

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDEAM**



**DOCUMENTO
METODOLÓGICO**

**Operación Estadística
Monitoreo de la
Superficie de Bosque
Natural en Colombia**

BOGOTÁ, D.C. JUNIO DE 2019

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y CONVENCIONES

C: Carbono

Cm: centímetro

CMNUCC: Convención marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático

COP: Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CO₂: Dióxido de carbono

DNP: Departamento Nacional de Planeación

e.g: Significa, por ejemplo, del latín *exempli gratia*

et al.: significa “y colaboradores”

ENREDD: Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal

ET: Thematic Mapper, sensor a bordo del satélite Landsat 5

ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), sensor a bordo del satélite Landsat 7

EPSG: European Petroleum Survey Group, entidad que generó los códigos estándar internacionales de los Sistemas de referencia geográficos

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FRA: Evaluación Mundial de los Recursos Forestales (Forest Resources Assessment).

GEI: Gases de efecto invernadero

GOFC-GOLD: Observación Global de la cobertura del bosque y de las dinámicas de la cobertura de la tierra. (Observation for Forest Cover and Land Dynamics)

ha: Hectáreas

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IGAC: Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Kg: Kilogramo

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAGNA: Marco Geocéntrico Nacional de Referencia

MTon: Mega toneladas

MSS: Multi Spectral Scanner, sensor a bordo de los satélites Landsat 1 a 5

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OLI: Operational Land Imager (OLI), sensor a bordo del satélite Landsat 8

PMSB: Programa Nacional para el Monitoreo y Seguimiento de los bosques y áreas de aptitud forestal

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

REDD Reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques

SINA: Sistema Nacional Ambiental

SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas

SMBYC: Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono

T: Tonelada

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos (United State Geological Survey)

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
1. ANTECEDENTES	11
2. DISEÑO DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA.....	14
2.1 DISEÑO TEMÁTICO / METODOLÓGICO.....	14
2.1.1 <i>Necesidades de Información</i>	14
2.1.2 <i>Objetivos</i>	15
2.1.3 <i>Alcance</i>	16
2.1.4 <i>Marco de Referencia</i>	16
2.1.5 <i>Diseño de Indicadores</i>	27
2.1.6 <i>Plan de Resultados</i>	31
2.1.7 <i>Diseño del cuestionario</i>	36
2.1.8 <i>Normas, especificaciones o reglas de validación, consistencia e Imputación</i>	36
2.1.9 <i>Nomenclaturas y clasificaciones utilizadas</i>	41
2.2 DISEÑO ESTADÍSTICO	43
2.2.1 <i>Componentes básicos del diseño estadístico</i>	43
2.2.2 <i>Unidades estadísticas</i>	50
2.2.3 <i>Periodos de referencia y recolección</i>	50
2.2.4 <i>Diseño muestral</i>	50
2.2.5 <i>Ajustes de cobertura (o ajuste de cobertura por no respuesta)</i>	50
2.3 DISEÑO DE EJECUCIÓN.....	51
2.3.1 <i>Sistema de capacitación</i>	51
2.3.2 <i>Actividades preparatorias</i>	52
2.3.3 <i>Diseño de instrumentos</i>	52
2.3.4 <i>Recolección de datos</i>	53
2.4 DISEÑO DE SISTEMAS	59
2.4.1 <i>Software</i>	60
2.5 DISEÑO DE MÉTODOS Y MECANISMOS PARA CONTROL DE CALIDAD	60
2.5.1 <i>Indicadores de calidad</i>	63
2.6 DISEÑO DE PRUEBAS PILOTO	64
2.7 DISEÑO DEL ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
2.7.1 <i>Análisis estadístico</i>	66
2.7.2 <i>Análisis de contexto</i>	70
2.7.3 <i>Comités de expertos</i>	70
2.8 MEDIOS DE DIFUSIÓN.....	70
2.8.1 <i>Productos e instrumentos de difusión</i>	72
2.8.2 <i>Administración del repositorio de datos</i>	75
GLOSARIO	80
BIBLIOGRAFIA	83
ANEXO 1. DISEÑO DE RESULTADOS.....	89
.....	91
ANEXO 2. DISEÑO DE INSTRUMENTOS	99

ANEXO 3. MODELO ENTIDAD - RELACIÓN 106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alcances en el monitoreo del PMSB..	11
Figura 2. Captura de la información en las imágenes de satélite ópticas.....	18
Figura 3. Firmas o respuesta espectral para diferentes elementos de la superficie de la tierra.	19
Figura 4. Formatos de gráficas de los indicadores de la operación estadística.....	33
Figura 5. Ejemplo de validación e imputación para áreas menores a 1 ha.	38
Figura 6. Ejemplo de imputación para unidades de observación “sin información” mediante el análisis de consistencia de la serie histórica.....	40
Figura 7. Superficie de bosque natural para Colombia año 2016.....	44
Figura 8. Límite oficial de Colombia en formato vector y límite del marco censal en formato raster	45
Figura 9. Porcentaje de no respuesta en la variable “cobertura de bosque natural” para la serie histórica 1990 – 2016.....	46
Figura 10 . Porcentaje de no respuesta en la variable “cambio de la cobertura de bosque natural” para la serie histórica 1990 – 2016	47
Figura 11. Grilla de las imágenes LANDSAT	49
Figura 12. Mosaico de la mediana de la superficie de reflectancia 2016.....	57
Figura 13. Clasificación de las muestras utilizando AcATaMa..	69
Figura 14. Portal del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia.....	73
Figura 15. Generación de los reportes en la plataforma de SMBYC.....	74
Figura 16. Reportes que se pueden consultar en el SMBYC.	75
Figura 17. Vista parcial de las tablas que pertenecen al módulo de Administración de Inventarios Forestales.....	76
Figura 18. Vista parcial de las tablas que componen el módulo de Gestión de Proyectos REDD.	77
Figura 19. Tablas que componen el módulo de Reportes	78
Figura 20. Vista Parcial de la administración de los Usuarios.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Códigos almacenados en la capa geográfica “Cambio de la Cobertura de Bosque para identificar cada una de las clases o categorías correspondientes	35
Tabla 2. Códigos almacenados en la capa geográfica “Cobertura de Bosque – No bosque” para identificar cada una de las clases o categorías correspondientes	35
Tabla 3. Reglas de validación para el proceso de recolección de los datos y generación de los resultados	36
Tabla 4. Ejemplos de imputación en píxeles (unidades de observación) con valores de “sin información” en la variable “cobertura de bosque natural”, a partir de los datos de la serie de tiempo histórica.....	40
Tabla 5. Ejemplos de imputación en unidades de observación con valores inconsistentes en la serie de tiempo histórica para la variable “cambio de la cobertura de bosque natural”, de acuerdo con las reglas establecidas	41
Tabla 6 . Nomenclatura DIVIPOLA para los niveles de desagregación departamental	42
Tabla 7. Nomenclatura de las unidades de los niveles de desagregación de las corporaciones autónomas regionales.....	42
Tabla 8 . Actores, procesos y roles del esquema operativo para la recolección de datos, análisis y resultados del operación estadística del Monitoreo de la superficie de bosque natural	54
Tabla 9. Programas y desarrollos informáticos utilizados en las diferentes etapas de la operación estadística	60
Tabla 10. Ejemplo de una matriz de error utilizada en el control de calidad temático.....	62
Tabla 11. Cronograma de difusión de los resultados de la operación estadística.....	71

Control del Documento

Sumario de Cambios

Número de Versión	Fecha de la Versión	Naturaleza del Cambio	Revisión #	Fecha de Aprobación
1.0	27/07/2017	Creación del documento	1	29/09/2017
1.1	12/12/2018	Actualización y ajuste del documento	2	15/12/2018
1.2	26/06/2019	Ajuste fórmula Tasa anual de deforestación	3	26/06/2019

Revisores de Cambios en el Documento

Rol	Nombre	Firma
Supervisor	Edith González Afanador Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental	
Contratista	Edersson Cabrera Coordinador del SMByC	
Contratista	Gustavo Galindo Coordinador del Grupo PDI - SMByC	
Contratista	Lina Katherine Vergara Control de Calidad del Grupo PDI - SMByC	

PRESENTACIÓN

La Convención Marco de Naciones Unidas para Cambio Climático (CMNUCC) durante la conferencia de Balí en 2007 (COP13) adoptó la decisión de implementar estrategias de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación en los países en desarrollo (REDD), planteando mecanismos para promover el fortalecimiento de capacidades, asistencia técnica y transferencia de tecnologías que permitieran avanzar en la implementación de dicha estrategia en cada país.

En Cancún (COP 16) se definieron los lineamientos para el establecimiento de Sistemas de Monitoreo de bosques nacionales, o de manera interina como una combinación de sistemas sub-nacionales. Posteriormente, en la Conferencia de las Partes de Varsovia (COP 19) en 2013, se adopta el paquete de siete (7) decisiones denominado “Marco REDD+ de Varsovia” en el cual se consolidan los requisitos para acceder al pago por resultados bajo la CMNUCC, dentro de los cuales se reafirma que los países deben establecer Sistemas nacionales de Monitoreo Forestal.

En Colombia, de acuerdo con la Ley 99 de 199, corresponde al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) brindar el apoyo técnico-científico a los organismos que forman el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Dentro de su estructura la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental tiene a su cargo, entre otras funciones las de: “Desarrollar el levantamiento, manejo y centralización de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país”; “suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental que requiera el Ministerio de Ambiente, y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental, SINA”; “Efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación especialmente en lo referente a los aspectos bióticos, biogeopedológicos y ecosistémicos, en especial la relacionada con recursos forestales y conservación de suelos, necesarios para la toma de decisiones de las autoridades ambientales”; “Aportar la información del área cognoscitiva de su competencia para la prestación del Servicio de Información Ambiental, alertas, pronósticos y prevención de eventos geodinámicos e incendios de la cobertura vegetal, así como sistemas de alertas relacionados con las sostenibilidad de los ecosistemas que se establezcan en el futuro” y de “Hacer el seguimiento de la interacción de los procesos sociales, económicos y naturales en lo que respecta a la sostenibilidad de los ecosistemas nacionales” (Artículo 14° del Decreto 291 de 2004).

Para dar cumplimiento a tales propósitos, desde 2009 la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental del IDEAM, con el apoyo continuo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y con recursos financiero de diversos socios nacionales e internacionales, comenzó un proceso de fortalecimiento técnico y científico para generar las capacidades nacionales en el monitoreo de la cubierta forestal. Gracias a este trabajo, desde 2012 Colombia cuenta con un *Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono* (SMBByC) que consolida el conjunto de herramientas, procedimientos y profesionales especializados en generar información para conocer dónde, cuándo y porqué están sucediendo los cambios en la superficie y en los contenidos de carbono de los bosques del país.

Considerando que estos datos pueden ser relevantes y pertinentes para las instituciones públicas, privadas, la academia y, en general, para todos los ciudadanos interesados en la información de los bosques, presentamos el *Documento Metodológico de la Operación Estadística del Monitoreo de la*

Superficie de Bosque Natural, documento que sintetiza las bases del diseño, metodologías, lineamientos, generación de resultados y difusión del proceso.

INTRODUCCIÓN

Existe un consenso casi absoluto entre la comunidad científica de que el aumento gradual de la temperatura global en el último siglo, además de ser un fenómeno climático cíclico, es el resultado del incremento en la concentración de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, generados principalmente por las actividades antrópicas. En los últimos años, se viene incrementando el número de naciones, entre ellas Colombia, que buscan implementar políticas enfocadas en la reducción de emisiones de GEI, en especial, aquellas asociadas con la deforestación. Desde un punto de vista costo-efectivo, estas iniciativas parecen ser uno de los mejores mecanismos para alcanzar dicho objetivo, proporcionando de manera adicional co-beneficios relacionados con el mantenimiento de servicios ecosistémicos y la conservación de la biodiversidad (IPCC, 2007).

Por esta razón las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), acordaron desde el año 2007 iniciar las negociaciones sobre un acuerdo global que busca mitigar las emisiones potenciales de GEI generadas por los procesos de degradación y deforestación, con el fin de conservar y gestionar sosteniblemente los bosques y aumentar las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo, en lo que se conoce como la iniciativa REDD.

Durante las Conferencias de las Partes de 2009, 2010, 2013 (COP 15 y 16, 19 respectivamente), se adoptó la decisión de que los países en desarrollo deben establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que les permitan cuantificar las emisiones/absorciones de GEI y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de Carbono (D. 11/ CP19; D. 14/ CP19).

Además de cumplir con los requerimientos de la CMNUCC, esta decisión busca que los sistemas de monitoreo se conviertan en una herramienta de apoyo para la construcción de políticas ambientales y sectoriales, proporcionando información vital para la planificación y ordenación forestal a nivel nacional y subnacional y permitiendo generar información para acceder a pagos por resultados REDD+. Como principios básicos se establece que estos sistemas deben generar información transparente, robusta, confiable, y consistente con el Inventario Nacional de Emisiones (INGEI). De esta forma y siguiendo los lineamientos de la CMNUCC, se espera que cada país configure un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) consolidado y operativo que permita responder a las necesidades nacionales e internacionales relacionadas con el monitoreo de la dinámica de los bosques en términos de área y emisiones de CO₂e.

En este contexto, es necesario que el país cuente con información cartográfica detallada (temporal y espacialmente), metodologías estandarizadas para recopilar, procesar y generar los datos, así como una capacidad técnica y científica que responda a los requerimientos de las discusiones internacionales y que permita implementar un manejo adaptativo en todo este proceso. Además, este sistema debe ser pieza clave para el diseño e implementación de políticas públicas del sector forestal, permitiendo identificar la efectividad de las medidas de conservación y el impacto de las acciones de adaptación y mitigación de cambio Climático.

Para generar estimativos periódicos de la superficie del bosque y asegurar la completitud en los resultados, es fundamental el uso de imágenes y datos provenientes de sensores remotos (GOFC-GOLD, 2014), gracias a que brindan la posibilidad de obtener información de la superficie terrestre con un amplio cubrimiento espacial y en algunos casos temporal. Desde la aparición de las primeras

imágenes de sensores remotos hasta la fecha, se han incrementado notoriamente las aplicaciones para el seguimiento de las coberturas de la tierra (Achard & Hansen, 2012) y cada vez se cuenta con mayor número de programas satelitales y aerotransportados que toman y distribuyen los datos de imágenes, así como métodos de procesamiento, programas computacionales y recursos tecnológicos encaminados al monitoreo de las coberturas.

Siguiendo los lineamientos y directrices internacionales respecto al monitoreo forestal y apoyándose en el uso de las tecnologías satelitales, la operación estadística de *Monitoreo de la superficie de bosque* implementada a través del SMBYC, tiene por objeto generar y difundir la cartografía temática y los reportes estadísticos pertinentes sobre la extensión, distribución y los cambios en la cobertura boscosa conforme con una escala 1:100.000. Los resultados están dirigidos principalmente a los tomadores de decisión de los niveles nacional y regional encargados de formular, implementar, gestionar y evaluar la política ambiental de Colombia en temas relacionados con monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación.

Las tareas rutinarias que se realizan en el marco de la operación estadística incluyen: i) Cuantificación anual de la superficie de bosque natural; ii) Cuantificación anual del cambio de la superficie de bosque (tanto las áreas deforestadas como las áreas en regeneración para cuantificar el cambio neto), y iii) Cuantificación de la tasa oficial de deforestación.

Todo lo anterior, implica que, desde el punto de vista técnico, el SMBYC cuenta con características propias de sistemas auto-adaptativos, en los que tanto sus parámetros como su estructura se pueden adaptar al entorno en tiempo real, permitiéndole evolucionar (e.g. expandirse o reducirse) a partir de un aprendizaje continuo (i.e. retroalimentación). Es así como el SMBYC adopta como principio el desarrollo e implementación de metodologías replicables, en constante evolución y con los mejores estándares de calidad para generar los datos cartográficos y estadísticos sobre el monitoreo de la superficie de bosque del país.

En este contexto, el IDEAM presenta la metodología establecida para la puesta en marcha de la *Operación Estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural en Colombia*. El contenido se estructura de acuerdo con los " *Lineamientos para documentar la metodología de operaciones estadísticas, censos y encuestas por muestreo*" (DANE 2014) e incluye dos capítulos principales. El primer capítulo presenta los antecedentes, el desarrollo histórico y los requerimientos que llevaron a implementar la operación estadística en el marco del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono de IDEAM. El segundo capítulo aborda todos los aspectos relacionados con el diseño de la operación, incluyendo: El diseño temático con los objetivos, alcances, indicadores y resultados; el diseño estadístico, en el que se definen las unidades estadísticas y la recolección de los datos de acuerdo con el insumo básico de información (imágenes satelitales); el diseño de la ejecución, en donde se enmarcan las actividades de capacitación y de recolección de información ; el diseño de métodos para el control de calidad; los requerimientos de software; el diseño de las pruebas piloto y, finalmente, el análisis de resultados y los mecanismos para su difusión.

1. ANTECEDENTES

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), es la entidad encargada de *suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental que requieren el Ministerio de Ambiente y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA)* para la evaluación, monitoreo, seguimiento y modelamiento de los fenómenos naturales y las actividades humanas que afectan los ecosistemas forestales.

En el año 2006, con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), se da inicio al diseño e implementación del Programa Nacional para el Monitoreo y Seguimiento de los bosques y áreas de aptitud forestal (PMSB), con el objeto de obtener, conocer y estandarizar la información de los ecosistemas de bosque del país, a partir de la articulación y orientación de los diversos esfuerzos de las instituciones que conforman el SINA. En 2008 se consolida una primera versión funcional del PMSB, que plantea monitorear diferentes aspectos relacionados con el bosque, incluyendo entre otros *i)* las reservas, dinámica de biomasa y Carbono, emisiones de GEI, *ii)* el aprovechamiento, movilización y comercio de productos del bosque, *iii)* la deforestación y degradación y *iv)* los incendios forestales (Figura 1).

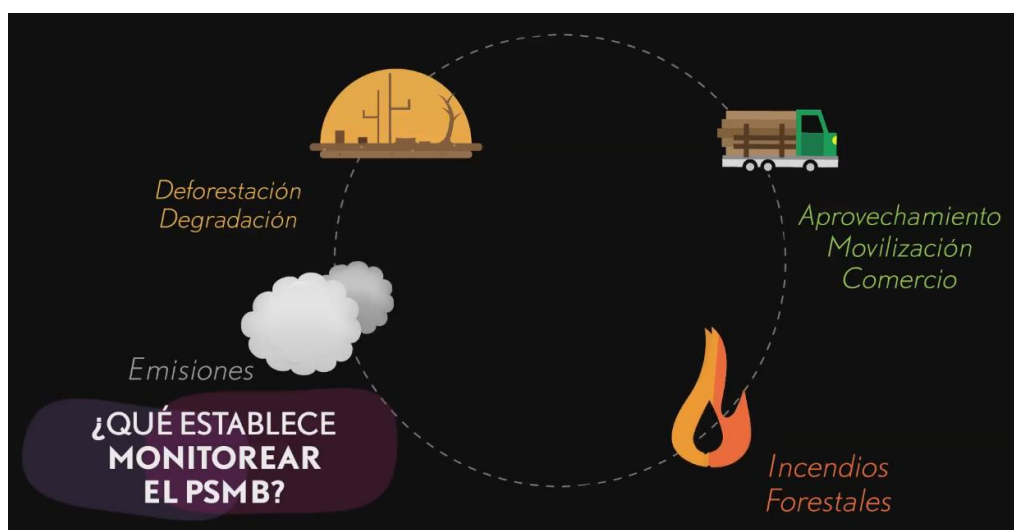


Figura 1. Alcances en el monitoreo del PMSB. Tomado de presentación evento de cierre Proyecto IDEAM-Moore Fase II, Octubre 2014.

Posteriormente, el IDEAM da inicio en 2009 a las actividades operativas del PMSB, a través de la puesta en marcha de sistemas de información para el monitoreo forestal. Como parte del proceso, con el acompañamiento del MADS y el apoyo financiero de la Fundación Gordon and Betty Moore se establece el proyecto “*Fortalecimiento de capacidades técnicas y científicas para implementar mecanismos y proyectos de reducción de emisiones procedentes de la deforestación y la degradación forestal (REDD) en Colombia*”, enfocado en el desarrollo y fomento de las capacidades nacionales para el monitoreo de la cubierta forestal de acuerdo con las decisiones de la CMNUCC desde la COP 13 en Bali.

Uno de los principales resultados de este proyecto, fue la generación de la base conceptual y metodológica que necesitaba Colombia para establecer un monitoreo periódico de la superficie de

bosque natural y en el cual el procesamiento digital de imágenes de satélite es uno de los pilares fundamentales de la propuesta. Durante el proyecto se evaluaron diferentes técnicas de procesamiento de datos de sensores remotos para la detección de los cambios de cobertura del bosque, generando como resultado el “Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia a Nivel Nacional - Escala gruesa y fina” (Cabrera, Galindo & Vargas, 2011) y la “Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación a nivel nacional” (Cabrera *et al.*, 2011). Este protocolo se desarrolló a partir de la revisión, prueba e implementación de nuevos enfoques metodológicos para el procesamiento de las imágenes de sensores remotos distintos al de la interpretación y digitalización manual, estableciendo un conjunto mínimo de procedimientos técnicos para generar información sobre la extensión, distribución y los cambios en la cobertura boscosa a nivel nacional, conforme a las escalas 1:500.000 y 1:100.000. Otro de los aportes importantes fue la estandarización de las definiciones, metodologías y fuentes de datos para generar resultados comparables, ya que las divergencias en estos aspectos suscitan controversias sobre la comparabilidad y robustez de las cifras de deforestación (Takaki-Takaki, 2005).

En 2010, durante las pruebas para el diseño de este protocolo y a partir del procesamiento digital de imágenes de baja resolución espacial del sensor MODIS, el IDEAM generó por primera vez información comparable sobre la distribución y los cambios en la cobertura boscosa a nivel nacional para los años 2000 y 2007, conforme a una escala geográfica 1:500.000 (Escala gruesa). Estos resultados permitieron identificar que la mayor deforestación en Colombia se localizaba en la Amazonía, la región andina y en los extremos sur y norte del Pacífico.

