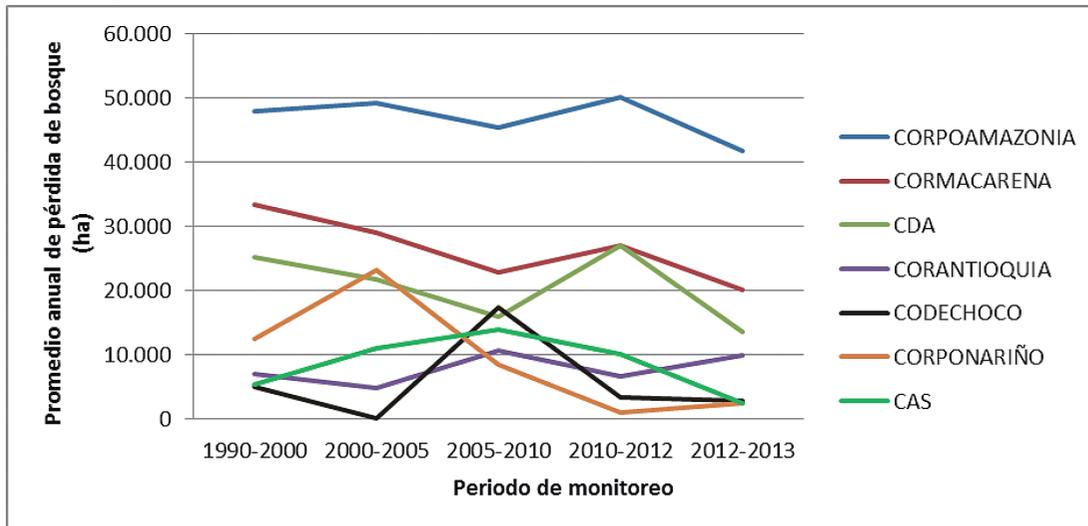


Figura 9. Promedio anual de pérdida de bosque (ha) de las siete corporaciones con mayor deforestación en el monitoreo 1990-2013

LITERATURA CITADA

Cabrera, E., Galindo, G., & Vargas, D. (2011). Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina (p. 44). Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales- IDEAM-.

Cabrera, E., Vargas, D., Galindo, G., Garcia, M., Ordoñez, M., Vergara, L. K., Pacheco, A.M., Rubiano, J.C. & Giraldo, P. (2011). Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional escalas gruesa y fina (p. 106). Bogotá C.D., Colombia

Coppin, P., & Bauer, M. E. (1996). Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Digital Imagery Digital Change Detection in Temperate Forests. *Remote Sensing Reviews*, 13, 207–234.

DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarso, D., Schalamadinger, B., & De Souza, C. (2006). Reducing Greenhouse Gas 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.

FAO. 1995. Forest Resources assessment 1990, Global Synthesis. FAO Forestry Paper 124. Rome.

Fung, T., & Ledrew, E. (1987). Application of Principal Components Analysis to Change Detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(12), 1649–1658.

GOF-C-GOLD. (2009). Reducing Greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: A sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting, GOF-C-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

GOF-C-GOLD. (2013). A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and

forestation. GOF-C-GOLD Report versión (p. 243). The Netherlands: Wageningen University.

Guild, L. S., Cohen, W. B., & Kauffman, J. B. (2004). Detection of deforestation and land conversion in Rondônia, Brazil using change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(4), 731–750.

Hansen, M. C., & Loveland, T. R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66–74.

Hayes, D. J., & Sader, S. A. (2001). Comparison of Change Detection Techniques for Monitoring Tropical Forest Clearing and Vegetation Regrowth in a Time Series. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(9), 1067–1075.

IDEAM, 2014a. Indicador: Cambio en la superficie cubierta por bosque natural (CSBN) según corporación autónoma regional o de desarrollo sostenible. 1990-2000; 2000-2005; 2005-2010 y 2010-2012. Versión 5. Bogotá, Colombia.

IDEAM, 2014b. Indicador: Tasa anual de deforestación. 1990:2000, 2000:2005, 2005:2010, 2010:2012. Versión 5. Bogotá, Colombia.

IDEAM, 2014c. Indicador: Proporción de la superficie cubierta por bosque natural. 1990, 2000, 2005, 2010, 2012. Versión 5. Bogotá, Colombia.