Posteriormente, en 2011 se generó la cartografía y las cifras de la superficie y cambios del bosque a nivel nacional en una escala geográfica más detallada (conforme 1:100.000) para los años 1990, 2000, 2005 y 2010, a partir del procesamiento de las imágenes de mediana resolución del satélite Landsat (tamaño de pixel aproximado de 30m).

Dando continuidad a este proceso, en 2012 la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental consolida y pone en operación el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), sistema que ha contado nuevamente con el apoyo financiero de la Fundación Gordon and Betty Moore, Ecopetrol S.A y la iniciativa GEF- “Corazón de la Amazonia. En esta fase, gracias a las lecciones aprendidas y a los avances técnicos y científicos en el procesamiento y análisis de imágenes de satélite, se desarrolla una segunda versión del Protocolo de procesamiento digital de imágenes (Galindo *et al.*, 2014).

Si bien en el primer protocolo se establecía una serie de requisitos mínimos para generar información sobre la extensión de la superficie boscosa en el país, en la segunda versión se acota en mayor detalle los métodos de pre-procesamiento, procesamiento y evaluación de la exactitud temática. La segunda versión adopta una metodología orientada a la detección directa de cambios, en la que se procesan y comparan simultáneamente las imágenes de satélite Landsat para las dos fechas de monitoreo, identificando los cambios en la repuesta espectral que puedan corresponder a una pérdida o ganancia de la cobertura del bosque; de esta forma se comparan directamente las imágenes y no los mapas de bosque como se planteó anteriormente en la primera versión. Por otro lado, la segunda versión propone hacer uso de todo el catálogo disponible de imágenes Landsat para cada periodo de análisis; consecuentemente, este incremento en el volumen de imágenes generó la necesidad de optimizar y

automatizar la mayor parte de los procesos mediante la construcción e implementación de algoritmos y desarrollos propios.

Así mismo, la segunda versión establece como parte del desarrollo metodológico la construcción y almacenamiento de series de tiempo (compuestos temporales de imágenes) que integran estadísticamente para cada pixel los datos de todas las imágenes disponibles para cada periodo de tiempo analizado. Estos compuestos constituyen actualmente los insumos básicos para la generación de mapas de Bosque- No bosque y de Cambio de la Superficie de Bosque.

Con este enfoque metodológico se disminuye la presencia de áreas sin información (nubes y sombras de nubes), permitiendo una mejor y más completa identificación de las coberturas de interés. Al mismo tiempo se mejora la eficacia y exactitud en la detección de los cambios en la cobertura del bosque y se reducen los tiempos de producción de los datos a unos cuantos meses.

La implementación de esta segunda versión del protocolo ha permitido cuantificar la deforestación histórica nacional para los periodos 2010-2012, 2012-2013 y 2013-2014, 2014- 2015, 2015-2016 y 2016 - 2017 logrando por primera vez que el país genere cifras anuales sobre las áreas de bosque y deforestación, a la vez que se reduce significativamente la presencia de áreas con coberturas de nubes y se consolida un conjunto de datos oficiales y continuos para el monitoreo de la superficie de bosque en Colombia. De esta forma, se ha dado cumplimiento al artículo 205 de la Ley 1450 de 2011 (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014), y más reciente al Decreto del MADS 1655 de 2017 en los que se establece la necesidad de contar con un monitoreo anual de las coberturas de bosque y de la deforestación.

Como resultado de la experiencia adquirida desde 2009 y los avances generados a la fecha, el SMBYC se inserta con las diferentes estrategias de gestión forestal que al respecto adelanta el país (*e.g.* PMSB, ENREDD+), así como con otras actividades misionales del IDEAM (*e.g.* inventario forestal nacional, monitoreo de coberturas de la Tierra, monitoreo de ecosistemas), dando soporte para la formulación, ejecución y evaluación de la política ambiental, la incorporación de criterios ambientales en los procesos de planificación sectoriales y territoriales; proporcionando una herramienta de gestión para las autoridades ambientales regionales, entes territoriales y las comunidades en Colombia.

2. DISEÑO DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA

El IDEAM presenta el documento metodológico de soporte de la operación estadística de Monitoreo de Bosques, que recopila el conjunto de pasos, procesos y actividades necesarios para generar y difundir la cartografía temática y los reportes estadísticos a nivel nacional sobre la extensión, distribución y cambios de la cobertura de bosque natural a partir de imágenes de sensores remotos.

Parte del proceso de recolección de los datos que hacen parte de la metodología de la operación estadística se encuentra descrito en el documento “Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2” (Galindo *et al.*, 2014) y es complementado en este documento. El protocolo inicia con una descripción sobre la recolección sistemática de datos de sensores remotos para la totalidad del territorio colombiano, describe los pasos para la producción de reportes donde se consolidan los resultados monitoreo de la superficie del bosque natural y el cambio en la superficie de bosque, y describe los procedimientos de análisis de estos resultados y de su difusión.

2.1 Diseño Temático / Metodológico

2.1.1 Necesidades de Información

Actualmente los bosques naturales ocupan más de la mitad del territorio continental e insular de Colombia, siendo reconocida su importancia en la biodiversidad, el soporte y mantenimiento de los procesos ecosistémicos y de los servicios ambientales de aprovisionamiento (alimentos, materias primas, etc.), de regulación hídrica, climática y los servicios culturales asociados a las comunidades (MADS, 2014; MADS, 2017). En el contexto del cambio climático, a nivel global y nacional se reconoce la importancia de tomar acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por deforestación y degradación de los bosques, compromiso que ha asumido el país frente a los acuerdos internacionales de la Convención marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC); y en donde el Monitoreo forestal se ha consolidado como una de las estrategias para implementar las acciones tendientes a disminuir las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI)

Atendiendo a estos requerimientos, es necesario que el país cuente con información oportuna, transparente, comparable, consistente y precisa que permita conocer dónde, cuándo y porqué están sucediendo los cambios en la superficie de los bosques y en sus contenidos de carbono. Los datos del monitoreo de los bosques naturales son requeridos como soporte para la formulación, ejecución y evaluación de políticas, para la incorporación de criterios ambientales en los procesos de planificación sectoriales y territoriales, y como herramienta de gestión para las autoridades ambientales regionales, entes territoriales y las comunidades en Colombia.

La información sobre la extensión y distribución de los bosques es requerida por diferentes entidades e iniciativas nacionales e internacionales incluidas:

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC. Las variables e indicadores relacionadas con el cambio en la superficie de los bosques son requeridos como dato de actividad para el Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero INGEI, uno de los

componentes de las *Comunicaciones nacionales de cambio climático* con las que el país reporta a la CMNUCC sus avances en la implementación de la Convención (IDEAM, 2015).

- La información de la deforestación constituye un insumo clave para la construcción de nivel de referencia, causas y agentes de la deforestación y degradación en el marco de las iniciativas de reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación REDD+ y pago por resultados.
- La iniciativa de los Objetivos de Desarrollo Sostenible estableció el indicador “*Superficie forestal como porcentaje de la superficie total*” (indicador 15.1.1), como una de las herramientas para medir el avance en la meta 15.1 de “asegurar la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y sus servicios, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas”. Este indicador también fue incluido como un indicador ODS de nivel nacional.
- En el marco del Plan binacional de Integración Fronterizo Ecuador – Colombia se estableció que, entre otros, el país debe reportar los indicadores ambientales de la *Proporción de superficie de bosque natural* y el *cambio en la superficie de bosque natural* de los departamentos que comparten frontera con Ecuador (Nariño y Putumayo).
- Aunque los datos para la construcción quinquenal de la Evaluación Mundial de los Recursos Forestales – FRA-FAO deben ser reportados de acuerdo a los requerimientos establecidos por la FAO, los datos de superficie de bosque natural y cambio en la superficie del bosque natural son entregados como insumos para la elaboración del reporte por parte de Colombia
- A nivel nacional, los datos de superficies, proporción de superficies, deforestación y cambios en la superficie del bosque natural son requerido en la construcción del Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.
- Adicionalmente, los datos de la superficie y proporción de superficie del bosque natural, deforestación, cambio de la superficie de bosque, y tasa de deforestación son solicitados al IDEAM por diferentes entidades del país, incluidos el Ministerio del medio ambiente y Desarrollo sostenible, los Institutos de investigación adscritos al MADS, las corporaciones autónomas regionales, la academia, entre otras.

2.1.2 Objetivos

a. Objetivo General

Generar y difundir la cartografía temática y los reportes estadísticos pertinentes sobre la extensión, distribución y los cambios en la cobertura boscosa a nivel nacional conforme con una escala 1:100.000.

b. Objetivos específicos

1. Cuantificar la superficie de bosque natural y la proporción de la superficie cubierta por bosque natural en Colombia.
2. Cuantificar la deforestación y el cambio en la superficie de bosque natural en Colombia
3. Calcular la tasa anual de deforestación en Colombia

2.1.3 Alcance

La implementación de la operación estadística de monitoreo de bosques tiene el siguiente alcance:

1. Cuantificación de la distribución y extensión de la superficie de Bosque para el área continental e insular de San Andrés y Providencia en Colombia, de acuerdo a la definición de bosque adoptada.
2. Cuantificación del cambio de la superficie de bosque para el área continental e insular de San Andrés y Providencia en Colombia, de acuerdo con la definición de deforestación y regeneración adoptada
3. La cuantificación de la distribución y extensión del bosque natural y del cambio de la superficie de bosque natural se realiza a través de un censo utilizando imágenes de satélite, por lo que únicamente es posible generar información desde 1990, debido a que antes de esta fecha no se contaba con suficientes imágenes disponibles para realizar un seguimiento adecuado y consistente.
4. En la operación estadística se monitorea únicamente la cobertura vegetal correspondiente al bosque natural, excluyendo las demás coberturas boscosas tales como las plantaciones forestales y sistemas agroforestales.
5. La metodología de la operación estadística está diseñada y evaluada para generar información a partir de capas geográficas con una escala conforme 1:100.000

2.1.4 Marco de Referencia

a. Marco Teórico

Monitoreo de los bosques

Los Bosques cumplen una función importante en la regulación del clima global gracias a que almacenan una gran cantidad de carbono, más que cualquier otro bioma terrestre (Houghton, 2005) acumulando aproximadamente 650 billones de toneladas (FAO, 2010). En las últimas décadas la deforestación y degradación de estos ecosistemas ha contribuido significativamente al aumento de emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero - GEI (IPCC, 2007); se calcula que en la década de 2000 a 2010, entre el 10 y 20% de las emisiones anuales mundiales de GEI de origen antropogénico pueden ser atribuibles a la deforestación y degradación de los Bosques tropicales (GOFC-GOLD, 2014; Houghton, 2012, Harris *et al.*, 2012; Pan *et al.*, 2011), particularmente en Colombia el 27% (69MTon de CO₂ equivalente) de las emisiones del país ocurridas en 2012 fueron causadas por la deforestación (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2017). Adicionalmente, la pérdida y degradación del Bosque conlleva a una reducción en los demás bienes y servicios ambientales que prestan, incluidos la regulación hídrica, la producción de materias primas y alimentos, el mantenimiento y conservación de la biodiversidad, el uso como hábitat y la relación cultural que muchas sociedades han establecido con los Bosques alrededor del mundo (Hassan *et al.*, 2005; Olander *et al.*, 2007; Potapov *et al.*, 2008).

En este contexto, la CMNUCC reconoce que la clave de cualquier medición y reporte de carbono forestal es contar con datos confiables de la superficie (área) y del cambio en la superficie de los

bosques e insta al establecimiento de sistemas de monitoreo forestal que permitan cuantificar estas variables, para de esta forma, obtener estimaciones de las reservas forestales de Carbono y las emisiones/absorciones de GEI (Parágrafo.1, Decisión. 1/ CP16).

Imágenes de satélite para el monitoreo de los bosques

En el monitoreo de las áreas de bosque y la deforestación resulta fundamental el uso de imágenes de satélite (GOFC-GOLD, 2014), gracias a que brindan la posibilidad de obtener información de la superficie terrestre con un amplio cubrimiento espacial y en algunos casos temporal.

Los satélites capturan información de la cantidad de energía reflejada por la superficie de la tierra en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético (bandas espectrales). La información de cada banda espectral es almacenada por separado en un archivo de formato *raster* en el que se representa la superficie terrestre mediante una rejilla de celdas o *pixeles* con coordenadas geográficas; el conjunto de estos archivos es lo que se conoce como *imagen de satélite*. En las imágenes cada pixel almacena el valor de la energía (*reflectancia*) registrada en la zona correspondiente de la superficie terrestre (Figura 2).

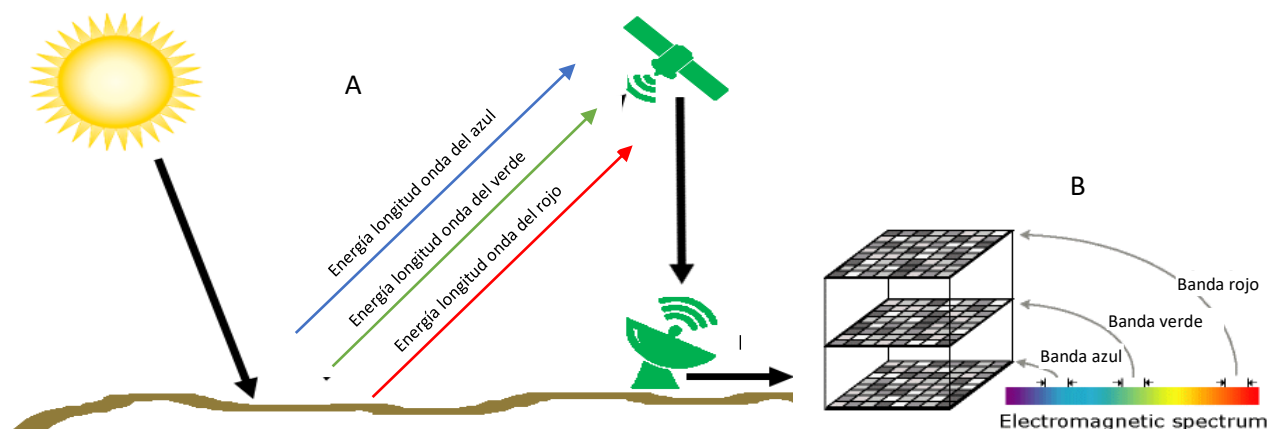


Figura 2. Captura de la información en las imágenes de satélite ópticas. A. El sensor remoto (satélite) captura la energía reflejada en la superficie terrestre en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético o banda espectral. B. Una vez se reciben y procesan los datos registrados por el satélite, la información de cada banda espectral es almacenada por separado en un archivo de formato raster en el que se representa la superficie terrestre mediante una rejilla de celdas o pixeles con coordenadas geográficas; el conjunto de estos archivos conforma una imagen de satélite. En las imágenes, cada pixel almacena el valor de la energía (reflectancia) registrada en la parte correspondiente de la superficie terrestre. (Tomado y adaptado de ESRI y Universidad de Toronto <http://grindgis.com/>)

Los objetos de la superficie de la tierra reflejan una cierta cantidad relativa de energía en cada longitud de onda de acuerdo a sus características físicas y químicas, de tal forma que existen patrones de respuestas o firmas espectrales que facilitan la identificación de las diferentes coberturas de la tierra, incluidos los bosques (Figura 3).

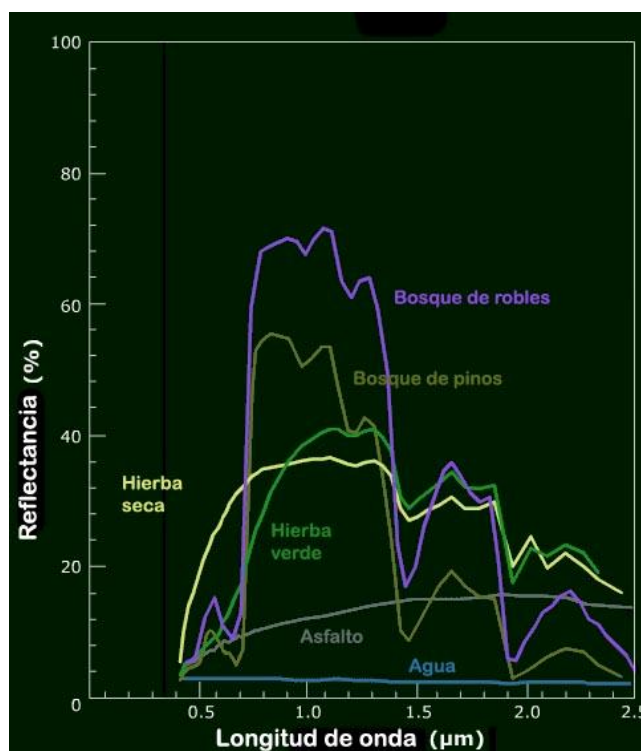


Figura 3. Firmas o respuesta espectrales para diferentes elementos de la superficie de la tierra. Cada elemento o cobertura de la tierra tiene un patrón diferencial de acuerdo con la cantidad de energía que refleja en cada longitud de onda o banda espectral, información que es almacenada en las imágenes de satélite. Los bosques presentan respuestas espectrales características que facilitan su identificación (Tomado de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/firma_es.htm)

Al comparar imágenes de satélite de diferentes fechas es posible detectar cambios en la respuesta espectral característica de los bosques que son originados por diferentes factores: i) cambios abruptos naturales o de origen antrópico que se pueden asociar a eventos de deforestación o regeneración ii) variaciones estacionales o cíclicas (e.g. época de lluvias y épocas secas) que afectan la fenología de las plantas y por ende la respuesta espectral en las imágenes y iii) falsas detecciones de cambio debidas a errores geométricos, condiciones atmosféricas y efectos de nubes (Verbesselt, *et al.*, 2010). Para la operación estadística del monitoreo de la superficie de bosque natural, se requiere identificar únicamente aquellos cambios que corresponden a la ocurrencia de deforestación o regeneración y, por lo tanto, es necesario eliminar los otros tipos de variaciones. Para evitar las falsas detecciones causadas por errores geométricos y condiciones atmosféricas es necesario aplicar correcciones geométricas y radiométricas a las imágenes, así como eliminar las áreas de nubes. Respecto a las variaciones estacionales, la construcción de series de tiempo con imágenes tomadas a lo largo de todo el año permite diferenciar los cambios fenológicos estacionales de los eventos de deforestación o regeneración.

Selección de las imágenes de satélite para monitoreo de bosque

Si bien el número de satélites de observación que registran imágenes de la superficie de la Tierra se ha incrementado en las últimas décadas, es necesario seleccionar aquellos que por sus características permitan implementar y mantener un sistema de monitoreo para bosques, para lo cual se requiere:

- Escala adecuada: dependiendo de la escala cartográfica se deberán seleccionar imágenes con la resolución espacial¹ adecuada correspondiente
- Periodicidad: Se requieren sistemas satelitales con periodos de revisita¹ cortos y de los que se pueda adquirir el mayor número de imágenes posibles a lo largo del año, de tal manera que sea posible construir series de tiempo que permitan diferenciar los cambios en la respuesta espectral debidos a los ciclos estacionales (fenológicos) de aquellos cambios que se asocian efectivamente a la deforestación o regeneración (Verbesselt *et al.*, 2012). Así mismo, debido a la presencia de nubes, las series de tiempo con una mayor cantidad de imágenes mejora el cubrimiento del territorio al reducir las áreas sin información por nubosidad.
- Continuidad: Se prefieren programas satelitales que garanticen en lo posible su continuidad a mediano y largo plazo, a través de la investigación y desarrollo para el mantenimiento de los satélites actuales y la puesta en órbita de nuevos satélites en el futuro.
- Disponibilidad de las imágenes: Un sistema de monitoreo del bosque requiere contar con imágenes de satélite de manera fácil, oportuna y al menor costo.

Teniendo en cuenta las características de resolución espectral, espacial y temporal¹ de las imágenes tomadas por los sensores del programa satelital LANDSAT, así como la disponibilidad de datos históricos, las facilidades para su adquisición y la política de toma continua y a largo plazo del programa satelital convierten a estas imágenes en el insumo principal y uno de los más adecuado actualmente para realizar el monitoreo de la superficie de bosque natural del país, de acuerdo a la escala geográfica definida.

El programa LANDSAT incluye una serie de satélites con sensores remotos a bordo que han adquirido imágenes de manera casi ininterrumpida desde 1972. Las plataformas satelitales que han tomado las imágenes de las últimas décadas son: LANDSAT 5 con los sensores Multispectral Scanner System – MSS y el Thematic Mapper – TM en funcionamiento desde 1984, en el caso de MSS fue apagado en 1995 y reactivado en diciembre de 2012, mientras que el sensor TM tomó datos hasta Noviembre de 2011. LANDSAT 7 con el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus – ETM+ fue lanzado en 1999, aunque presentó fallas desde Mayo de 2003, generando imágenes con bandas sin información (gaps o bandeamiento). El más reciente es el satélite LANDSAT 8 puesto en órbita en febrero de 2013 con el sensor Operational Land Imager - OLI, todos con un periodo de revisita de 16 días.

Metodologías para la detección de cambios del bosque a partir de imágenes de satélite

Un método de uso común en la detección de cambios de coberturas del bosque ocurridos entre distintas fechas a partir de imágenes de satélite es el de la comparación post-clasificación, en la cual las áreas de cambio se obtienen comparando los mapas de bosque obtenidos de manera independiente para cada fecha (Coppin & Bauer, 1996; Hansen & Loveland, 2012; Théau, 2012). Si bien en este método las diferencias radiométricas de las imágenes generan menos impacto, los errores en la detección pueden aumentar ostensiblemente, debido a que la exactitud del mapa de

¹ Ver glosario

cambio depende de la exactitud de cada mapa por separado, y es aproximadamente igual al producto de la exactitud de cada uno (Coppin & Bauer, 1996; Hansen & Loveland, 2012; Théau, 2012). Aplicar este enfoque para varios periodos de análisis sucesivos en un monitoreo a largo plazo, requiere de una altísima exactitud temática del mapa de cada fecha, puesto que los errores se acumulan paulatinamente a medida que se incluye el análisis de un nuevo periodo (Coppin & Bauer, 1996).

En contraste con el anterior, la detección directa de cambios identifica variaciones en los valores de la reflectancia de las imágenes de dos o más fechas mediante el uso de algoritmos que permiten comparar directamente la información espectral de las imágenes. Existen diversos métodos documentados para detectar cambios de manera directa: Cálculo de la diferencia o cociente entre valores de las imágenes de una o más bandas o de índices de vegetación derivados (Coppin & Bauer, 1996; Hayes & Sader, 2001; Muchoney & Haack, 1994; Théau, 2012); análisis de vectores de cambio; regresión de imágenes; transformaciones lineales tales como Tasseled cap y análisis de componentes principales con matrices de varianza/covarianza o co-relación (Coppin & Bauer, 1996; Fung & Ledrew, 1987; Hayes & Sader, 2001; Théau, 2012); entre otras. Teniendo en cuenta que los métodos directos se enfocan en detectar cambios en los valores de reflectancia, es necesario aplicar procesos de corrección atmosférica, calibración y ajuste radiométrico para minimizar las diferencias entre las imágenes debidas a condiciones atmosféricas, de brillo, iluminación, efectos de la topografía y distorsiones de otro tipo (Coppin & Bauer, 1996; Hansen & Loveland, 2012; Théau, 2012).

Para generar los datos de la operación estadística del Monitoreo de la superficie de bosque natural se emplean métodos de detección directa, particularmente análisis de componentes principales con matrices de correlación.

b. Marco conceptual

Los conceptos y definiciones adoptados para el monitoreo de la superficie de bosque natural son los siguientes:

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. 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/COP.7. Para efectos de la operación estadística, cualquier otro tipo de cobertura de la tierra diferente al bosque se define como “No bosque”.

Deforestación: 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).

Regeneración: se define como la recuperación de la cobertura de Bosque de zonas donde no estaba presente en fechas anteriores.

Bosque Estable: Superficie que permanece cubierta por bosque natural tanto al inicio como al final del periodo de análisis.

No Bosque Estable: Superficie que permanece con una cobertura distinta a la de bosque natural, tanto al inicio como al final del periodo de análisis.

Sin Información: Es la superficie que no fue posible interpretar en el momento de análisis debido a la presencia de nubes, sombras o bandeamientos en la imagen de satélite.

c. Marco legal

La ley 99 de 1993 creó el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con el objeto de dar apoyo técnico-científico a los organismos que forman el Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableciendo como responsabilidad del IDEAM la de efectuar el levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país.

En desarrollo de lo señalado en la Ley 99 de 1993, el Gobierno Nacional mediante el Decreto único reglamentario del sector ambiente 1076 de 2015 y recogiendo lo establecido en el Decreto 1277 de 1994 otorga al IDEAM entre otras, la competencia de dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental (SIA). Para el cumplimiento de este rol como partícipe del Sistema Nacional Ambiental (SINA), el IDEAM cuenta dentro de su estructura con la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental creada mediante el artículo 14° del Decreto 291 de 2004, a la cual le fueron asignadas, entre otras, las siguientes funciones: i) Desarrollar el levantamiento, manejo y centralización de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país; ii) suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental que requiera el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental, SINA; iii) obtener, almacenar, analizar, estudiar, investigar, procesar y divulgar la información básica sobre, aspectos biofísicos, geomorfología, biogeodinámica y morfodinámica de los suelos y las tierras, cobertura vegetal y ecosistemas para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación desde una visión ecosistémica; iv) efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación especialmente en lo referente a los aspectos bióticos, biogeopedológicos y ecosistémicos, en especial la relacionada con recursos forestales y conservación de suelos, necesarios para la toma de decisiones de las autoridades ambientales; v) aportar la información del área cognoscitiva de su competencia para la prestación del Servicio de Información Ambiental, alertas, pronósticos y prevención de eventos geodinámicas e incendios de la cobertura vegetal, así como sistemas de alertas relacionados con las sostenibilidad de los ecosistemas que se establezcan en el futuro y hacer el seguimiento de la interacción de los procesos sociales, económicos y naturales en lo que respecta a la sostenibilidad de los ecosistemas nacionales. En este contexto, la Subdirección de Ecosistemas del IDEAM con el apoyo continuo del MADS y el apoyo financiero de socios nacionales e internacionales, comenzó un proceso de fortalecimiento técnico y científico para generar capacidades nacionales en el monitoreo de la cubierta forestal, gracias a lo cual desde 2012 se cuenta con el Sistema de Monitoreo de bosque y Carbono (SMBYC).

Teniendo en cuenta que el bosque es considerado como una parte integrante y soporte de la diversidad biológica, étnica y de la oferta ambiental, siendo considerado como un recurso estratégico de la Nación, en 1996 el país adopta la Política Nacional de Bosques (Documento CONPES No. 2834 1996) que tiene por objetivo lograr un uso sostenible de los bosques con el fin de conservarlos, consolidar la incorporación del sector forestal en la economía nacional y mejorar la calidad de vida de la población. La política incluye dentro de sus estrategias la de reducir y controlar la deforestación y

como parte de las acciones propuestas, se confiere al IDEAM y a las Corporaciones Autónomas Regionales la responsabilidad de adelantar estudios y monitoreos periódicos de las áreas de bosques deforestados, estableciendo las relaciones entre las tasas de deforestación y sus causas.

Así mismo, El Plan Nacional de Desarrollo Forestal - PNDF (Documento CONPES 3125 de 2001) cuyo fin es el de mejorar la gestión de los recursos forestales, establece dentro de los programas estratégicos y acciones de implementación el desarrollo institucional e instrumentos de apoyo, estableció que el IDEAM deberá continuar implementando y divulgando el sistema de información forestal para la toma de decisiones, con el apoyo de los Ministerios de Medio Ambiente, Agricultura y Desarrollo Rural, Desarrollo Económico, Comercio Exterior y el DNP y para ello deberá tener en cuenta otras bases y/o fuentes nacionales e internacionales de información forestal.

Por otra parte, el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo territorial en la Resolución 643 de 2004 y posteriormente mediante la Resolución 667 de 2016 estableció los indicadores mínimos ambientales para el país, definidos como “el conjunto de variables que permiten registrar hechos y describir comportamientos para realizar el seguimiento al estado de los recursos naturales renovables y el medio ambiente”. En este decreto se establecen tres tipos de indicadores ambientales incluyendo “los indicadores de desarrollo sostenible” que buscan, entre otras cosas, “medir el impacto de la gestión ambiental en términos de consolidar las acciones orientadas a la conservación del patrimonio natural”, siendo uno de los indicadores allí establecidos el de la “Tasa de deforestación”. El decreto asigna al IDEAM junto con los institutos de investigación ambiental vinculados y en coordinación con el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, la responsabilidad de implementar estos indicadores a escala nacional.

Posteriormente, en 2014 se dio inicio a la formulación de La Política Nacional de Cambio Climático² en la que se recalca la necesidad de articular todos los esfuerzos que el país viene desarrollando desde el 2011 a través de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono –ECDBC-, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático –PNACC-, y la Estrategia Nacional REDD+, entre otras iniciativas, adicionando elementos novedosos para orientar estratégicamente todos los esfuerzos hacia el cumplimiento del compromiso adquirido en el marco del Acuerdo de París. La política plantea como una de sus líneas estratégicas, el manejo y conservación de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos asociados con miras a lograr un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima, línea de trabajo en la que se considera clave implementar acciones que permitan atender los cambios en el uso del suelo, así como reducir la deforestación y la degradación.

Considerando que el patrimonio nacional que representan los bosques continúa siendo afectado por la deforestación, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 en su Estrategia Integral de Desarrollo Verde estableció dentro de sus objetivos el de “Proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural y mejorar la calidad ambiental”, incluyendo la reducción de la deforestación, para lo cual reconoce la necesidad de consolidar el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Así mismo, la Ley 1753 de 2015 que reglamenta este Plan de Desarrollo establece que el MADS³ deberá elaborar una política nacional de lucha contra la deforestación que contenga un plan de acción dirigido a evitar la pérdida

² Consultado en <http://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico-2/politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc>

³ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

de bosques naturales para el año 2030. Dando respuesta a este requerimiento, en 2017 el gobierno nacional presenta su propuesta para una *Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques -EICDGB-* (MADS, 2017); estrategia que define como una de sus líneas de acción el Monitoreo y Control permanente del bosque, señalando que la información oficial generada por la institucionalidad ambiental, incluida la información histórica y alertas de deforestación del SMByC junto la información sectorial, son la base del diagnóstico para las políticas, acciones y medidas necesarias tendientes a frenar el proceso de pérdida de bosque y la integración de lo forestal en el desarrollo del país. Así mismo, mediante el Decreto 1257 de 2017 crea la “*Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales (CICOD)*” cuyo objeto es el de “orientar y coordinar las políticas públicas, planes, programas, actividades y los proyectos estratégicos que dentro del ámbito de sus competencias, deben llevar a cabo las entidades para el control a la deforestación y la gestión de bosques naturales en el país”. Como parte de la organización, el artículo 6 en su párrafo 3 establece que la Comisión “contará con el apoyo técnico especializado del Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en su calidad de administrador del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono” y que “el IDEAM tendrá la categoría de invitado permanente a las sesiones de la Comisión”, razón por la cual resulta importante generar información oportuna y de calidad sobre el monitoreo de la superficie boscosa, que permita la toma de decisiones y acciones en el marco de la Comisión.

Finalmente, el Decreto 1655 del 10 de octubre de 2017 del MADS establece legalmente la organización y funcionamiento del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia - SMByC, (junto con el Sistema Nacional de Información Forestal - SNIF y el Inventario Forestal Nacional – IFN) determinando el rol del IDEAM frente a su administración, y asignando la tarea de generar la información anual sobre la superficie y cambios del bosque natural, así como las alertas tempranas de deforestación trimestrales; igualmente el SMByC deberá proporcionar los lineamientos, herramientas, procedimientos, metodologías y estándares para producir dicha información y los mecanismos para disponer la información espacial de referencia, mapas, y otros insumos generados.

d. Referentes internacionales

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 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), acordaron desde el año 2007 iniciar las negociaciones sobre un acuerdo global que busca mitigar las emisiones potenciales de GEI generadas por los procesos de degradación y deforestación, con el fin de conservar y gestionar sosteniblemente los bosques y aumentar las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo, los que se conoce como la iniciativa REDD.

Durante las Conferencias de las Partes de 2009 (COP 15), 2010 (COP 16), y en la Cumbre de Varsovia de 2013 (COP 19), se estableció que los países en desarrollo deben establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que les permitan cuantificar las emisiones/absorciones de GEI y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de Carbono (D. 11/ CP19; D. 14/ CP19).

Por lo tanto, se busca que estos sistemas de monitoreo, al mismo tiempo que permiten cumplir con los requerimientos de la CMNUCC, se conviertan en una herramienta que apoye la toma de decisiones relacionadas con las políticas ambientales y sectoriales, proporcionando información vital para la

planificación y ordenación forestal a nivel nacional y subnacional, y permitiendo generar información para acceder a pagos por resultados REDD+. De la misma forma, estos sistemas deben ser desarrollados para generar información transparente, robusta, confiable, y consistente con el Inventario Nacional de Emisiones (INGEI).

Atendiendo estos lineamientos, en las últimas décadas se viene incrementando notoriamente el número de iniciativas para establecer sistemas de monitoreo de los bosques en diferentes niveles que van desde lo global hasta lo local.

A nivel mundial por ejemplo, la Universidad de Maryland estableció el grupo de investigación GLAD (*The Global Land Analysis and Discovery*) con el objeto de investigar continuamente sobre el desarrollo de métodos, y la determinación de causas e impactos del cambio en las coberturas del planeta, utilizando como información primaria los datos de imágenes de satélite. Este quipo en colaboración con el Instituto de Recursos Mundiales, genera datos globales sobre la extensión y el cambio forestal, como parte de la iniciativa Global Forest Watch. Esta iniciativa constituye una red de monitoreo global del bosque comprometida con la generación de datos de calidad, evaluados con indicadores de la exactitud, completitud, cobertura geográfica, innovación, entre otros. Parte de los productos y métodos propuestos por la Universidad de Maryland han sido tomados como base para establecer los lineamientos y protocolos para el seguimiento de la superficie y de los cambios de la superficie de la cobertura boscosa del SMBYC del IDEAM.

A nivel de Suramérica es de resaltar iniciativas como la de Brasil, uno de los países de la región que mayores aportes ha realizado al monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación. El Instituto de Investigación espacial de Brasil INPE (por su sigla en portugués)⁴ lidera el proyecto PRODES que es el responsable de realizar el monitoreo por satélites de la deforestación en la Amazonía Legal y produce, desde 1988, la información de las tasas anuales de deforestación, que son usadas por el gobierno brasileño para el establecimiento de políticas públicas. Las tasas anuales se estiman a partir de los incrementos de deforestación identificados en cada imagen de satélite que cubre la Amazonía Legal. La presentación preliminar de los datos se realiza en diciembre de cada año en forma de estimación y los datos consolidados se presentan en el primer semestre del año siguiente (INPE, 2017). Este sistema ha demostrado ser de gran importancia para acciones y planificación de políticas públicas de la Amazonia, mostrando que los sistemas de monitoreo de los bosques y la generación de cifras, variables e indicadores del bosque pueden tener incidencia en el manejo del recurso forestal.

Respecto a la generación de información estadística en el contexto global, la operación estadística tomó en cuenta las necesidades de información asociados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados en 2015 por los líderes mundiales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos, como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Para cada uno de los 17 objetivos allí planteados se establecen metas específicas que deben alcanzarse en los próximos años e indicadores puntuales para evaluar el avance y cumplimiento. El objetivo 15 establece como una de sus metas (15.1) la de asegurar la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y sus servicios, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas. Uno de los indicadores de esta

⁴ Información consultada en <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>

meta (1.5.1) es el de la Superficie *forestal como porcentaje de la superficie total*, requerimiento que se tuvo en cuenta para el diseño de los indicadores de la operación estadística.

Así mismo, la organización para la cooperación económica y desarrollo OCDE en su preocupación por un desarrollo sostenible desde el punto de vista ambiental, económico y social promueve el desarrollo de políticas enfocada en la prevención de la contaminación, y la integración de lo ambiental en las decisiones económicas y sectoriales, lo que incrementa el interés en evaluar como los gobiernos están implementando sus políticas y como se da cumplimiento a los objetivos internos y a los acuerdos internacionales. En este contexto la OCDE ha definido un grupo de indicadores ambientales clave, incluidos algunos que hacen referencia a la información forestal, como herramientas para la toma de decisiones y para evaluar el desempeño ambiental de los países (OCDE, 2001). En la actualidad, aunque Colombia se encuentra en proceso de adhesión a la OCDE, atiende los lineamientos planteados por esta organización y reporta entre otros, los datos de la superficie de bosque natural.

e. Referentes nacionales

Generación de información de la cobertura de bosque

Dando respuesta a la necesidad que tenía el país de unificar y armonizar las diferentes metodologías y leyendas de cobertura terrestre aplicadas históricamente, en 2004 se dio inicio al proceso de adopción y adaptación de la metodología europea CORINE Land Cover (CLC), incluyendo la estandarización de una única leyenda a nivel nacional. Como resultado de este esfuerzo inter-institucional se cuenta desde 2010 con una leyenda nacional jerárquica, dentro de la cual el nivel 3.1 reúne las coberturas de bosques naturales y plantados, el cual se subdivide a su vez en otras clases (IDEAM, 2010). El proceso para generar las coberturas de la Tierra con la metodología CLC se basa principalmente en la interpretación visual de imágenes de satélite y en la delimitación manual en pantalla, generando como resultado información cartográfica de escala de 1:100.000 y unidades mínima de mapeo de entre 6,25 y 25 ha; a la fecha se han elaborado los mapas de Cobertura de la Tierra para los períodos: 2000 – 2002, 2005 – 2009 y 2010 – 2012. En un primer enfoque, el uso de esta leyenda permite realizar análisis del proceso de deforestación, es decir el cambio de coberturas de bosque a otros tipos de coberturas de la Tierra; sin embargo, la metodología empleada requiere un tiempo considerable de producción, ya que visualmente se debe hacer la interpretación de más de 60 clases de cobertura definidas en la leyenda para todo el país, lo que no permite contar un monitoreo periódico, continuo y oportuno de la superficie de bosque. Por otra parte, el área mínima definida en la metodología excluye la detección de áreas de bosque y cambios de la cobertura de bosque que ocurren en áreas menores a las establecidas, y que, sin embargo, son detectables en las imágenes satelitales de resolución media.

Partiendo de esta experiencia desde 2012 el IDEAM estableció el Sistema de Monitoreo de bosque y Carbono (SMBYC) para Colombia enfocado en el seguimiento únicamente de la cobertura forestal mediante el uso de métodos semi-automatizados que reducen los tiempos de producción e incrementan la periodicidad de la información disponible para la toma de decisiones.

Así mismo, la operación estadística atiende las necesidades y recomendaciones puntuales respecto al monitoreo y generación de información de las superficies de bosque estipulados en la Política Nacional de Bosques (Documento CONPES No. 2834 1996). el Plan Nacional de Desarrollo Forestal - PNDF

(Documento CONPES 3125 de 2001) la Resolución 643 de 2004 y 667 de 2016 referente a los indicadores mínimos ambientales, la Política Nacional de Cambio Climático⁵ (2014), la Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques -EICDGB- (MADS, 2017), el Decreto 1257 de 2017 crea la "Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales (CICOD)" y el Decreto 1655 de 2017 que establece el funcionamiento del Sistema Nacional de Información Forestal – SNIF, El Inventario Forestal Nacional – IFN y el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono – SMBYC (Ver sección c. Marco Legal en este numeral)

Referentes para el Manejo de la información geográfica

Teniendo en cuenta que la información de la operación estadística se deriva de información espacial, en el proceso de recolección de los datos se han adoptado los lineamientos básicos relacionados con el manejo de la información geográfica establecidos para Colombia

Sistema de referencia: El Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-, entidad gubernamental encargada de los sistemas geodésicos nacionales, adoptó en 2004 a MAGNA-SIRGAS como el sistema de referencia oficial del país, con el objeto de que la información geográfica nacional, departamental, municipal y en general toda la información gráfica y numérica georreferenciada se desarrolle sobre una referencia única. Esta decisión facilita el intercambio de información georreferenciada a nivel nacional y mundial, con la ventaja adicional de que MAGNA-SIRGAS garantiza la compatibilidad de las coordenadas colombianas con los sistemas de geo-posicionamiento globales (IGAC, 2004). Atendiendo las directrices del IGAC y considerando que los sistemas de referencia y proyecciones cartográficas empleados para generar la información geográfica inciden en los cálculos de las áreas, el SMBYC estableció que los datos de superficies que hace parte de la operación estadística se generarán siempre a partir de la cartografía proyectada con el sistema nacional de referencia MAGNA – SIRGAS EPSG: 3116.

2.1.5 Diseño de Indicadores

Para generar información acerca del monitoreo del bosque, la operación estadística ha diseñado tres indicadores:

- Proporción de la superficie cubierta por bosque natural
- Cambio en la superficie cubierta por bosque natural
- Tasa anual de deforestación

Estos indicadores forman parte de la batería mínima de indicadores de ecosistemas del IDEAM y se encuentran tipificados dentro de la temática: recursos forestales. Se calculan para los tres niveles de desagregación geográficos (j) definidos en la operación estadística:

- Nacional: Superficie continental e insular (San Andrés y Providencia) del territorio colombiano.
- Departamentos: Departamentos de la división político-administrativa del territorio continental e insular.

⁵ Consultado en <http://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico-2/politica-nacional-de-cambio-climatico-pncc>

- CAR: Jurisdicción de cada una de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible.

El diseño de los indicadores incluye la construcción de una hoja metodológica de acuerdo al formato y contenidos establecido por el IDEAM (Anexo 1), en la que se documentan los siguientes aspectos:

- Identificación del indicador
- Descripción del indicador
- Responsable
- Ubicación principal para la consulta
- Fuente de las Variables
- Observaciones generales
- Bibliografía
- Información sobre la Hoja Metodológica

Acorde con el contenido especificado en la hoja metodológica, se describe a continuación cada uno de los indicadores que forman parte de la operación estadística.

a. Proporción de la superficie cubierta por bosque natural

Definición: Establece la razón entre el área cubierta por bosque natural respecto al área total de la unidad espacial de referencia j , en el tiempo t .

Objetivo: Cuantificar la proporción de la superficie que se encuentra cubierta por bosque natural, su distribución espacial y tendencias históricas.

Fórmula: El indicador se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$PSBN_{jt} = \left(\frac{SCBN_{jt}}{AUER_{jt}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$PSBN_{jt}$: Proporción de la superficie cubierta por bosque natural en la unidad espacial de referencia j , en el tiempo t .

$SCBN_{jt}$: Superficie en hectáreas (ha) cubierta por bosque natural en la unidad espacial de referencia j , en el tiempo t .

$AUER_{jt}$: Superficie en hectáreas (ha) de la unidad espacial de referencia j , en el tiempo t .⁶

Metodología de obtención de datos y cálculo del indicador: Los datos para el cálculo del indicador se obtienen del Mapa de Cobertura de Bosque – No bosque para Colombia en formato *raster*, con proyección MAGNA SIRGAS EPSG:3116. (conforme a una escala 1:100.000) y tamaño de pixel de 30.26 * 30.72, el cual es generado mediante el procesamiento de imágenes de sensores remotos (Ver

⁶ La superficie de la unidad espacial de referencia ($AUER_{jt}$) a nivel nacional hace referencia a las superficie continental e insular de Colombia definida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2008) en 114.174.800 ha.

sección 2.3.4), identificando las unidades de observación (píxeles) que corresponden a las clases de *Bosque*, *No bosque* y *Sin Información* en el año t .

La *superficie cubierta por bosque natural en la unidad espacial de referencia j , en el tiempo t* ($SCBN_{jt}$) se calcula con la siguiente fórmula:

$$SCBN_{jt} = nBN_{jt} * A \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde,

nBN_{jt} : Total de píxeles (unidades de observación) clasificadas como bosque natural dentro de la unidad espacial de referencia j en el tiempo t

A : Área en hectáreas de cada pixel (unidades de observación)

Interpretación: El indicador muestra el porcentaje de la superficie del país, departamento o corporación autónoma regional que presenta cobertura de bosque natural en el tiempo (t), y que fue observado en las imágenes de satélite.