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.

Muchoney, D. M., & Haack, B. N. (1994). Change Detection for Monitoring Forest Defoliation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(10), 1243–1251.

Munyati, C. (2004). Use of Principal Component Analysis (PCA) of Remote Sensing Images in Wetland Change Detection on the Kafue Flats, Zambia. *Geocarto International*, 19(3), 11–22.

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

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.

Puyravaud, J.-P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1-3), 593–596.

Souza Moreira, C., & Siquieria Nascimento, J. (2013). *ImgTools: a software for optical remotely sensed data analysis* Carlos. In *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR* (pp. 1571–1578). Foz do Iguaçu - Brasil: INPE.

Théau, J. (2012). Change Detection. In W. Kresse & D. M. Danko (Eds.), *Springer Handbook of Geographic Information* (Vol. 1, pp. 75–94). Springer.

Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83–94.

GLOSARIO

Banda. Cada uno de los intervalos en los cuales se divide el espectro electromagnético en un archivo multi-espectral de una imagen de sensor remoto. Este concepto es aplicado generalmente a imágenes de tipo óptico.

Escena. Porción de las imágenes tomadas por el sensor delimitada por un área generalmente rectangular y fija definida por el distribuidor. Ya que los datos de sensores remotos se toman para grandes áreas o franjas alrededor de la tierra, cada sistema satelital define una grilla que subdivide la superficie terrestre en zonas rectangulares. Cada una de estos rectángulos corresponde a una escena y en muchos tipos de imagen tienen un código establecido que identificará a esa porción de la superficie terrestre. Las imágenes tomadas por el sensor son cortadas y distribuidas siguiendo los límites definidos por estas grillas.

Imagen de satélite. Representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen información reflejada para la superficie de la tierra que luego es enviada a la Tierra y que procesada convenientemente entrega valiosa información sobre las características de la zona que cubre.

Imagen multi-espectral. Se produce por la combinación de imágenes que registran diferentes longitudes de onda o bandas espectrales.

Nivel Digital – ND. Se trata del valor numérico discreto asignado por el sistema formador de imágenes a cada celda, en respuesta a la irradiancia recibida sobre el plano focal del sensor. Se le conoce así mismo como nivel de gris, luminancia, número digital, valor de pixel, etc. Existe una relación lineal entre el ND grabado y la radiancia correspondiente a cada celda de terreno.

Nivel de Reflectancia. Valor numérico que representa una medida de la energía radiante o flujo radiante que es reflejado por un material o una superficie como función de la longitud de onda de dicha energía o flujo.

Píxel (Picture Element). Unidad básica de información gráfica que se refiere a cada uno de los puntos indivisibles que conforman una imagen, es decir, la mínima área de captura en el formato Raster.

Resolución. Nivel de detalle con el que se es posible identificar los elementos sobre las imágenes y se relaciona con la unidad mínima de almacenamiento de datos o píxel.

Resolución espacial. Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre la imagen; suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la imagen. Se mide en unidades de longitud definida como el número de píxeles por unidad de medida (milímetros sobre la imagen o metros sobre el terreno) y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie.

Resolución espectral. Longitudes de onda en las cuales un sensor es capaz de adquirir información. La fotografía puede ofrecer películas pancromáticas, infrarrojo blanco negro, color natural o infrarrojo color.

Resolución radiométrica. Cantidad de energía que se puede medir en una escala radiométrica en el sensor. En el caso de los sistemas fotográficos, la resolución radiométrica del sensor se indica por el número de niveles de gris recogido por el mismo. Para evaluar la calidad radiométrica se evalúa un parámetro denominado "bit number".

Resolución temporal. Es una medida de la frecuencia con la que un satélite es capaz de obtener imágenes de una determinada área. También se denomina periodo de revisita. Es útil cuando se quieren realizar estudios multitemporales o evolutivos.

Serie de tiempo. Colección de observaciones ordenadas secuencialmente en el tiempo, usualmente medidas en distancias iguales y discretas.

Valores radiométricos. Radiación electromagnética reflejada por un elemento de superficie terrestre en un determinado rango del espectro, y se convierte en un valor numérico que depende de la resolución radiométrica.