La comparación del indicador entre diferentes periodos (t) deber realizarse con precaución, puesto que, además de los cambios en la cobertura de bosque, el valor del indicador en cada periodo se encuentra afectado por las áreas sin información del mapa debidas a la nubosidad y bandeamiento en las imágenes de satélite. Para el análisis de la serie temporal se recomienda tener en cuenta los datos de áreas sin información incluidos en la tabla del indicador.

b. Cambio en la superficie cubierta por bosque natural

Definición: Es el promedio anual de la diferencia entre la superficie de bosque regenerado (ganancia) y la superficie de bosque deforestado (pérdida) en la unidad espacial de referencia j , entre los años t_1 y t_2 .

Objetivo: identificar la extensión del cambio neto de la superficie cubierta por bosque natural a nivel nacional, departamental y/o de corporaciones autónomas regionales.

Fórmula: El indicador se calcula mediante la siguiente fórmula

$$CSBN_{j(t_1:t_2)} = \frac{SR_{j(t_1:t_2)} - SD_{j(t_1:t_2)}}{t_2 - t_1} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

$CSBN_{j(t_1:t_2)}$: Cambio de la superficie cubierta por bosque natural en la unidad espacial de referencia j , ocurrido entre los años t_1 y t_2 del periodo de análisis, expresado en hectáreas (ha).

$SR_{j(t_1:t_2)}$: Superficie regenerada en la unidad espacial de referencia j entre los años t_1 y t_2 del periodo de análisis, expresada en hectáreas (ha).

$SD_{j(t_1:t_2)}$: Superficie deforestada en la unidad espacial de referencia j entre los años t_1 y t_2 del periodo de análisis, expresada en hectáreas (ha).

t_1 y t_2 : Años inicial (t_1) y final (t_2) del periodo de análisis ($t_1:t_2$).

Metodología de obtención de datos y cálculo del indicador: Los datos para el cálculo del indicador se obtienen del Mapa de Cambio de Bosque para Colombia en formato raster, con proyección MAGNA SIRGAS EPSG:3116. (conforme a una escala 1:100.000), el cual es generado mediante el

procesamiento de imágenes de sensores remotos (ver sección 2.3.4), asignando a las unidades de observación (píxeles) las clases de: *Bosque Estable*, *Deforestación*, *Regeneración*, *No Bosque Estable* y *Sin Información*.

La Superficie de bosque regenerado en la unidad espacial de referencia j entre los años $t1$ y $t2$ ($SR_{j(t1:t2)}$) y la Superficie deforestada en la unidad espacial de referencia j entre los años $t1$ y $t2$ ($SD_{j(t1:t2)}$) se calculan mediante las siguientes fórmulas:

$$SR_{j(t1:t2)} = nR_{j(t1:t2)} * A \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$SD_{j(t1:t2)} = nD_{j(t1:t2)} * A \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde,

$nR_{j(t1:t2)}$: Total de píxeles (unidades de observación) clasificados como “Regeneración” dentro de la unidad espacial de referencia j para el periodo $t1:t2$

$nD_{j(t1:t2)}$: Total de píxeles (unidades de observación) clasificados como “Deforestación” dentro de la unidad espacial de referencia j para el periodo $t1:t2$.

A : Área en hectáreas de cada pixel (unidades de observación)

Interpretación: El indicador toma valores negativos, positivos o cero. Valores negativos del indicador señalan pérdidas netas de superficie de bosque natural; el valor nulo o igual a cero significa que la superficie cubierta por bosque natural se mantiene estable, mientras que los valores positivos indican ganancias netas de superficie de bosque natural. Se recomienda tener en cuenta la superficie sin información para el análisis de los datos.

c. Tasa anual de deforestación

Definición: La Tasa anual de deforestación, es la variación de la superficie cubierta por bosque natural, en una determinada unidad espacial de referencia j , entre el año inicial $t1$ y el año final $t2$.

Objetivo: Identificar la velocidad de la pérdida o deforestación del bosque natural.

Fórmula: La fórmula empleada para el cálculo del indicador es la propuesta por Puyravaud (2003):

$$TD_{j(t1:t2)} = \left(\left(\frac{1}{t2-t1} \right) * \ln \left(\frac{SCBE_{j(t1:t2)}}{(SCBE_{j(t1:t2)} + SD_{j(t1:t2)})} \right) \right) \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Dónde,

$TD_{j(t1:t2)}$: Tasa anual de deforestación de la unidad espacial de referencia j , entre los años $t1$ y $t2$.

$SCBE_{j(t1:t2)}$: Superficie de bosque estable en la unidad espacial de referencia j entre el año $t1$ y $t2$, expresada en hectáreas (ha)⁷.

⁷ Superficie de una unidad espacial de referencia j que permanece cubierta por bosque natural tanto al inicio como al final del periodo de análisis

$SD_{j,(t1:t2)}$: Superficie deforestada en la unidad espacial de referencia j entre los años $t1$ y $t2$, expresada en hectáreas (ha).

t_1 y t_2 : Años inicial ($t1$) y final ($t2$) del periodo de análisis ($t1:t2$).

Metodología de obtención de datos y cálculo del indicador:

Los datos para el cálculo del indicador se obtienen del Mapa de Cambio de Bosque para Colombia en formato ráster, con proyección MAGNA SIRGAS EPSG: 3116. (Conforme a una escala 1:100.000), el cual es generado mediante el procesamiento de imágenes de sensores remotos (ver sección 2.3.4), asignando a las unidades de observación (píxeles) las clases de: *Bosque Estable*, *Deforestación*, *Regeneración*, *No Bosque Estable* y *Sin Información*.

La Superficie deforestada en la unidad espacial de referencia j entre los años $t1$ y $t2$ ($SD_{j,(t1:t2)}$) se calcula utilizando la ecuación 5. La variable $SCBE_{j,(t1:t2)}$ se calcula con la siguiente fórmula:

$$SCBE_{j,(t1:t2)} = nBE_{j,(t1:t2)} * A \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde,

$nBE_{j,(t1:t2)}$ Total de píxeles (unidades de observación) codificadas como *Bosque Estable* dentro de la unidad espacial de referencia j para el periodo $t1:t2$

Interpretación: El indicador toma valores menores o iguales a cero. Valores menores a cero señalan pérdidas de superficie cubierta por bosque natural; el valor nulo o igual a cero significa que no existió deforestación en el periodo de análisis.

2.1.6 Plan de Resultados

Los reportes para la presentación y análisis de los resultados de los indicadores de la operación estadística son los siguientes:

- Cuadros de resultados: Tablas de datos con los valores de los indicadores de la operación estadística.
- Gráficas con los resultados de las series históricas de cada indicador
- Capas geográficas de *Cambio de Bosque* y *Mapa de Bosque - No Bosque* en formato raster para cada periodo de análisis;
- Salidas cartográficas en pdf de los mapas de *Cambio de Bosque* y *Mapa de Bosque - No Bosque* para cada periodo de análisis.

a. Diseño de cuadros de salida o de resultados

La información y resultados de los indicadores de la operación estadísticas se presentan en tablas de datos estructuradas según los formatos establecidos por el IDEAM para el reporte de todos sus indicadores ambientales.

Para cada indicador se realizan tablas por nivel de desagregación geográfica (Nacional, Departamentos y Corporaciones autónomas regionales) y por periodo de análisis. Así mismo, en cada una de las tablas se indica la superficie o porcentaje de no respuesta que corresponde a la superficie sin información por presencia de nubes, sombras y bandeamiento en las imágenes de satélite. A continuación, se listan

los campos básicos incluidos en las tablas. En el Anexo 1 se muestra el formato de las tablas de salidas de cada uno de los indicadores.

Las tablas incluyen la siguiente información:

Título. De acuerdo con los estándares de IDEAM tiene la siguiente estructura *Colombia: Nombre de indicador, nivel de desagregación y periodos de análisis incluidos en el indicador*

Tabla de datos. Incluye los siguientes datos y resultados para cada uno de los indicadores

- Indicador Proporción de la superficie cubierta por bosque natural: Superficie cubierta por bosque natural (ha) CSBN; Superficie sin información (ha) y Proporción de la superficie cubierta por bosque natural (%) PSBN.
- Indicador Cambio en la superficie cubierta por bosque natural: Superficie deforestada SD; Superficie regenerada SR; Superficie sin información; Diferencia neta de la superficie cubierta por bosque periodo t1:t2; Cambio en la superficie cubierta por bosque natural CSBN. Todos los datos en unidades de hectáreas.
- Indicador Tasa anual de deforestación: Superficie de bosque estable (ha) SCBE; Superficie deforestada (ha) SD; Promedio anual de la superficie deforestada (ha); Proporción de la superficie sin información (%)

Fuente. Citación de la tabla de datos

Notas de pie de página. Incluye anotaciones sobre las definiciones de los datos e indicadores, notas aclaratorias que facilitan la interpretación del indicador, y la advertencia sobre el cambio periódico de los valores por ajuste de consistencia de la serie y otras que faciliten la interpretación de los resultados.

Fecha. Corresponde a la fecha del cálculo del indicador. Esta fecha debe ser tomada en cuenta por el usuario para determinar la versión de los datos que está utilizando.

b. Diseño de gráficas

La serie histórica de los valores de los indicadores que hacen parte de la operación estadística se presentan en gráficas de barras, en las que el eje X corresponde a los años o periodos de análisis y el eje Y al valor del indicador, de manera que es posible ver el comportamiento histórico del fenómeno monitoreado (Figura 4). Aunque existen datos para los indicadores desde 1990, en las gráficas únicamente se incluyen los periodos de análisis para los que se cuenta con información anual (2012 en adelante), con el fin de graficar los datos para las mismas ventanas de tiempo.

Las gráficas se presentan para cada uno de los niveles de desagregación geográfica (Nacional, departamentos y corporaciones autónomas regionales) y se acompañan de notas de pie de página que faciliten la correcta interpretación de los resultados.

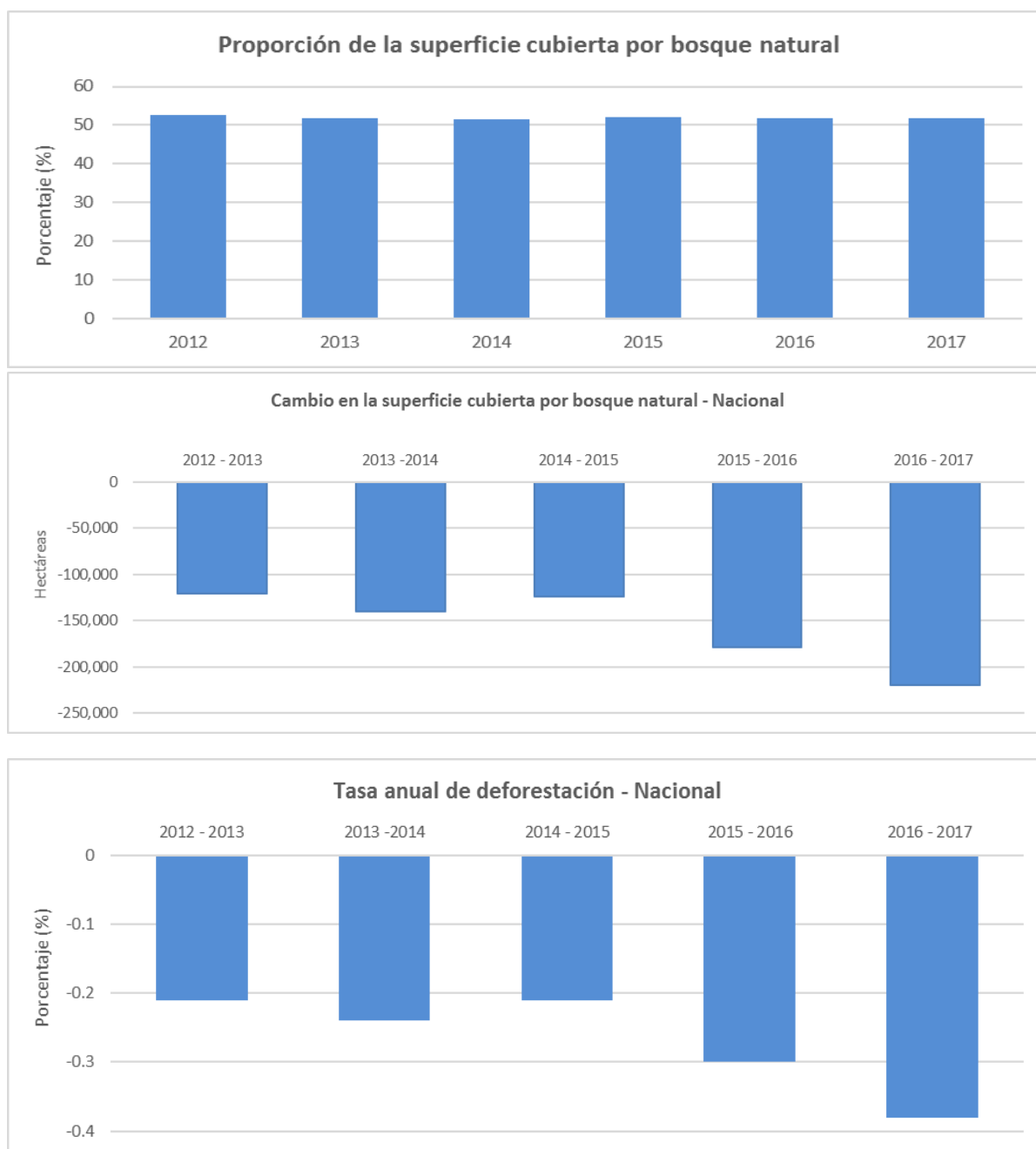


Figura 4. Ejemplo de los formatos de las gráficas utilizados para representar los resultados de la serie histórica de los indicadores de la operación estadística para el nivel nacional.

c. Capas geográficas

Los reportes de los resultados incluyen las capas geográficas temáticas generadas a partir del procesamiento de las imágenes de satélite para cada periodo de análisis y de las cuales se extraen los datos para calcular los indicadores. Las capas son compatibles con la escala geográfica 1:100.000 y se encuentran proyectadas en el sistema de referencia oficial de Colombia MAGNA SIRGAS EPSG:3116. Se generan a nivel nacional en formato raster (*.tif o *.img) e incluyen todas las unidades de

observación (pixeles de 30,72 x 30,26 m) que hacen parte del marco censal de la operación estadística. A partir de la capa geográfica nacional se obtienen las capas de cada una de las unidades de desagregación geográfica (departamentos y corporaciones autónomas regionales).

Cambio de la Cobertura de Bosque - No Bosque.

Esta capa geográfica almacena los datos de la variable *Cambio de la cobertura de bosque natural* de la operación estadística y de ella se obtienen la información para calcular los indicadores de “Cambio en la superficie cubierta por bosque natural” y “Tasa anual de deforestación”.

Los valores que puede tomar la variable incluyen 5 categorías o clases; a cada pixel o unidad de observación le corresponde una de estas categorías, las cuales se almacenan asignando un código numérico de acuerdo con la Tabla 1

.

Tabla 1. Códigos almacenados en la capa geográfica “Cambio de la Cobertura de Bosque para identificar cada una de las clases o categorías correspondientes

Código	Nombre de la clase	Descripción
1	Bosque Estable	Código asignado a una unidad de observación (pixel) que permanece cubierta por bosque natural tanto al inicio como al final del periodo de análisis
2	Deforestación	Código asignado a una unidad de observación (pixel) con evidencia de conversión directa y/o inducida de la cobertura de bosque natural a otro tipo de cobertura
3	Sin Información	Código asignado a una unidad de observación (pixel) que no pudo ser interpretada en el momento de análisis debido a la presencia de nubes, sombras o bandeamiento en la imagen de satélite.
4	Regeneración	Código asignado a una unidad de observación (pixel) en la que se evidencia recuperación de la cobertura de bosque cuando no estaba presente en fechas anteriores
5	No Bosque Estable	Código asignado a una unidad de observación (pixel) que permanece con una cobertura distinta a la de bosque natural, tanto al inicio como al final del periodo de análisis

Cobertura de Bosque No Bosque.

Esta capa geográfica almacena los datos de la variable Cobertura de bosque natural de la operación estadística y de ella se obtienen la información para calcular el indicador “Proporción de la superficie cubierta por bosque natural” y “Tasa anual de deforestación”.

Los valores que puede tomar la variable incluyen 3 categorías o clases; a cada pixel o unidad de observación le corresponde una de estas categorías, las cuales se almacenan asignando un código numérico de acuerdo con la Tabla 2

Tabla 2. Códigos almacenados en la capa geográfica “Cobertura de Bosque – No bosque” para identificar cada una de las clases o categorías correspondientes

Código	Nombre de la clase	Descripción
1	Bosque	Código asignado a una unidad de observación (pixel) cubierta por bosque natural
2	No bosque	Código asignado a una unidad de observación (pixel) ocupada por Coberturas distintas a la de bosque natural.
3	Sin Información	Código asignado a una unidad de observación (pixel) que no pudo ser interpretada en el momento de análisis debido a la presencia de nubes, sombras o bandeamiento en la imagen de satélite.

d. Salidas gráficas

Como uno de los resultados de la operación estadística se generan en formatos gráficos (jpg, pdf)) los mapas de las capas geográficas: *Cobertura de bosque – No bosque* y *Cambio de bosque*. Los mapas se generan con el formato diseñado por el IDEAM (Anexo 1) el incluye mínimo:

- Título del mapa

- Leyenda con los colores definidos para cada clase
- Información acerca del sistema de referencia geográfico
- Logos del IDEAM, MADS y socios donantes
- Grilla de coordenadas en el marco del área del mapa
- Información geográfica desplegada de la capa correspondiente
- Información geográfica desplegada de los límites del país y países vecinos

2.1.7 Diseño del cuestionario

Teniendo en cuenta la metodología de recolección de los datos de la operación estadística, no se requiere del diseño de un cuestionario.

2.1.8 Normas, especificaciones o reglas de validación, consistencia e Imputación

a. Reglas de validación y consistencia

Durante las etapas de recolección de los datos, análisis y generación de los resultados se aplican reglas de validación y consistencia que hacen parte integral del proceso de control de calidad. Estas reglas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Reglas de validación para el proceso de recolección de los datos y generación de los resultados

Etapa		Normas y reglas de validación y/o consistencia	Ajuste por no cumplimiento
Descarga de las imágenes		Todas las imágenes Landsat ETM, Landsat 8 OLI y/o Landsat TM disponibles en el repositorio del USGS que tengan menos del 90% de nubes son descargadas	Se deberán descargar las imágenes faltantes
		La serie de tiempo anual debe incluir todas las imágenes de los meses de noviembre y diciembre, siempre y cuando se encuentren disponibles en el repositorio de imágenes del USGS.	Se deberán descargar las imágenes faltantes
Pre-procesamiento o preparación de las imágenes de satélite (fuente de datos)	Apilamiento de bandas	Las imágenes apiladas deben tener cuatro bandas en el siguiente orden específico: Rojo, NIR, SWIR1, SWIR2	Se deberá apilar de nuevo la imagen
	Corrección geométrica	Las imágenes apiladas deben tener un co-registro a nivel de pixel con las unidades de observación del marco estadístico.	Se aplicará algún método de corrección geométrica. De no lograrse el ajuste adecuado se descarta la imagen
	Enmascaramiento de nubes, sombras y áreas de gaps	El archivo de la máscara que identifica las unidades de observación (pixeles) sin información en cada imagen, debe tener un tipo de dato temático de 4 bits y los pixeles que forman parte de la máscara deben estar codificados con el valor 3 o 1	Se construye de nuevo la máscara
		Las áreas de bandeamientos en las imágenes (gaps) deben quedar incluidas en su totalidad dentro de la máscara y deben ser eliminados de la imagen	Se enmascara de nuevo la imagen
		Las áreas con información que puedan ser interpretadas no deben ser incluidas en la máscara, ni eliminarse de la imagen	Se enmascara de nuevo la imagen

Etapa		Normas y reglas de validación y/o consistencia	Ajuste por no cumplimiento
	Normalización y generación del Compuesto de la mediana (y otras estadísticas o métricas)	Los datos de las imágenes normalizadas deben estar almacenados en formato “unsigned” de 16 bits	Se revisan los productos intermedios anteriores y se corrigen aquellos en los que se cambió este formato
		El compuesto debe tener un co-registro a nivel de pixel con las unidades de observación del marco estadístico a lo largo de todo el mosaico nacional.	Se determina en que escena se presenta el error. Se revisan todas las imágenes descargadas de la escena identificando donde se presenta el desplazamiento. Se aplica la corrección geométrica necesaria y se repite todo el e pre-procesamiento. Si no se logra ajustar la imagen con problemas, se descarta.
Procesamiento	Detección de cambios con componentes principales	Los cambios detectados deben corresponder únicamente a cambios por deforestación o regeneración	Se valida con la fuente (imagen de satélite), los pixeles que no correspondan a una deforestación o regeneración se recodifican a cero en la capa de componentes principales
	Generación del Mapa de cambio de bosque (variable cambio de la superficie de bosque) por escena	Las unidades de observación con valores de "deforestación" en la variable <i>cambios de cobertura de bosque natural</i> deben estar codificados como bosque en el periodo anterior	Verificación con la información fuente (imágenes) y corrección del valor. Si corresponde efectivamente a una deforestación, pero hay un error en la asignación del valor de NB en el periodo anterior, se asigna un valor temporal de 12. Posteriormente a estas unidades se asignará un valor de 1 (bosque estable) en el periodo anterior y un valor de 2 (Deforestación) en el periodo de análisis.
		Las unidades de observación con valores de "regeneración" o "deforestación" en la variable <i>cambios de cobertura de bosque natural</i> no deben estar codificados como "sin información" en el periodo anterior	Verificación con la información fuente (imágenes) y corrección del valor.
	Consistencia de las variables	Variable cambio de la cobertura de bosque (Mapa de cambio de bosque)	En el producto final, la variable puede tomar valores de 1, 2, 3, 4 o 5 únicamente, correspondientes a las categorías o clases de Bosque estable, Deforestación, Sin información Regeneración y No bosque estable.
En el mapa final no se aceptan valores nulos o de cero para la variable			Verificación de los casos mediante "revisita" a la información fuente (imágenes de satélite) para asignar el valor correcto. Si la fuente no tiene información se asigna un valor de 3 (sin información)
El total de pixeles del mapa debe ser igual al total de unidades de observación del marco estadístico			Revisar las unidades de observación faltantes o sobrantes en el marco estadístico
Variable cobertura de bosque (Mapa nacional de		En el producto final, la variable puede tomar valores de 1, 2 o 3 únicamente, correspondientes a las categorías o clases de Bosque, No bosque y Sin información	Verificación de los casos mediante revisión en el mapa de cambio de bosque para asignar el valor correcto.

Etapa		Normas y reglas de validación y/o consistencia	Ajuste por no cumplimiento
	bosque - no bosque)	En el mapa final no se aceptan valores nulos o de cero para la variable	Verificación de los casos mediante revisión en el mapa de cambio de bosque para asignar el valor correcto.
		El total de píxeles del mapa debe ser igual al total de unidades de observación del marco estadístico	Se revisa y ajusta de acuerdo a la fuente (imágenes de satélite)
Estructuración de la información		Los archivos de los productos intermedios y finales del proceso de recolección de datos son almacenados con los nombres establecidos	Se renombran los archivos
		Los archivos de los productos intermedios y finales del proceso de recolección de datos son almacenados siguiendo la estructura de carpetas definidas	Se almacenan los archivos de acuerdo con la estructura de carpetas definida

b. Reglas y validación y consistencia en los procesos de imputación

Imputación de valores para las superficies con un área mínima de 1 ha

De acuerdo con la definición bosque, una vegetación leñosa natural es considerada como bosque si, entre otras, su cobertura tiene un área mínima de 1 ha; por lo tanto, en aras de tener una consistencia temática, este valor se establece como el área mínima de mapeo.

Regla de validación: Cualquier combinación de píxeles contiguos de la misma clase o categoría (laterales o diagonales) que en conjunto ocupen una superficie menor a 1 ha, se consideran inconsistentes y deberán ser recodificados (Figura 5).

Proceso de imputación: Cuando no se cumple la regla de validación, a cada uno de estos píxeles se le asigna el valor que más se repite (moda) en los 8 píxeles vecinos (Figura 5).

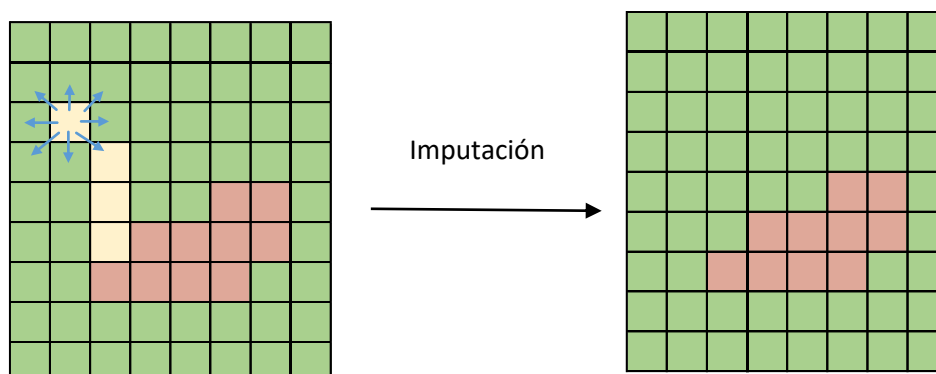


Figura 5. Ejemplo de validación e imputación para áreas menores a 1 ha. En el ejemplo los píxeles contiguos de las clases bosque estable (verde) y deforestación (rojo) ocupan en conjunto más de 1 ha, cumpliendo la regla establecida de área mínima. Por su parte, los píxeles contiguos de la clase no bosque estable (amarillo) no alcanzan en conjunto el área mínima y por tanto se debe aplicar la técnica de imputación definida para este caso. A cada uno de estos cuatro píxeles se le asigna el valor que más se repite entre sus 8 vecinos (laterales y diagonales), por lo que son recodificados con el valor de Bosque estable.

Imputación con información auxiliar o externa (datos de otros periodos de la serie histórica)

Debido que la operación estadística hace parte de un sistema de monitoreo, es necesario verificar la consistencia de la serie de tiempo para las variables “cobertura de bosque natural” y “cambios de la cobertura de bosque natural”, (ver descripción de estas variables en la sección 2.2.1 e. *definición de variables*). En el proceso no se toman en cuenta los datos anteriores a 2010 ya que éstos se generaron para periodos de referencia de 5 años o más. A partir del análisis de consistencia de la serie histórica se aplican métodos de imputación deductivos (Castro *et al.* 2006) con dos objetivos principales:

- Imputar valores para unidades de observación clasificados como “Sin información” en periodos anteriores de la serie histórica
- Ajustar las inconsistencias temáticas en la serie histórica

Imputación de valores en unidades de observación clasificadas como “Sin Información”: Con este proceso se busca realizar un ajuste de la cobertura por no respuesta en la serie histórica, disminuyendo el porcentaje de unidades de observación clasificadas como “sin información”. Las técnicas de imputación se aplican para la variable “Cobertura de bosque natural” (representada en los mapas de “cobertura de bosque - no bosque” de cada año). Los valores de las unidades “Sin información” son imputadas teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- No se imputan datos en el primer y/o último periodo de la serie histórica.
- Se imputa un valor de “bosque” a una unidad de observación clasificada como “Sin Información” entre el segundo y penúltimo periodo de la serie histórica, siempre y cuando la serie registre valores de bosque en los periodos anteriores y posteriores a dicha unidad.
- Se imputa un valor de “no bosque” a una unidad de observación clasificada como “Sin Información” entre el segundo y penúltimo periodo de la serie histórica, siempre y cuando la serie registre valores de no bosque en los periodos anteriores y posteriores a dicha unidad identificada como “sin información”.

Las imputaciones realizadas para la variable *cobertura de bosque natural* en cada año se aplican posteriormente a la variable cambio de la cobertura de bosque natural en los mapas de los periodos correspondientes. Ejemplos de casos de imputación en unidades sin información se muestran en la Figura 6 y en la Tabla 4

Tabla 4. Ejemplos de imputación en pixeles (unidades de observación) con valores de “sin información” en la variable “cobertura de bosque natural”, a partir de los datos de la serie de tiempo histórica

Año de monitoreo						Aplicación del proceso de imputación de acuerdo con las reglas establecidas
2010	2012	2013	2014	2015	2016	
B	B	B	B	B	SI	No es posible realizar imputación en 2016, puesto que corresponde al último año de análisis de la serie histórica
B	B	B	SI	B	SI	Se imputa el valor bosque en 2014 a la unidad de observación
B	SI	SI	NB	SI	SI	No es posible imputar valores en 2012 y 2013 puesto que la serie no registra el mismo valor antes y después, y por tanto no se sabe en qué año ocurrió el cambio de la clase Bosque a No Bosque
B	NB	NB	SI	NB	NB	Se imputa el valor de sin información en 2014, asignando la clase “No bosque” a la unidad de observación

B = Bosque. NB = No bosque. SI = Sin información

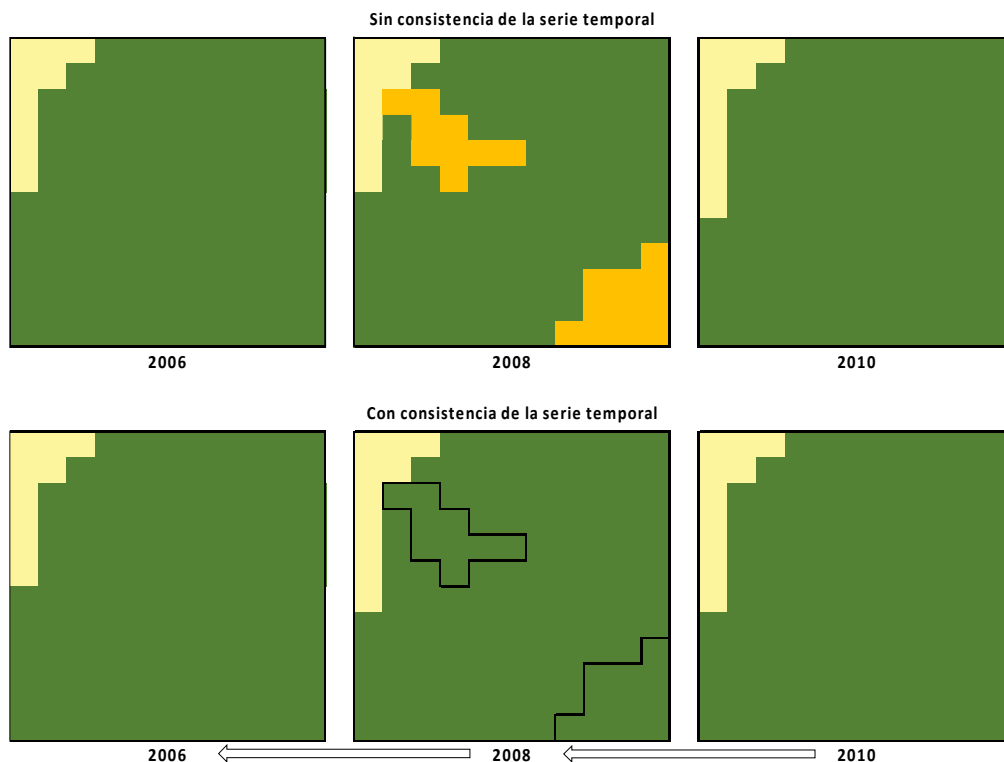


Figura 6. Ejemplo de imputación para unidades de observación “sin información” mediante el análisis de consistencia de la serie histórica. En la figura, las unidades de observación con valores de “bosque” se representan en verde, las de “no bosque” en amarillo y las unidades “sin información” en naranja. En el ejemplo, existen unidades de observación “Sin Información” en 2008; sin embargo, al realizar el análisis de la serie histórica se observa que estas unidades registran un valor de “bosque” tanto en el periodo anterior (2006) como en el siguiente (2010); por lo tanto, se les asigna este mismo valor en 2008.

Imputación de valores en unidades de observación inconsistentes temáticamente:

Se remplazan las inconsistencias en los cambios detectados (deforestación y/o regeneración) de acuerdo con los datos de la serie teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Regla de validación

En una misma unidad de observación no se puede registrar dos eventos de deforestación en un periodo inferior a 5 años en la serie de tiempo histórica

Las unidades de observación con valores de "deforestación" en la variable cambios de cobertura de bosque natural deben estar codificados como bosque estable en el periodo anterior

Las unidades de observación con valores de "regeneración" en la variable cambios de cobertura de bosque natural deben estar codificados como no bosque estable en el periodo anterior

Imputación para el ajuste por consistencia

Revisión de la consistencia temporal, Si en una unidad de observación se incumple la regla, La deforestación es recodifica a no bosque estable.

Si no se cumple, se recodifica al valor del periodo anterior

Si no se cumple, se recodifica al valor del periodo anterior

Algunos ejemplos de casos en los que se aplica la imputación para ajustar la consistencia en la serie de tiempo se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Ejemplos de imputación en unidades de observación con valores inconsistentes en la serie de tiempo histórica para la variable "cambio de la cobertura de bosque natural", de acuerdo con las reglas establecidas

2010: 2012	2012: 2013	2013: 2014	2014: 2015	2015: 2016	Aplicación del proceso de imputación de acuerdo con las reglas establecidas
NBE	SI	NBE	NBE	D	Se imputa el valor del periodo 2012: 2013, asignando un valor de NBE
BE	BE	BE	BE	R	Se imputa el valor de "regeneración R" del periodo 2015: 2016, asignando un valor de BE, puesto que en el periodo anterior no se registra un valor de NBE

BE= Bosque estable. NBE= No bosque estable. D=Deforestación. R=Regeneración SI=Sin información

2.1.9 Nomenclaturas y clasificaciones utilizadas

a. División Político Administrativa - DIVIPOLA

Para el nivel de desagregación geográfica departamental se emplea la nomenclatura de la División político-administrativa de Colombia (DIVIPOLA), un estándar nacional producido por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y que consolida en un inventario la identificación y codificación de los departamentos y municipios del país (Tabla 6).

Tabla 6 . Nomenclatura DIVIPOLA para los niveles de desagregación departamental

Código DIVIPOLA	Nombre Departamento	Código DIVIPOLA	Nombre Departamento
05	ANTIOQUIA	54	N. DE SANTANDER
08	ATLANTICO	63	QUINDIO
11	BOGOTA	66	RISARALDA
13	BOLIVAR	68	SANTANDER
15	BOYACA	70	SUCRE
17	CALDAS	73	TOLIMA
18	CAQUETA	76	VALLE DEL CAUCA
19	CAUCA	81	ARAUCA
20	CESAR	85	CASANARE
23	CORDOBA	86	PUTUMAYO
25	CUNDINAMARCA	88	SAN ANDRES
27	CHOCO	91	AMAZONAS
41	HUILA	94	GUAINIA
44	LA GUAJIRA	95	GUAVIARE
47	MAGDALENA	97	VAUPES
50	META	99	VICHADA
52	NARIÑO		

b. Corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible

Las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) son entes corporativos de carácter público, integrados por las entidades territoriales, encargados por ley de administrar dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por el desarrollo sostenible del país⁸. Los límites de las jurisdicciones y nombres y siglas de las corporaciones empleados (Tabla 7) corresponden a los definidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

Tabla 7. Nomenclatura de las unidades de los niveles de desagregación de las corporaciones autónomas regionales

Sigla	Nombre
AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
CAM	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CARDER	Corporación Autónoma Regional de Risaralda.
CARDIQUE	Corporación Autónoma Regional del Dique.
CARSUCRE	Corporación Autónoma Regional de Sucre.
CAS	Corporación Autónoma Regional de Santander.
CDA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente Amazónico.
CDMB	Corporación Autónoma Regional de Defensa de la meseta de Bucaramanga.
CODECHOCÓ	Corporación para el desarrollo sostenible del Chocó
CORALINA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina
CORANTIOQUIA	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
CORMACARENA	Corporación para el desarrollo sostenible de la Macarena

⁸ <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/885-plantilla-areas-planeacion-y-seguimiento-33>

Sigla	Nombre
CORNARE	Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare.
CORPAMAG	Corporación Autónoma Regional del Magdalena.
CORPOAMAZONÍA	Corporación para el desarrollo sostenible del sur de la Amazonía.
CORPOBOYACA	Corporación Autónoma Regional de Boyacá.
CORPOCALDAS	Corporación Autónoma Regional de Caldas.
CORPOCESAR	Corporación Autónoma Regional del Cesar.
CORPOCHIVOR	Corporación Autónoma Regional de Chivor.
CORPOGUAJIRA	Corporación Autónoma Regional de La Guajira.
CORPOGUAVIO	Corporación Autónoma Regional del Guavio.
CORPOMOJANA	Corporación para el desarrollo sostenible de la Mojana y el San Jorge
CORPONARIÑO	Corporación Autónoma Regional de Nariño.
CORPONOR	Corporación Autónoma Regional de Norte de Santander
CORPORINOQUIA	Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía
CORPOURABA	Corporación para el desarrollo sostenible del Urabá
CORTOLIMA	Corporación Autónoma Regional del Tolima.
CRA	Corporación Autónoma Regional del Atlántico.
CRC	Corporación Autónoma Regional del Cauca.
CRQ	Corporación Autónoma Regional del Quindío.
CSB	Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar.
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
CVS	Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y San Jorge.
SDA	Secretaría Distrital del Ambiente

2.2 Diseño Estadístico

En esta sección se presenta el diseño estadístico definido para el monitoreo de la superficie de bosque natural.

2.2.1 Componentes básicos del diseño estadístico

a. Universo de estudio

La implementación de la operación de monitoreo de la superficie de bosque natural abarca la totalidad del territorio colombiano continental e insular de San Andrés y Providencia, que de acuerdo con los datos publicados por el IGAC tiene un área de 114.174.800 ha (Figura 7).

b. Población objetivo

La población objetivo de la operación estadística corresponde al mismo Universo de estudio, es decir, la totalidad del territorio colombiano continental e insular de San Andrés y Providencia. Al igual que el Universo de estudio, la población objetivo excluye los territorios insulares diferentes a San Andrés y Providencia, dada la escala y resolución espacial de las imágenes de satélite y teniendo en cuenta que algunas de estas no presentan cobertura de bosque.

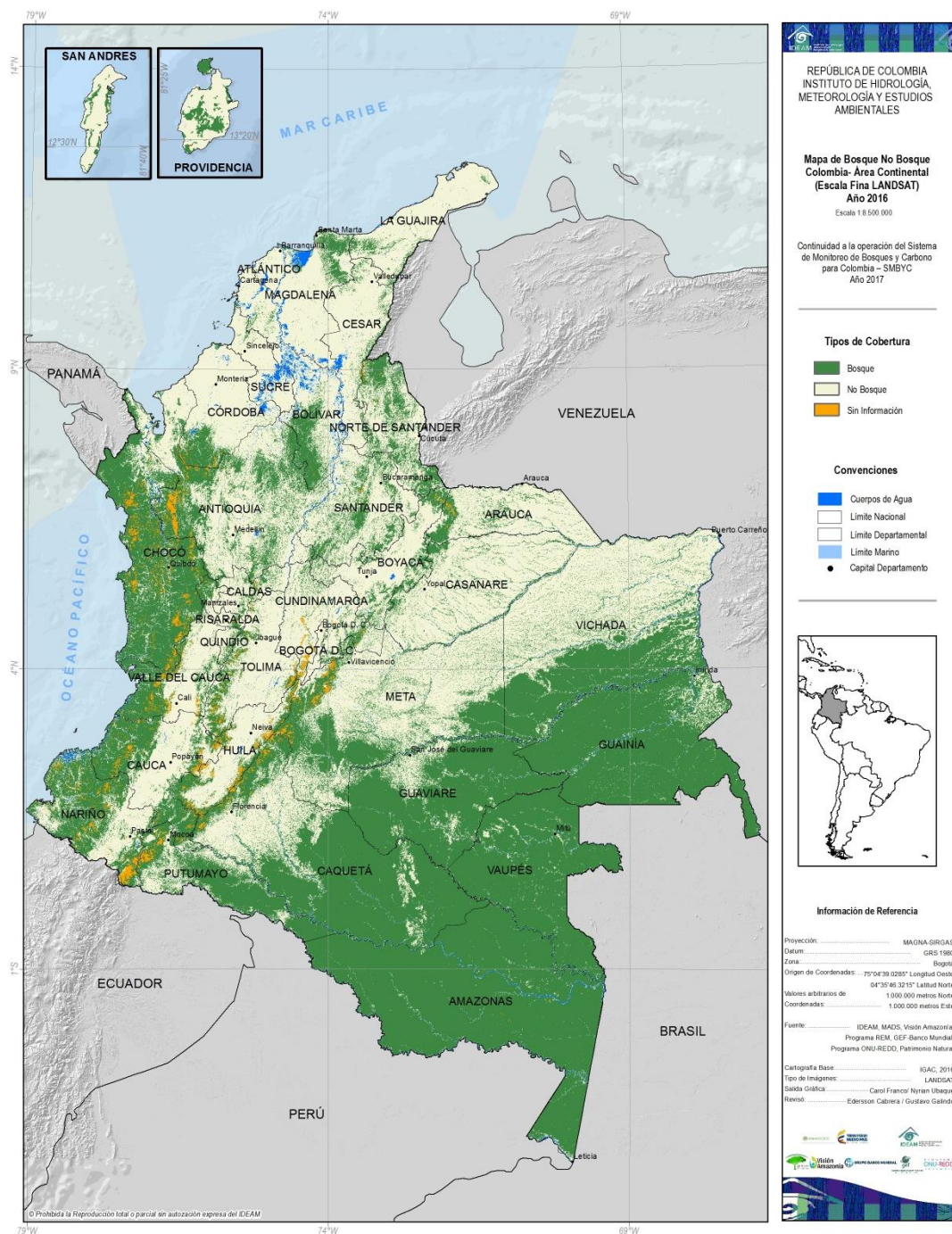


Figura 7. Superficie de bosque natural para Colombia año 2016

c. Marco estadístico censal

Teniendo en cuenta que un marco estadístico es considerado como la herramienta que permite identificar y ubicar a todos los elementos de la población objetivo, la operación de monitoreo ha consolidado como marco estadístico el conjunto de los 1.227'044.513 pixeles de 30,72m x 30,26 m en el sistema de proyección Magna SIRGAS EPSG 3116 desde la coordenadas 161.648 E y 1.986.579 N hasta las coordenadas 1.828.474 E y 18.401 N que son observados durante el proceso de recolección

de información y que se encuentran incluidos dentro del límite oficial del área continental e insular de San Andrés y Providencia para Colombia. Cada uno de estos píxeles constituye una unidad de observación con una posición geográfica definida por las coordenadas de su centroide y tiene una correspondencia exacta con los píxeles de las imágenes de satélite LANDSAT generadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Por ser un marco de áreas, las unidades de observación se encuentran definidas y almacenadas en un mapa en formato raster.

Integridad del marco: Para definir el límite de las unidades de observación que hacen parte del marco censal se utiliza la cartografía del límite oficial de Colombia, escala 1:100.000 generada por el IGAC, entidad encargada de producir la cartografía básica del país. Debido a que esta cartografía se encuentra en formato vector, y que los píxeles del marco se encuentran estructurados en formato raster, el área total del marco censal no coincide exactamente con el área oficial definida para Colombia (Figura 8)



Figura 8. Límite oficial de Colombia en formato vector (en negro) y límite del marco censal en formato raster (en verde y crema). Las diferencias en el área total oficial y el área del marco estadístico se deben a que el marco se encuentra conformado por píxeles que constituyen las unidades de observación almacenados en un formato raster, mientras que el límite oficial se define mediante el trazo de una línea.

Para garantizar que en cada periodo se monitorea la misma unidad de observación (pixel), las imágenes de las cuales se obtienen la información deben tener una posición geográfica coincidente (co-registro). La cadena de pre-procesamiento del USGS, con la cual se generan las imágenes en un nivel 1 -las cuales son descargadas por el IDEAM-, suelen tener una correspondencia exacta a nivel de pixel (LITP); sin embargo, antes de utilizar las imágenes se verifica el adecuado co-registro de cada una, ajustando aquellas que no cumplan esta condición.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el marco se actualiza en la medida en que se modifique la cartografía oficial del país escala 1:100.000 con los límites continentales y de San Andrés y Providencia o cuando la cadena de procesamiento de las imágenes de satélite de USGS sea modificada.

Seguridad de la información: Tanto la cartografía utilizada para definir el marco censal, como las imágenes de satélite LANDSAT son de carácter público y por lo tanto no requieren procesos de anonimización ni confidencialidad.

d. Indicadores de cobertura del marco estadístico

El marco censal de la operación estadística corresponde a un marco de áreas, que, como se mencionó antes, se define a partir de la cartografía de límite oficial del país generada por el IGAC, y en el cual las unidades de observación (píxeles) cubren el límite oficial continental e insular de San Andrés y Providencia.

La cobertura operativa es del 100% ya que se recolecta información de todas las unidades que conforman el marco estadístico.

En cuanto a la cobertura temática, no es posible obtener información de todas las unidades de observación debido a la presencia de nubes, sombra o bandeamiento (gaps) en las imágenes de satélite. El indicador de cobertura por no respuesta se mide como el porcentaje de unidades de observación sin información respecto al total de unidades del marco estadístico.

Para la variable “cobertura de bosque natural” el porcentaje de no respuesta en la serie histórica 1990-2016 es inferior al 2,2% (Figura 9), mientras que el porcentaje máximo para el mismo periodo de la variable “cambio de la cobertura de bosque natural” es de 3,2% (Figura 10); este último incluye las unidades sin información tanto en el año inicial como en el años final del periodo de análisis. En las dos variables el indicador por no respuesta ha disminuido en los últimos periodos gracias al mejoramiento constante de los procesos).

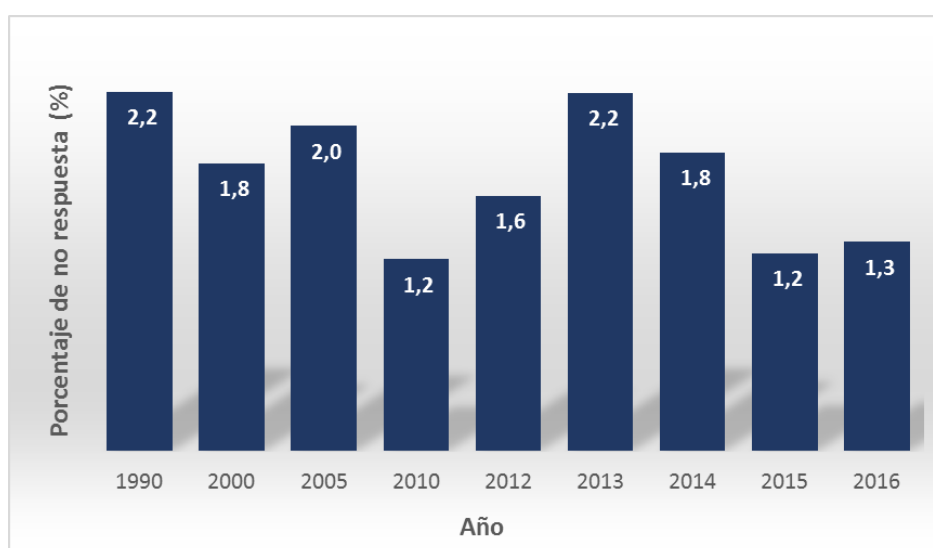


Figura 9. Porcentaje de no respuesta en la variable “cobertura de bosque natural” para la serie histórica 1990 – 2016, debido a la presencia de nubes, sombra y bandeamiento (gaps) en las imágenes de satélite

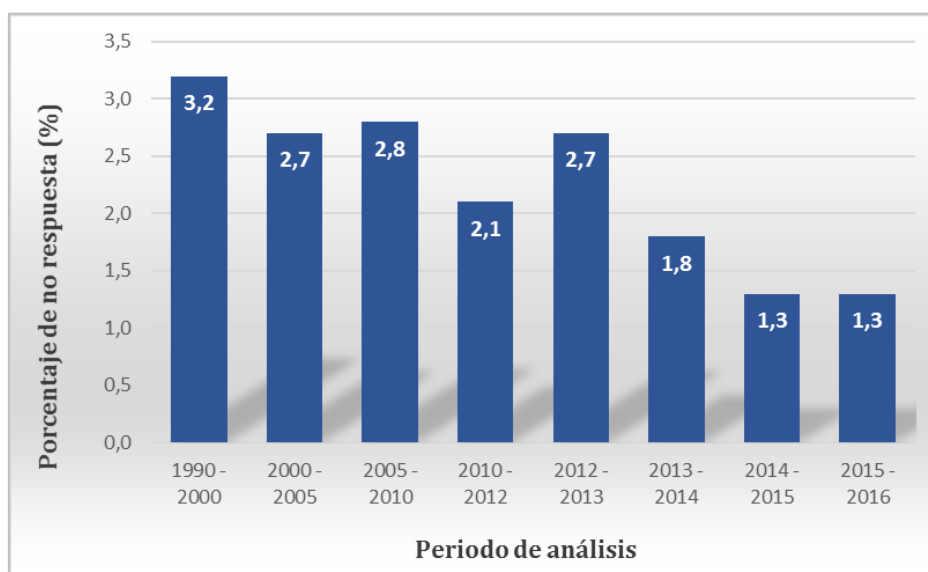


Figura 10 . Porcentaje de no respuesta en la variable “cambio de la cobertura de bosque natural” para la serie histórica 1990 – 2016, debido a la presencia de nubes, sombra y bandeamiento (gaps) en las imágenes de satélite del año inicial y/o final del periodo de análisis

e. Definición de variables

1. **Cobertura de bosque natural.** Presencia o ausencia de cobertura de bosque en cada unidad de observación. Es una variable categórica y puede tomar los siguientes valores:

- 1 Presencia de Bosque
- 2 Ausencia de bosque (No bosque)

El valor de esta variable se almacena para cada unidad de observación (pixel) en el *Mapa de Bosque – No bosque*, a partir del cual se producen los datos de superficie cubierta por bosque natural. Este mapa puede incluir unidades de observación sin respuesta por nubes o bandeamiento de las imágenes, a las que se les asigna un valor de: 3 “sin información”.

2. **Cambio de la cobertura de bosque natural.** Tipo o clase de cambio identificado para cada unidad de observación. Es una variable compuesta construida a partir de la comparación de imágenes de satélite del año de recolección con las del año inmediatamente anterior, determinando cambios en la respuesta espectral debidos a la ocurrencia de deforestación o regeneraciones del bosque. Las zonas donde no hubo cambio se consideran estables y se mantiene la cobertura de bosque o no bosque del año anterior. La variable puede tomar los siguientes valores:

- 1 Bosque Estable
- 2 Deforestación
- 4 Regeneración
- 5 No bosque estable

El valor de esta variable se almacena para cada unidad de observación (pixel) en el *Mapa de cambio de bosque*. Este mapa puede incluir unidades de observación sin respuesta por nubes o bandeamiento

de las imágenes en el año de análisis o el anterior, a las que se les asigna un valor de: 3 “sin información”.

f. Fuente de datos

Los datos utilizados para la consolidación del marco estadístico asociada a la operación monitoreo de la superficie de bosque natural en Colombia proviene de un censo, a través del cual se consolidan todas las unidades del marco estadístico.

La principal fuente de datos para obtener información de cada una de las unidades de observación son las imágenes obtenidas por los sensores Landsat 5 TM, 7 ETM+ y OLI 8, con un nivel de procesamiento L1T. Las imágenes se obtienen del catálogo del USGS (<https://espa.cr.usgs.gov/>) y se descargan los archivos digitales que se encuentran en formato raster.

Las imágenes se encuentran disponibles para descarga por escenas de acuerdo con una grilla definida específicamente para las imágenes LANDSAT, en las que cada unidad de la grilla corresponde a una escena numerada (Figura 11). Se descargan únicamente las escenas correspondientes a la superficie continental e insular de Colombia. Se emplean imágenes con fecha de toma entre el inicio y el final del periodo de análisis, que para el caso de los datos con periodicidad anual corresponde al 1 de enero y el 31 de diciembre. Las imágenes se encuentran co-registradas entre sí garantizando que cada pixel corresponda año tras años a la misma unidad de observación.

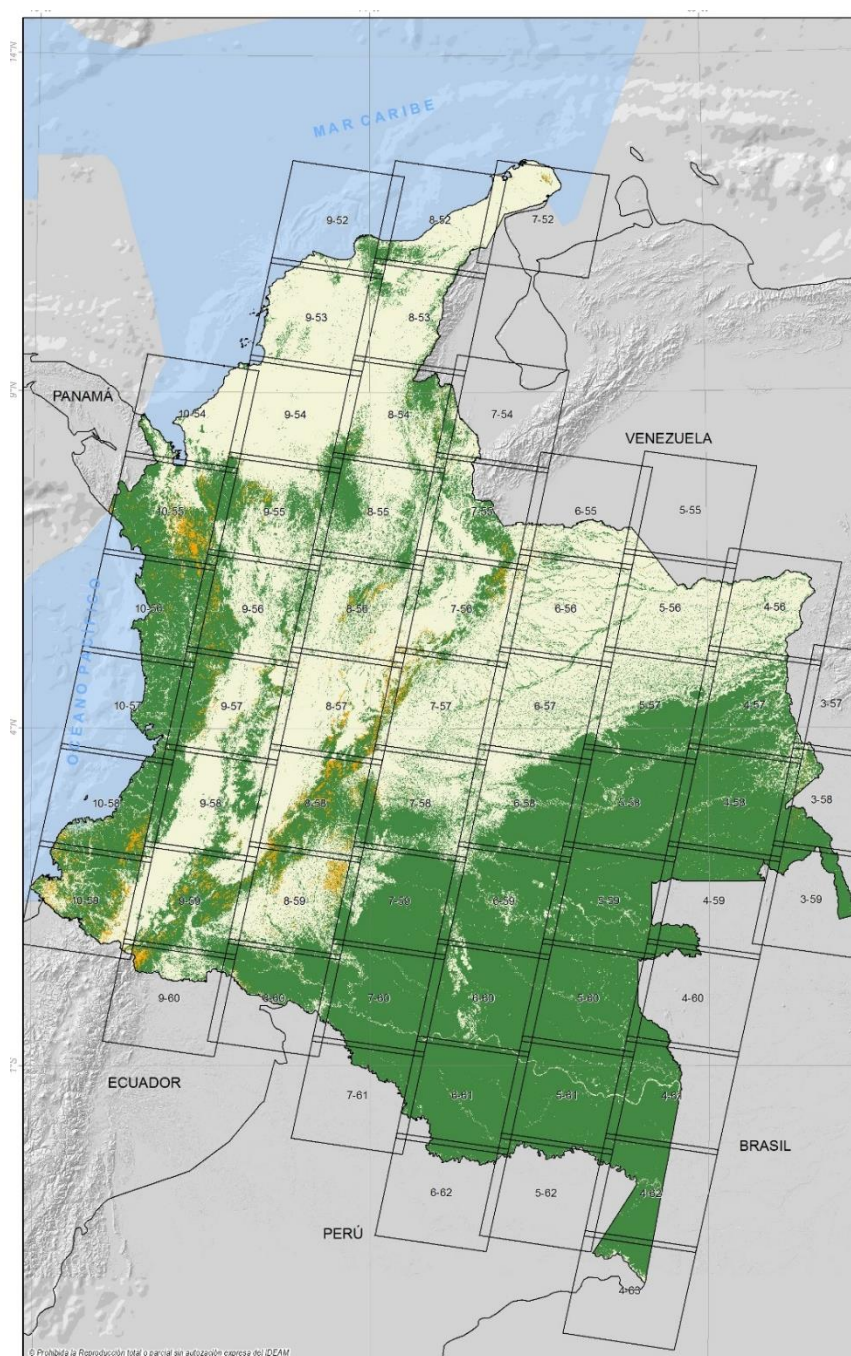


Figura 11. Grilla de las imágenes LANDSAT con las escenas numeradas. Las imágenes se encuentran disponibles para descarga por escena y se trabajan de esta forma durante el pre-procesamiento para la obtención del dato.

g. Cobertura geográfica

La implementación de la operación monitoreo de la superficie de bosque natural en Colombia permite presentar información de todo el territorio colombiano, continental e insular de San Andrés y Providencia.

h. Desagregación geográfica

Los resultados se generan en tres niveles de desagregación: i) Nacional, ii) departamental y iii) Jurisdicción de Autoridades Ambientales Regionales.

i. Desagregación temática

La información recolectada con la implementación de la operación monitoreo de la superficie de bosque natural en Colombia permite ofrecer información sobre la extensión, distribución y cambios de la superficie de bosque natural.

2.2.2 Unidades estadísticas

En la implementación de la operación monitoreo de la superficie de bosque natural se establecen las siguientes unidades estadísticas para la recolección y análisis de información:

Unidad de observación. Corresponde a cada uno de los pixeles de los 1,227.044.513 pixeles de 30,72 x 30,26 m en el sistema de proyección Magna SIRGAS EPSG 3116, de los cuales se obtiene la información espectral de las imágenes de satélite para determinar si la unidad presenta una cobertura de bosque natural o no, o si presentó cambios.

Unidad de análisis. La unidad que se analiza y de la que se obtiene la información es el pixel, a partir de las cuales se sintetiza y presenta la información para la evaluación de la superficie de bosque natural y cambios en la superficie de bosque natural en Colombia.

Unidad de muestreo

No aplica para la operación estadística ya que ésta corresponde a un censo

2.2.3 Periodos de referencia y recolección

Periodo de referencia. Desde 2013 el monitoreo de la superficie del bosque se realiza anualmente, de manera que la información de la que se derivan los datos de la operación estadística corresponden a las imágenes de satélite tomadas entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año de monitoreo.

Antes de 2013 el monitoreo se realizó para periodos de referencia decenales (1990-2000), quinquenales (2000-2005 y 2005-2010) y bienales (2010-2012), utilizando imágenes de satélite tomadas entre el 1 de enero del año inicial y el 31 de diciembre del año final del periodo.

Periodo de recolección: Desde 2013 la recolección de los datos, procesamiento, análisis y difusión de los resultados de la operación estadística se lleva a cabo el siguiente año al del periodo de referencia, es decir que se realiza y reporta la información de cada año vencido.

2.2.4 Diseño muestral

No aplica para la operación estadística ya que ésta corresponde a un censo

2.2.5 Ajustes de cobertura (o ajuste de cobertura por no respuesta)

Como ya se mencionó en la sección de *Indicadores de cobertura (2.2.1 numeral d)*, la cobertura operativa es del 100%, puesto que se recolecta información de todas las unidades que conforman el marco estadístico. Respecto a la cobertura temática, no es posible obtener información de todas las

unidades de observación debido a la presencia de nubes, sombra o bandeamientos (gaps) en las imágenes de satélite, a estos casos de no respuestas se les asigna un valor de “Sin información”.

El método de pre-procesamiento de las imágenes está diseñado para obtener la máxima cobertura de respuesta posible, ya que se descargan todas las imágenes disponibles que tengan un porcentaje de nubes inferior al 90% y se construyen series de tiempo anuales. Estos procesos buscan, en la medida de lo posible, lograr obtener información de cada unidad de observación en al menos una de las imágenes del año. Como resultado, la proporción de no respuesta en la serie histórica 1990-2016 para las variables *cobertura de bosque natural* y *cambio en cobertura de bosque natural* es inferior al 2,2% y 3,2% respectivamente, y desde 2013 no supera el 2%. (Figura 9 y Figura 10). Adicionalmente, cada vez que se genera información para un nuevo periodo se realiza un análisis de consistencia en la serie histórica, análisis que permite imputar valores a las unidades de observación “sin información” en diferentes años de la serie. (Ver sección 2.1.7 Normas, especificaciones o reglas de validación, consistencia e Imputación).

2.3 Diseño de ejecución

2.3.1 Sistema de capacitación

El IDEAM cuenta con un plan de capacitación en la aplicación del *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V2* dirigido a los profesionales seleccionados como intérpretes para generar información de monitoreo de la superficie de bosque natural a nivel Nacional y Regional.

El entrenamiento está propuesto bajo un esquema de aprendizaje personalizado y requiere de cuatro semanas calendario, durante las cuales se desarrollan cuatro módulos con ejercicios prácticos para la apropiación, aplicación y ejecución del protocolo. Estos módulos son:

MÓDULO 1.

Introducción sobre el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono.

MÓDULO 2.

Descarga, revisión de datos y apilamiento de imágenes

Enmascaramiento de imágenes Landsat

Aplicación Algoritmos para enmascaramiento

Normalización radiométrica

MÓDULO 3.

Mediana Estadística y Generación de compuesto.

Compilación de periodos y Componentes principales.

Detección de cambios en la cobertura de la tierra.

MÓDULO 4.

Edición de los datos.

Generación de los datos

El intérprete tiene que demostrar cumplimiento de cada una de las etapas del proceso, pero las actividades de capacitación y seguimiento a su desempeño continúan permanentemente. La persona encargada del Control de calidad está constantemente validando los resultados del

trabajo de los intérpretes de acuerdo a lo descrito en la *sección 2.5 Diseño de métodos y mecanismos para el control de la calidad*.

2.3.2 Actividades preparatorias

a. Selección del personal

Para realizar la operación estadística a nivel nacional en los tiempos establecidos, se requieren los siguientes perfiles:

- Al menos cuatro intérpretes muy bien entrenados y con suficiente experiencia en el proceso de detección de cambios usando imágenes de satélite.
- Al menos una persona encargada del control de calidad del proceso con experiencia en el análisis y producción de estadísticas espaciales.
- Al menos una persona encargada de la estructuración, copias de respaldo, y almacenamiento de la información, productos intermedios y resultados.
- Una persona encargada de las actividades de capacitación de los intérpretes.
- Un coordinador encargado de liderar la ejecución de la operación estadística en los tiempos establecidos.

Para la selección se tiene en cuenta tanto experiencia general y específica de los candidatos como sus capacidades técnicas evaluadas mediante pruebas diseñadas específicamente para el desarrollo de la recolección de la información. El proceso de selección se realiza por convocatorias abiertas de acuerdo a las normas del Banco Mundial.

Por último, se resalta que la experiencia en proceso es fundamental para lograr resultados de calidad, y por tanto el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono promueve el mantenimiento del personal a largo plazo y busca la capacitación continua, ya que esto garantiza el desarrollo de experiencia y habilidades en las actividades de la recolección de los datos a partir de la información de las imágenes de satélite.

2.3.3 Diseño de instrumentos

Si bien la operación estadística no precisa del diseño de cuestionario, se han diseñado otros instrumentos necesarios para el proceso de recolección de los datos y su control.

- **Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V2.0.** Describe las bases generales del pre procesamiento y procesamiento digital de las imágenes de satélite para obtener los datos del monitoreo de la superficie del bosque.
- **Flujo de procesos:** Esquema detallado de cada uno de los pasos del pre-procesamiento y procesamiento de las imágenes de satélite, crítica y controles necesarios para generar la información de superficie y cambio de la superficie de bosque, el cual sirve de guía a los intérpretes para aplicar cada uno de los procesos y determinar la forma como se debe entregar la información geográfica generada en cada etapa del proceso. De ser necesario, este esquema se actualiza cuando se presente alguna variación en el proceso (ver Anexo 2). El

protocolo se encuentra disponible para consulta en:
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/deforestacion-colombia>.

- **Formato de registro e inventario de las imágenes adquiridas y del pre-procesamiento aplicado:** Tabla en la que los intérpretes registran cada una de las imágenes de satélite adquiridas y los procesos de preparación (pre-procesamiento) aplicados a cada una. En la tabla se especifica cuáles son empleadas para generar los datos y cuáles se descartan por deficiencias en la calidad radiométrica, espacial o por excesiva nubosidad; así mismo, este registro permite verificar que se han descargado imágenes con fechas de toma distribuidas a lo largo del año. Igualmente, en la tabla se indica al intérprete el nombre que se debe asignar a cada uno de los archivos generados durante el pre-procesamiento. En el Anexo 2 se presenta el diseño con los campos básicos que debe contener la tabla, aunque se pueden adicionar otros de acuerdo con los requerimientos particulares de cada periodo de monitoreo.
- **Formato de control de procesos:** Tabla en la que los intérpretes registran los procesos aplicados en la interpretación de las imágenes en las áreas asignadas hasta obtener las capas cartográficas para el monitoreo de la superficie de bosque. Igualmente, en esta tabla se registran los resultados del proceso de control de calidad del producto de cambio de bosque, de tal manera que el intérprete sabe si el producto fue aceptado o se deben realizar ajustes. En el Anexo 2 se presenta el diseño con los campos básicos que debe contener la tabla, aunque se pueden adicionar otros de acuerdo con los requerimientos particulares de cada periodo de monitoreo.
- **Formato de control de procesos de calidad:** Tabla en la que el profesional de control de calidad registra los resultados del proceso de validación aplicado a los productos de cambio de bosque entregados por los intérpretes. En el Anexo 2 se presenta el diseño con los campos básicos que debe contener la tabla, aunque se pueden adicionar otros de acuerdo con los requerimientos particulares de cada periodo de monitoreo.

2.3.4 Recolección de datos

Los datos se recolectan mediante el procesamiento e interpretación de las imágenes de satélite Landsat, siguiendo los lineamientos del Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V2.0. Los procedimientos se resumen a continuación:

a. Esquema operativo

Las imágenes Landsat se encuentran disponibles a nivel de escenas (de aproximadamente- 180 km 2 cada una), y en total se incluyen 61 para cubrir la totalidad de la superficie continental e insular de San Andrés y Providencia.

Empezando en enero de cada año, un conjunto de profesionales con experiencia en interpretación de coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes de satélite realiza en las instalaciones del IDEAM el proceso de descarga, pre-procesamiento y procesamiento de las escenas de acuerdo a la asignación y los tiempos definidos por el coordinador y el control de calidad del proceso. Los archivos resultantes de cada una de las fases son almacenados por los intérpretes siguiendo una nomenclatura estandarizada que permite tener claridad del producto al que hace referencia, la fecha y la escena a

la que corresponde; estos archivos son almacenados en un servidor del IDEAM siguiendo una estructura de carpetas definida para cada producto y un administrador de la base de datos realiza revisiones y copias de seguridad periódicas a esta información.

Cada uno de los productos, su nomenclatura y su estructuración es sometido a un proceso de control de calidad antes de seguir a la siguiente fase, y si es necesario es ajustado por los intérpretes. (Ver sección 2.5 Métodos y mecanismos para el Control de calidad) Una vez finalizadas estas fases se realiza el proceso de evaluación de exactitud temática de los mapas generados. Una vez ejecutados los procedimientos de control de calidad, la coordinación de PDI y Control de calidad generan los productos cartográficos finales y los indicadores de resultados, al igual que las versiones preliminares de publicación y presentación de resultados para ser evaluados por el MADS y el IDEAM. Durante todo el proceso hay una persona encargada de entrenar a nuevos intérpretes y un desarrollador de software de manera transversal se encarga de mejorar y volver más eficiente cada uno de los procesos. (Tabla 8).

Tabla 8 . Actores, procesos y roles del esquema operativo para la recolección de datos, análisis y resultados de la operación estadística del Monitoreo de la superficie de bosque natural

Procesos / Roles	Actores											
	Coordinador PDI		Control de calidad		Intérpretes		Estructurador		Desarrollador		Capacitador	
	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos	Interpretación/ verificación	Mejoramiento de procesos
Selección y descarga de imágenes de satélite	R	R	R	R	E	R	A	A		E	A	A
Pre-procesamiento imágenes de satélite	R	R	R	R	E	R				E	A	A
Procesamiento para la detección de cambios	R	R	R	R	E	R				E	A	A
Control de calidad a los resultados generados por los intérpretes	R	R	E	E						E	A	A
Generación de productos e indicadores	E	E	E	E	A	A	A	A	A	A	A	A
Publicación y presentación oficial de los resultados	E		A		A		A					
Estructuración de la información	R	R	R	R	E	E	E	E		A		
Entrenamiento	R	R	A	A	A	A					E	E
	A Apoyo				R Responsabilidad				E Ejecución			

b. Métodos y mecanismos para la recolección

Los datos para determinar los cambios de bosque no bosque se derivan de la información espectral de las imágenes de satélite Landsat disponibles para cada periodo de referencia y que provienen de los sensores 5TM (1984-2013), 7ETM+ (1999-2013) y 8OLI (2013 en adelante). Los procesos indicados

se realizan para las imágenes disponibles en periodos que van desde el 1 de enero al 31 de diciembre de cada año del periodo de análisis, en periodos multianuales se aplica al año inicial y final, así por ejemplo, para el periodo 2010-2012 se realiza para las imágenes del año 2010 y el año 2012. Para los monitoreos anuales, se aplica a las imágenes del año respectivo. A continuación se describe brevemente el procedimiento de recolección de la información:

Descarga de la información:

Las imágenes Landsat son descargadas del servidor que contiene la arquitectura de procesamiento del Earth Resources Observation and Science Center - EROS del Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS (<https://espa.cr.usgs.gov/>). En el aplicativo de consulta de dicho servidor y para cada escena se seleccionan todas las imágenes con nubosidad menor al 90% con fecha de toma entre el 1 de enero y 31 de diciembre del año en el que se identificará el cambio de la cobertura de Bosque. Se descarga el producto correspondiente a la superficie de reflectancia con el mejor nivel de procesamiento disponible, esto es Colección 1, categoría T1 de ser posible, las cuales se encuentran calibradas geométricamente y radiométricamente por el USGS para ser utilizadas en análisis de series de tiempo). Cada intérprete almacena y prepara las imágenes en las carpetas asignadas en el servidor de procesamiento.

Pre-procesamiento

Esta etapa incluye el procesamiento de las imágenes eliminando las áreas de nubes y mejorando la calidad radiométrica para facilitar la identificación de los cambios de bosque.

- 1. Apilamiento de las bandas:** Los datos descargados incluyen cada una de las bandas espectrales del sensor correspondiente (5TM, 7ETM+ u 8OLI) en archivos separados, por lo cual es necesario reconstruir cada imagen mediante la unión de todas las bandas en un solo archivo, empleando principalmente las bandas correspondientes a las longitudes de onda del rojo, infrarojo cercano (NIR) e infrarojos de onda corta (SWIR1 y SWIR2), las cuales resultan útiles para la identificación de cambios en la vegetación. Para automatizar el proceso se cuenta con scripts programados en python.
- 2. Corrección geométrica:** Es indispensable tener un co-registro exacto a nivel de pixel entre todas las imágenes, esto es, que cada uno de los píxeles de cada escena tenga una coincidencia y ajuste exacto entre las diferentes imágenes del mismo periodo y entre los diferentes periodos para garantizar que corresponde a la misma unidad de observación. Los productos Landsat suministrados por el Earth Resources Observation and Science Center (EROS) suelen tener una correspondencia exacta de los píxeles, sin embargo, antes de realizar la interpretación se realiza una revisión de cada imagen y se ajustan aquellas que no cumplan esta condición.
- 3. Enmascaramiento:** Las imágenes de superficie de reflectancia son depuradas de tal forma que cada escena conserve únicamente los píxeles que contienen información de la cobertura de la Tierra, eliminando aquellos que corresponden a nubes, brumas, sombra o bandeamiento (franjas sistemáticas sin información de las imágenes tomadas por el sensor Landsat 7, tomadas entre 2007 y 2011). Para optimizar la eliminación de estos píxeles se cuenta con una herramienta de

desarrollo propio del SMByC, implementada en QGIS (Qgis Plugin CloudMasking <https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/cloudmasking/>).

4. **Normalización:** Se realiza un proceso de normalización radiométrica relativa de las imágenes en el cual se ajustan los valores radiométricos de forma que se reduzca la variabilidad entre las imágenes debidas a diferencias atmosféricas, de iluminación, calibración del sensor, distorsiones geométricas, entre otras, permitiendo así que las imágenes de los diferentes años sean comparables y los cambios detectados no se deban a este tipo de factores (Olthof *et al.*, 2005; Potapov *et al.*, 2012). Para realizar esta corrección se parte de la asunción de que las radianzas medidas en el sensor y durante diferentes periodos para áreas con reflectancia constante se pueden aproximar por funciones lineales. De acuerdo a esto, el procedimiento de normalización utilizado corresponde a la Alteración de la Detección Multivariante e interactiva -iMAD (Canty *et al.*, 2008) en donde a través de transformaciones lineales de los datos originales se maximiza la correlación entre la imágenes base con las imágenes a normalizar. Para ejecutar este procedimiento se cuenta con scripts en Python (ARRNorm - <https://bitbucket.org/smbyc/arrnorm>).
5. **Construcción del compuesto de la mediana para Colombia.** En este proceso se emplean todas las imágenes disponibles para Colombia del año correspondiente, de tal forma que para cada unidad de observación (pixel) se tiene una serie de tiempo anual con todos los datos de superficie de reflectancia válidos para ese año. Posteriormente, y tomando como insumo dicha serie de tiempo, para cada pixel se obtienen diferentes estadísticas que resumen la tendencia central o la variabilidad de esa serie de tiempo de manera anual o intra-anual. La principal métrica generada es la mediana anual de cada banda espectral, estadístico que ha mostrado buenos resultados para la detección de cambios; de esta forma para cada unidad de observación se obtiene un único valor radiométrico de superficie de reflectancia anual en cada una de las bandas radiométricas (Figura 12). La construcción de este mosaico de mediana tiene dos objetivos principales:
 - Control de cobertura: Al incluir todas las escenas disponibles de cada año (aunque tengan un área muy reducida de información) se garantiza el mayor cubrimiento posible del marco estadístico definido disminuyendo al mínimo la pérdida de información, ya que cada una de las unidades de observación que tengan información (valor de reflectancia) deberán ser interpretadas y clasificadas.
 - El valor de la mediana permite disminuir los efectos por cambios estacionales en los bosques que podrían confundirse con pérdidas o ganancias.

Aunque la mediana es el principal estadístico obtenido, también se realizan mosaicos de otros estadísticos (valor de la última fecha disponible, valor máximo, mínimo, valor de la mediana del último trimestre, conteo de valores válidos para cada unidad de observación, entre otros) que sirven de apoyo en la detección de cambios. La construcción de estos compuestos para todo el país se realiza mediante herramientas propias desarrolladas en lenguaje de programación Python (<https://smbyc.bitbucket.io/stackcomposed/>).

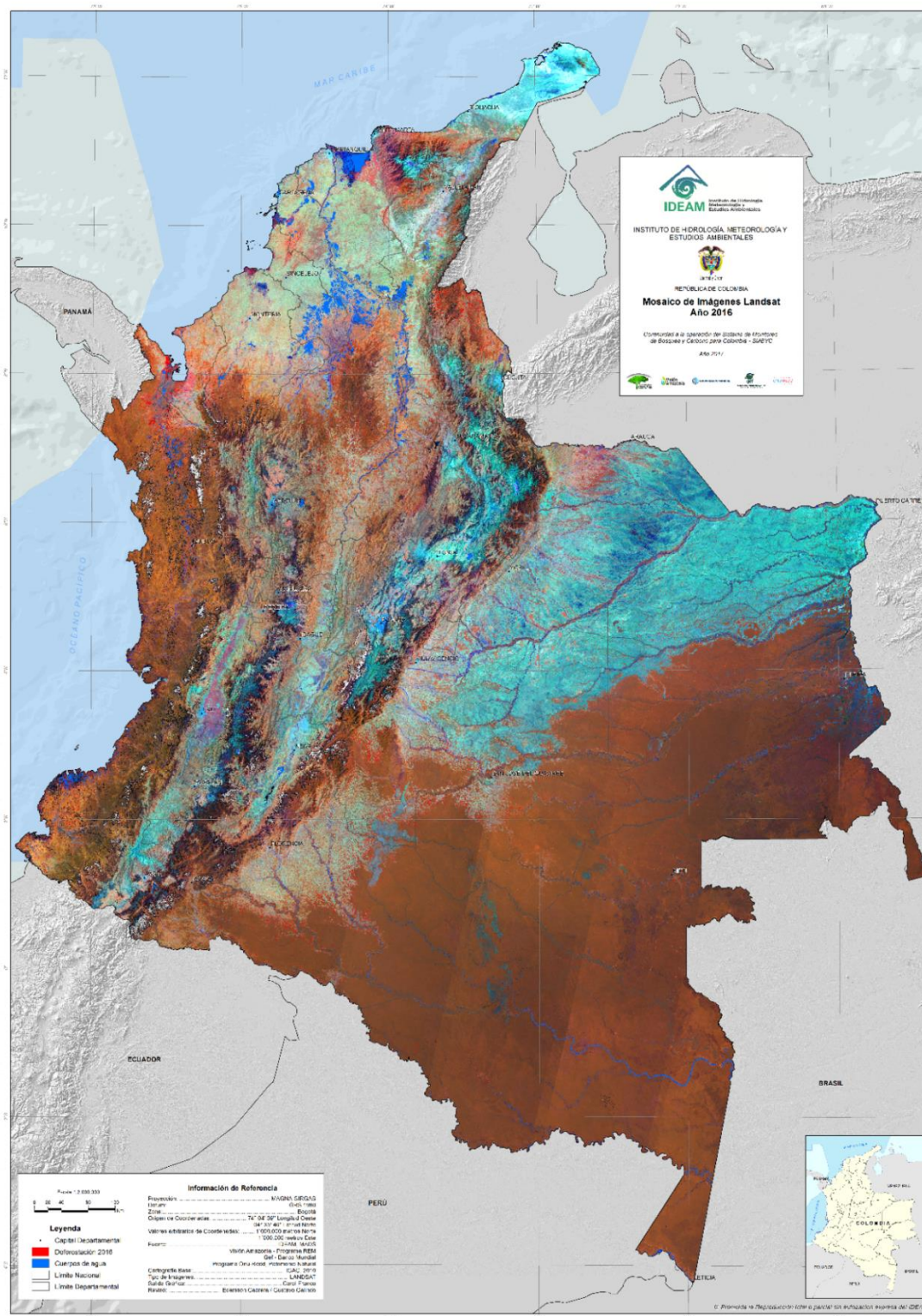


Figura 12. Mosaico de la mediana de la superficie de reflectancia 2016, obtenido mediante el pre-procesamiento de las imágenes LANDSAT 7 ETM y LANDSAT 8 OLI d el 1 de enero de 2016 al 31 de diciembre de este año, de acuerdo a la metodología definida.

Procesamiento

En esta etapa se identifican los cambios del bosque a partir de los valores de superficie de reflectancia empleando un proceso semi-automatizado.

Detección directa de cambios: Se realiza comparando las cuatro bandas de los compuestos de la mediana del año de interés con los del año anterior, identificando cambios en los valores de la superficie de reflectancia de cada unidad de observación que puedan corresponder a un cambio asociado con una pérdida o ganancia de bosque (para los periodos de más de un año se compara el año inicial con el final).

Como procedimiento inicial para realizar la detección de cambios, se utiliza un Análisis de Componentes Principales (PCA) en una matriz de correlación. Con este procedimiento se ayuda a discriminar aún más las diferencias debidas a iluminación, calibración del sensor o condiciones atmosféricas de las diferencias asociadas a los cambios de cobertura (Collins & Woodcock, 1996). Las variables que se incluyen son las cuatro bandas de la mediana (banda roja, banda del Infrarrojo cercano y las dos bandas del Infrarrojo medio) de cada uno de los periodos de análisis. Se utiliza una matriz de correlación para estandarizar los datos, ya que las ocho bandas se encuentran correlacionadas entre sí y además están en una escala y en un rango de valores diferente; Utilizando este algoritmo, se transforman las bandas espectrales de la mediana anual en nuevos componentes que no están correlacionados y que además, separan los valores de la imagen en porciones relacionadas con su variabilidad intrínseca o con el cambio: Usualmente los primeros componentes, donde se concentra la mayoría de la variabilidad en las imágenes originales, representan factores ligados a la variación individual de la imagen tal como el brillo/humedad; en el resto de componentes se acentúan los cambios de la vegetación. Cada intérprete identifica los componentes en donde se están identificando los cambios asociados a deforestación y establece los umbrales para tener una versión inicial de píxeles con detección de cambios vs píxeles donde no se detectó cambio.

Verificación de los cambios detectados

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

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

Teniendo en cuenta que los resultados al aplicar el algoritmo de detección de cambios PCA generan falsas detecciones y que por definición este no es un proceso libre de sesgos, el resultado es sometido a varios procesos de crítica por parte de los intérpretes y de control de calidad para identificar las unidades de observación (píxeles) con falsas detecciones, asignándoles el valor de la clase que realmente les corresponde. La primera parte de este proceso se realiza mediante procesos de revisión visual, en donde los intérpretes se apoyan en los diferentes compuestos agregados de las imágenes

base de la serie de tiempo para ajustar los resultados generados por PCA en las unidades de observación. Como ya se ha mencionado anteriormente, la utilización de compuestos de mediana de todos los píxeles válidos permite mejorar los índices de cobertura y reducir los errores asociados a variaciones fenológicas o radiométricas de las imágenes, pero al ser un compuesto de tendencia central, puede que no se detecten correctamente los cambios ocurridos durante los últimos meses del año. Para corregir eso, cada intérprete se apoya en: i) las últimas imágenes de cada año de referencia; ii) los compuestos de imágenes que resumen el valor del píxel para la última fecha de observación válida en el año de referencia y; iii) los compuestos con la mediana de los valores válidos del último trimestre del año de referencia. Con estos tres insumos cada intérprete completa y ajusta los cambios detectados de manera visual y el resultado es sometido a control de calidad, que realiza una evaluación de estos resultados y si es el caso, los devuelve al intérprete para que los corrija.

Construcción de los mapas finales

Una vez cada intérprete termina el proceso de verificación y clasificación del mapa de detección de cambios de bosque/no bosque, la parte que interpretó es sometida a otro proceso de crítica y verificación por parte de intérpretes diferentes hasta obtener una versión final satisfactoria de acuerdo a control de calidad (*Ver sección 2.5 Diseño de métodos y mecanismos para el control de calidad*). Las versiones finales de cada escena son integradas en un único mapa de cambio de bosque que cubre la superficie continental e insular de San Andrés y Providencia. El mapa final se encuentra con el Sistema de Proyección oficial de Colombia MAGNA SIRGAS con origen Bogotá (EPSG: 3116).

2.4 Diseño de sistemas

El modelo de datos que se implementa es un modelo de datos geoespacial raster, en donde los objetos representados se organizan en filas y columnas formando una rejilla regular y rectangular (CP-IDEA, 2013). Cada celda de la rejilla (píxel) tiene información de coordenadas de localización de su centroide almacenados de manera **implícita** y única (de acuerdo al orden que ocupa en la rejilla) y también se almacena un único valor temático asociado a este píxel. Es decir, el modelo de datos raster está compuesto por los 1.227'044.513 píxeles (registros) con resolución espacial de (30.72 X, 30,26 Y) metros que conforman la superficie del territorio colombiano desde las coordenadas Este =161648 m y Norte= 1986579 hasta las coordenadas Este= 1828474 y Norte= 18401 en el Sistema de proyección Transverse Mercator, Datum Magna -3116.

No es práctico ni fácil realizar una re-estructuración de una base de datos que almacene todos y cada uno de estos registros de una forma distinta al modelo de datos geoespacial raster, por eso la gestión de los datos se hace en unidades de reporte agregadas, pero los datos raster base están disponible para descarga en la página web del SMByC del IDEAM (<http://smbyc.ideam.gov.co/>).

En el Anexo 3 se incluye el modelo “entidad relación” o modelo de datos, relacionado con la implementación de los reportes de la operación de monitoreo de la superficie de bosque

natural. También se incluyen los mecanismos de seguridad y respaldos implementados por el IDEAM para garantizar la recuperación y la integridad de la base de datos.

2.4.1 Software

Para la implementación de la operación estadística se cuenta con diversos recursos informáticos para el desarrollo del proceso (Tabla 9).

Tabla 9. Programas y desarrollos informáticos utilizados en las diferentes etapas de la operación estadística

Programa	Propietario	Procesos en los que se emplea
ERDAS Imagine	Hexagon. Software propietario	Visualización de imágenes, ajustes geométrico para el corregistro, detección de cambios, revisión de cambios, Reproyección de mapas en el sistema oficial Magna Sirgas (EPSG:3116)
QGIS	Software libre	Herramientas de enmascaramiento, y control de calidad
Códigos de algoritmos en lenguaje Python y r	Desarrollo propio	Unión de bandas, normalización radiométrica, construcción de compuestos de mediana y otros estadísticos, asignación de nombres a los archivos. Disponible en: https://bitbucket.org/smbyc/
ArcGis	ESRI. Software propietario	Generación de áreas para indicadores y salidas cartográficas
MySQL	Software Libre	Base de datos
ERDAS Apollo	Hexagon. Software propietario	Plataforma para poner los microdatos a disposición del público en la web.
Excel	Microsoft	Cálculo y reporte de los indicadores de la operación estadística
Oracle	Sun Microsystems	Almacenamiento y consulta de Bases de Datos

2.5 Diseño de métodos y mecanismos para control de calidad

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

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

El seguimiento de estas fases de recolección de los datos se realiza mediante el *Formato de Inventario de imágenes adquiridas y pre-procesamiento* (Anexo 2). Como la descarga, pre-procesamiento y procesamiento de las imágenes son asignadas a los intérpretes por escenas (Figura 11), cada interprete reporta periódicamente las tareas realizadas para cada una de las escenas que tiene a su cargo. Esto permite monitorear constantemente el avance de todo el proceso, y, si es el caso, detectar las tareas que requieren más tiempo del estimado, con el objeto de tomar las medidas necesarias para generar el resultado oportunamente.

A medida que el intérprete reporta la descarga y la generación de cada uno de los productos intermedios, se llevan a cabo los procesos de revisión por parte del profesional de control de calidad, de acuerdo con las reglas de validación establecidas para cada etapa o fase (Tabla 3); en caso de presentarse inconsistencias o errores, el intérprete realiza los ajustes necesarios hasta cumplir con los requerimientos de calidad. Durante este proceso y de acuerdo con las reglas de validación se garantiza que:

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

Cuando cada una de las escenas es revisada y aprobada, se construye el compuesto de la mediana y de las demás métricas o estadísticas para todo el país (Figura 12). Este compuesto también es revisado de acuerdo con las reglas de validación establecidas (Tabla 3).

b. Control de calidad en la fase de Procesamiento

El seguimiento de los avances de esta etapa se realiza a través del *Formato de control de procesos* (Anexo 2) en el que los intérpretes indican los avances en la generación de productos intermedios (capas de análisis de componentes principales y versiones del mapa de cambio de bosque). En este mismo formato, el profesional de control de calidad indica a los intérpretes los resultados y observaciones de la revisión de los mapas de cambio de bosque por escena.

De acuerdo con la metodología de recolección de datos (*sección 2.3.4*), luego de que el intérprete realiza una crítica y validación con criterio de experto de los resultados del análisis de componentes principales mediante verificación con la fuente (“revisita” a las imágenes de satélite), se genera una primera versión del mapa de cambio de bosque para cada escena, mapa que es revisado de acuerdo con las reglas de validación definidas (Tabla 3) y al cual se le aplica un proceso de control de calidad temático por escena.

Control de calidad temático del mapa de cambio de bosque por escena

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

Para la verificación del Mapa se realizan los siguientes pasos: i) muestreo aleatorio estratificado para las clases del mapa de cambio (sin incluir la clase “Sin Información”), en el que se define el tamaño de la muestra para un error estándar esperado general de clasificación de 0.025, asignando el mismo número de puntos a cada clase. ii) Sin observar el resultado del intérprete, cada uno de estos puntos del muestreo es clasificado por el control de calidad, empleando los compuestos de mediana, última fecha, y mediana del último trimestre, entre otros. iii) Con este resultado se construye una matriz de confusión o matriz de error en la que se registran las coincidencias y discrepancias entre las clases asignadas por el intérprete y por el control de calidad para cada punto (Tabla 10). iv) A partir de este resultado y siguiendo la propuesta de Olofsson *et al.* (2013, 2014), se calculan los porcentajes de exactitud total del mapa observado, exactitud de productor y exactitud de usuario de las clases de cambio.

Tabla 10. Ejemplo de una matriz de error a partir de los resultados de interpretación de 146 puntos para tres clases del mapa de cambio de bosque: Bosque estable (BE), Deforestación (D) y No bosque estable (NEB). La diagonal corresponde a las clasificaciones coincidentes, mientras que las demás a las discrepancias. Abajo se presentan los resultados correspondientes para los tres indicadores definidos

Clases		Validado por control de calidad (clase de referencia)			
Clase del Mapa cambio intérprete		BE	D	NBE	Total
	BE	44	1	4	49
	D	1	42	4	47
	NBE	0	0	50	50
	Total	45	43	58	146

Exactitud Promedio total: 91,3%

Exactitud de Usuario Clase deforestación: 84%

Exactitud de Productor Clase Deforestación: 97,7%

La exactitud temática a nivel cartográfico es definida como el grado en el cual el mapa producido concuerda con la referencia usada para la clasificación. El mapa de cambio de bosque es aceptado si presenta una exactitud total observada >98% y una exactitud de productor y usuario de las clases de cambio >95%. Si los porcentajes de exactitud son inferiores, el intérprete revisa nuevamente la capa, hasta cumplir con los criterios de calidad (ver sección 2.5.1 *Indicadores de calidad*). En el ejemplo de la Tabla 10 no se cumpliría con estos valores mínimos y el producto debería ser revisado.

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

c. Control de calidad del Mapa de cambio de bosque nacional

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

Completitud del marco censal definido: De acuerdo con la regla de validación (Tabla 3) se verifica que el 100% de las unidades de observación estén incluidas en el mapa.

Área mínima de 1 ha: La definición de bosque adoptada por el SMByC incluye el criterio de área mínima de 1 ha y, acorde con ello, se define esta área como la mínima cartografiable para todo el mapa. De esta forma, cualquier combinación de píxeles contiguos de la misma clase o categoría (laterales o diagonales) que en conjunto ocupen una superficie menor a 1 ha, se consideran inconsistentes y deberán ser recodificados. Esta recodificación se realiza mediante una técnica de imputación de vecindad, tal como se especifica en la *sección 2.1.7 Normas, especificaciones o reglas de validación, consistencia e Imputación*.

Ajuste de consistencia de la serie histórica: La operación estadística hace parte de un sistema de monitoreo, razón por la cual es necesario verificar la consistencia de la serie de tiempo para las variables “cobertura de bosque natural” y “cambios de la cobertura de bosque natural”. Este análisis permite imputar valores para unidades de observación clasificados como “Sin información” en periodos anteriores de la serie histórica y ajustar las inconsistencias temáticas a partir de la información de los periodos de monitoreo anteriores (*Ver sección 2.1.7 Normas, especificaciones o reglas de validación, consistencia e Imputación*).

2.5.1 Indicadores de calidad

Cálculos de rendimientos

El rendimiento de cada intérprete en la generación del mapa de cambio por escena se mide como el total de semanas transcurridas entre la fecha de entrega del resultado inicial de control de calidad y la fecha de entrega de la versión final del mapa de cambio aprobado.

Porcentaje de exactitud temática

Como se menciona en esta misma sección, para determinar si un mapa de cambio por escena cumple con los criterios de calidad se calculan tres indicadores de acuerdo con Olofsson *et al.* 2013, 2014):

Para calcular estos indicadores se construye la matriz de error convencional (e.g. Tabla 10), mediante el conteo del número de elementos n_{ij} clasificados en la categoría i en el mapa de cambio del intérprete y en la clase j según la interpretación de control de calidad (clasificación de referencia). Posteriormente se construye una matriz de error con valores de proporciones ajustadas al área p_{ij} , utilizando el valor de la proporción de superficie de cada clase del mapa de cambio del intérprete i (W_i), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$p_{ij} = W_i * \frac{n_{ij}}{n_{i.}} \quad [\text{Ec. 1}]$$

- **Exactitud total observada O :** Es definida como el grado en el cual el mapa producido concuerda con una clasificación de referencia (Olofsson *et al.* 2013). Para la operación

estadística se determina que el valor mínimo del indicador para ser aprobado por control de calidad es de 98% y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$O = \sum p_{jj}. \quad [\text{Ec. 2}]$$

- **Exactitud de productor para las clases de cambio P_j** : Proporción del área que pertenece a una categoría en el terreno (clasificación de referencia) y que fue cartografiada en dicha categoría en el mapa. Proporciona al productor la probabilidad condicional de que un cambio de cobertura real ocurrido en el terreno, aparezca como un cambio de cobertura en el mapa; es complementaria de la probabilidad de error por omisión para las clases de cambio (Olofsson et al. 2013). El valor mínimo de calidad establecido en la Operación estadística para las clases de cambio es de 95% y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_j = \frac{p_{jj}}{p_{.j}} \quad [\text{Ec. 3}]$$

- **Exactitud de usuario para las clases de cambio U_i** : Proporción del área cartografiada como una categoría que en realidad corresponde a esta categoría en el terreno (clasificación de referencia). En los mapas de cambio, proporciona al usuario la probabilidad condicional de que, al localizar un punto o área particular clasificada como un cambio de cobertura en el mapa, corresponda a un cambio de cobertura que ocurrió realmente en el terreno. Es complementaria de la probabilidad de error de comisión (Olofsson et al. 2013). Al igual que el anterior, el valor mínimo de calidad establecido en la Operación estadística para las clases de cambio es de 95% y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$U_i = \frac{p_{ii}}{p_{i.}} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Cobertura por no respuesta total

El indicador de cobertura por no respuesta se mide como el porcentaje de unidades de observación sin información respecto al total de unidades del marco estadístico. Cuando un departamento o corporación autónoma regional tiene un porcentaje de cobertura por no respuesta superior al 10% no se reportan los datos e indicadores.

2.6 Diseño de pruebas piloto

La metodología de detección de cambio implementada en el primer protocolo de procesamiento Digital de Imágenes para la cuantificación de la deforestación (Cabrera *et al.*, 2011) tenía un enfoque

de comparación post-clasificación, es decir, se clasifican los mapas de bosque de manera separada para dos fechas y posteriormente se cruzan entre sí para identificar los cambios en la cobertura de bosque, allí donde los mapas presentan diferencias entre sí. Este tipo de aproximación, aunque fue pertinente como punto de partida del monitoreo de los bosques, suele tener una exactitud temática media, ya que los errores del mapa de cambio son la multiplicación de los errores de cada uno de los mapas iniciales.

Conociendo que los métodos de detección de cambio directos suelen tener menor incertidumbre, se realizó una prueba piloto en un área de interés donde se tuviese control de los datos y de los insumos para su validación. En esta prueba se evaluaron diferentes métodos *directos* de detección de cambio: Análisis de Mixtura Espectral multitemporal (e.g. Claslite, ImgTools), Análisis de Componentes Principales -PCA (Lillesand *et al.*, 2008), Análisis de Cambios Vectoriales -CVA (Malila, 1980) y detección de cambios orientada a objetos. Como insumos para todas las pruebas se utilizaron imágenes Landsat de las mismas fechas y los resultados fueron evaluados calculando la exactitud temática de cada método, comparándolos con los resultados de la metodología post-clasificación que se venía utilizando. La validación se realizó a partir de un mismo muestreo sistemático, usando como datos de referencia imágenes de mayor resolución (RapidEye). Los resultados temáticos de los diferentes métodos se evaluaron a través de matrices de error, a la vez que se analizaron los tiempos de recolección y preparación, capacidades de procesamiento necesarias para su implementación, transparencia en los métodos y operatividad de los procesos.

Con estas pruebas se identificó que: i) PCA era un método sencillo de implementar, que podía ser ejecutado en casi cualquier software y que genera buenos resultados para la detección de cambios asociados a deforestación; ii) los procesos de interpretación que hacían uso de todo el conjunto de datos Landsat eran más eficientes en cobertura y en exactitud a los que usaban unas cuantas imágenes por periodo. Complementando lo anterior, la metodología establecida para el proceso de detección de Alertas Tempranas de Deforestación que se realiza con imágenes MODIS ya había permitido concluir que sí se realiza una selección de píxeles correctos para los datos espectrales de una serie de imágenes en un periodo de tiempo específico, y esta selección se agrega en un compuesto temporal representado en un valor de tendencia central (mediana), este compuesto facilita la detección de los cambios, logra mejorar los índices de cobertura y disminuye los tiempos de procesamiento. Partiendo de estos resultados se llevaron a cabo nuevas pruebas piloto en la que los intérpretes detectaron cambios asociados a deforestación a través de PCA, usando compuestos de medianas anuales Landsat a los que se les aplica un pre-procesamiento cada vez más riguroso. Los resultados consolidados de todas estas pruebas permitieron establecer la metodología consignada en la segunda versión del Protocolo de Procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la Deforestación (Galindo *et al.*, 2014).

Aunque la producción de los datos del monitoreo del bosque natural es un proceso operativo, se nutre permanentemente con actividades de investigación que permitan la mejora continua en todas las etapas. Para lograr este objetivo, antes de adoptar alguna modificación en los métodos establecidos, el SMByC realiza las pruebas piloto necesarias para evaluar si el cambio garantiza una mejora en la calidad de los datos, aumento de productividad, disminución en tiempos, etc. Por esta razón, se procura que los intérpretes tengan a cargo actividades de evaluación de metodologías o conjuntos de

datos diferentes a las imágenes usadas regularmente. Igualmente, se revisan constantemente los procesos contruidos por otros grupos nacionales e internacionales para el monitoreo de las coberturas de la tierra, realizando pruebas de las metodologías que se consideran pertinentes y evaluando en cada caso las capacidades de procesamiento, los tiempos de recolección y la operatividad de la implementación de dichos procesos. Es así que el SMByC ha llevado a cabo pruebas piloto para el uso de imágenes SAR, datos Lidar, imágenes de muy alta resolución, así como la evaluación de diferentes métodos de procesamiento de imágenes y de análisis de los resultados.

2.7 Diseño del análisis de resultados

2.7.1 Análisis estadístico

Una vez generados los mapas anuales de *cambio en la superficie de bosque* y de *Bosque/no Bosque*, se realiza un proceso de evaluación de exactitud temática de las variables *Bosque Estable*, *No bosque estable*, y *deforestación*, a partir de un análisis estadístico con el que se reportan medidas de exactitud temática de las cifras oficiales generadas. En línea con las recomendaciones del documento de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques (GFOI, por sus siglas en inglés⁶), este procedimiento satisface dos criterios: i) evitar subestimar o sobreestimar los cambios, en la medida en que pueda juzgarse, y ii) Reducir la incertidumbre en la medida de lo posible (Penman *et al.* 2003),.

El procedimiento se lleva a cabo siguiendo las recomendaciones establecidas en el ***Outline paper I: Reporting on emission reductions relative to the reference level***. Se incorporan también los lineamientos de Olofsson *et al.* (2014); Stehman (2012) e IPCC (1996), lo que permite tener en cuenta estándares internacionales que consideren las capacidades nacionales. De acuerdo con estas propuestas se generan medidas de: i) Exactitud global del mapa, ii) Exactitud de usuario (asociada a errores de comisión) y iii) exactitud de productor (asociada a errores de omisión). Igualmente, la validación temática permite calcular áreas ajustadas para cada clase según los resultados de exactitud, junto con la incertidumbre de los estimadores.

La evaluación temática incluye los siguientes pasos: i) diseño e implementación de un muestreo aleatorio, proporcional al área cubierta por cada clase; ii) interpretación visual de las muestras, realizada paralelamente por un número impar de intérpretes; y iii) validación mediante la construcción de una matriz de error, cálculo de exactitudes temáticas y de áreas ajustadas para cada clase/estrato, con la incertidumbre asociada (expresada como intervalos de confianza). Para implementar estos pasos se utiliza la aplicación AcATaMa para QGis (<https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/acetama/>), desarrollada por el equipo del SMByC y en la cual se encuentran incorporadas las fórmulas y lineamientos de Olofsson *et al.* (2013, 2014) para generar los muestreos, clasificar las muestras revisando simultáneamente las imágenes de la fecha inicial y final del cambio y calcular las medidas de exactitud temática y áreas ajustadas de las clases del mapa de cambio evaluado.

El proceso se desarrolla por un equipo de cuatro (4) expertos del grupo de intérpretes del IDEAM bajo la siguiente estructura:

- Un líder de la evaluación, quien se encarga 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) profesionales con amplia experiencia en interpretación visual y digital, y entrenados para aplicar el concepto de Cobertura boscosa en imágenes ópticas de media resolución.

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

a. Diseño de muestreo

En términos generales, para la evaluación de la exactitud temática de los mapas de cambio de cobertura de la tierra se recomienda utilizar un muestreo aleatorio estratificado, en el que los estratos corresponden a las clases del mapa (Cakir *et al.* 2006; Huang *et al.* 2010; Mayaux *et al.* 2006; Olofsson *et al.* 2013; Olofsson *et al.* 2014).

Estratificación y tamaño de muestra

En la estratificación se utilizan las clases temáticas del mapa de cambio de bosque: (1) Bosque estable; (2) No bosque estable y (3) deforestación. Cada una de estas clases se subdivide de acuerdo con un *mapa de riesgo de deforestación* en el que se identifican las áreas de bajo y alto riesgo de acuerdo con las tendencias históricas de los últimos 5 años. De esta manera, se tienen 6 estratos para el muestreo y la validación del mapa de cambio de la superficie de bosque: (1) *Bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación BE-RA*, (2) *No bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación NB-RA*, (3) *deforestación en zonas de alto riesgo de deforestación DEF-RA*, (4) *Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación BE-RB*, (5) *No Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación NB-RB* y (6) *deforestación en áreas de bajo riesgo de deforestación DEF-RB*.

El tamaño de la muestra (n) se determina aplicando la ecuación de Cochran (1977) para un diseño de muestreo aleatorio estratificado; se calcula como la sumatoria de los productos de la proporción de área (W_i), asociada a cada clase/estrato i , por los errores estándar (S_i) de cada clase/estrato, sobre error estándar de la exactitud global que se desea lograr $S(o)$, elevados al cuadrado [Ec. 5]

$$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (W_i S_i)}{S_o} \right]^2 \quad [\text{Ec. 5}]$$

La proporción de área (W_i) corresponde al área que ocupa cada clase/estrato en el mapa (A_i) respecto al área total de todas las clases /estratos evaluados (A_{tot}) [Ec. 6].

$$W_i = A_i / A_{tot} \quad [\text{Ec. 6}]$$

La desviación estándar de cada estrato i (S_i) se calcula como:

$$S_i \sqrt{U_i (1 - U_i)} \quad [\text{Ec. 7}]$$

Para la desviación estándar (S_i) de los estratos de cobertura estable (BE_RB, BE-RA, NB-RB, NB-RB) que ocupan una mayor área en el mapa, se asigna un valor teórico de exactitud de usuario U_i (Ec.4) de 0,9 por considerar que estas clases suelen tener una alta exactitud; mientras que a los estratos de deforestación en áreas con alto riesgo (DEF-AR) y bajo riesgo (DEF-BR) se les asigna un valor de U_i de 0,80, puesto que el error suele ser mayor en las clases de cambio (Olofsson *et al.* 2014), tal como se ha detectado en los procesos de control de calidad históricos del SMBYC.

Una vez establecido el tamaño total de la muestra (n), se define el n_i de cada estrato, asignación que se basa en un enfoque simplificado del óptimo, en función de la proporción de área de cada estrato W_i . En este enfoque, los estratos más pequeños se ajustan minimizando el estimador de la varianza para la exactitud de usuario de esas clases/estratos, de acuerdo con las recomendaciones de Olofsson *et al.* (2014).

Datos de referencia

Siguiendo esta misma guía de buenas prácticas, se recomienda que se utilice como datos de referencia un insumo de mayor resolución o producido con mayor calidad al que se utilizó para generar los datos originales. También esta guía recomienda utilizar solo un dato de referencia y no mezclar diferentes fuentes en la evaluación (e.g. usar datos de campo e imágenes de muy alta resolución). En consonancia con esas recomendaciones, como datos de referencia se utilizan las mismas imágenes Landsat con las que se genera el dato original, pero la verificación se realiza a partir de un proceso de revisión visual de cada muestra, ya que se considera que este método es de mayor calidad que la interpretación semiautomática con la que se generó el mapa de cambio de bosque.

Implementación del muestreo

Una vez definido el tamaño de la muestra total y por estrato, se genera una capa con los puntos aleatorios que serán evaluados, aplicando una restricción de distancia mínima de separación de 500 a 1.000 metros para evitar la auto-correlación espacial y superposición entre las mismas. Igualmente, para la clasificación se asigna un orden aleatorio a los puntos, para evitar un posible sesgo que puedan cometer los intérpretes durante la verificación de la clase. La aplicación AcATaMa incorpora un algoritmo de muestreo que selecciona aleatoriamente un par de coordenadas X e Y dentro de la extensión del mapa; el punto es incluido en la muestra si cumple con los requisitos y restricciones de número de puntos por clase y distancia. Este método de aleatorización mostró mejores resultados en la generación de la muestra que otros algoritmos implementados en programas de SIG convencionales, en los cuales se observan patrones no aleatorios en los puntos.

b. Interpretación de los puntos de muestreo

En esta etapa, un equipo de tres profesionales realiza de manera independiente la interpretación visual de cada muestra, aplicando las definiciones de *Bosque* y *Deforestación* adoptadas por el SMBYC. Con la aplicación AcATaMa es posible definir una escala de referencia fija para la interpretación, visualizar simultáneamente las imágenes de referencia de las fechas inicial y final del mapa de cambio evaluado, así como seleccionar la clase correspondiente (Figura 13). La interpretación de los puntos se realiza teniendo en cuenta los 8 vecinos circundantes al pixel en el que se encuentra el punto de la muestra.

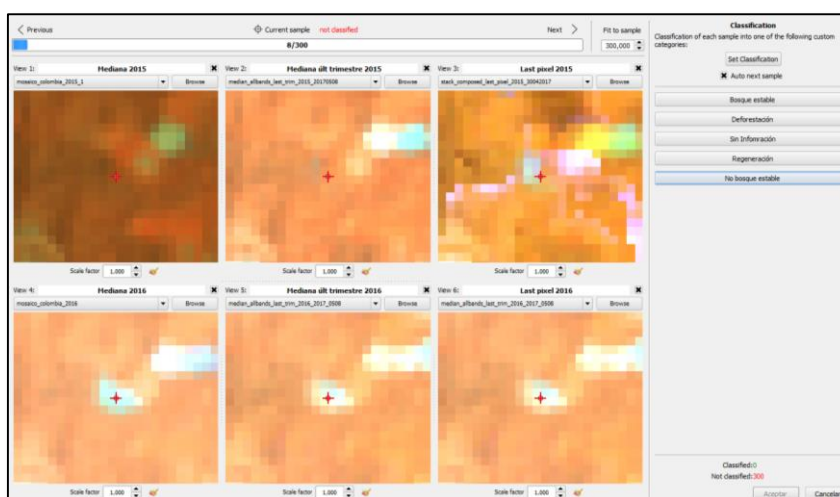


Figura 13. Clasificación de las muestras utilizando AcATaMa. Con esta aplicación es posible comparar simultáneamente las imágenes de la fecha inicial y final del mapa de cambio evaluado. En el ejemplo se observan arriba los compuestos temporales de mediana, último trimestre y último pixel del año para 2015. Abajo los mismos compuestos temporales para 2016.

La clasificación de las muestras realizada por cada uno de los intérpretes es entregada a la persona líder del proceso, quien se encarga de consolidar los resultados, verificar la interpretación y dirimir las diferencias que se puedan presentar cuando los tres intérpretes no asignan la misma clase a un punto, hasta llegar a un consenso en cada uno de los puntos interpretados. Si un punto de muestreo no tuvo respuesta, se seleccionan nuevos puntos de manera aleatoria, siguiendo los criterios de diseño e implementación de muestreo previamente definidos, hasta completar el tamaño total establecido en el diseño muestral.

c. Matriz de error e intervalos de confianza

La validación de la exactitud temática de los mapas de cambio de bosque se lleva a cabo mediante la construcción de una matriz de error o matriz de confusión a partir de las clases extraídas de los mapas para las muestras y las clases de referencia obtenidas mediante la interpretación visual de la muestra (e.g. Tabla 10); de esta matriz se deriva una nueva expresada en términos de proporciones de área

estimadas (Olofsson *et al.* 2013, 2014). Igualmente, se calculan la exactitud global del mapa (Ec. 2), exactitud de productor (Ec.3) y de usuario (Ec.4)

Las áreas de las clases del mapa de cambio son ajustadas con base en la proporción de áreas derivadas de los datos de referencia (muestras clasificadas), multiplicadas por el área total evaluada A_{Tot} . La incertidumbre de la estimación está representada por el error estándar que se utilizó para construir intervalos de confianza del 95%. (Olofsson *et al.* 2013, 2014).

2.7.2 Análisis de contexto

Una vez generados los reportes finales de la detección de cambios en la cobertura terrestre, se realiza un análisis de contexto que identifica cualitativa y/o cuantitativamente las causas y los agentes subyacentes ligados a estos cambios en las diferentes regiones del país. Este análisis en gran parte es realizado por un grupo de profesionales diferentes al que genera la detección y el reporte de cambios en los bosques naturales y la explicación de sus procedimientos va más allá del alcance de este documento.

Por otro lado, los resultados de la operación estadística la superficie de bosque natural son los insumos para los datos de actividad (área) con los cuales se generan los reportes de la clase tierras forestales en el módulo de AFOLU (Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra) del Inventario Nacional de Gases efecto Invernadero (INGEI). El último reporte presentado por Colombia (Tercera Comunicación Nacional de Cambio climático) reporta la serie de datos nacionales hasta el año 2012. Para este último periodo, el sector de AFOLU contribuyó con cerca del 62% de las emisiones nacionales totales de gases efecto invernadero y la deforestación aportó alrededor del 27% de las 258,8 Mton CO₂eq. que el país emitió (0.42% de las emisiones totales globales). Ya que en las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC) presentadas ante la CMNUCC, Colombia presentó una meta unilateral e incondicionada de reducir las emisiones de Gases efecto Invernadero en un 20% respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030, y que las emisiones por deforestación representan las subcategorías con mayores emisiones del INGEI, la generación y difusión oportuna de esta información ayuda a orientar la construcción de políticas públicas en materia de mitigación y adaptación al cambio climático que ayudan a dar cumplimiento a esta meta.

En esta línea, gran parte de lo que el país ha avanzado y planea realizar en la construcción e implementación de estrategias y mecanismos para lograr la reducción de las emisiones por deforestación y degradación se encuentra consignado en la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (ENREDD+). Como base para la construcción, implementación y seguimiento a estas estrategias, se utilizan los datos generados en esta operación estadística.

2.7.3 Comités de expertos

No aplica para esta operación estadística

2.8 Medios de difusión

Los resultados de la operación estadística se publican en medio impreso y/ y a través de la página web del IDEAM de acuerdo al cronograma de publicación de resultados. Una vez el proceso de recolección

de los datos ha finalizado; se han generado los mapas de *Bosque no Bosque* y de *Cambio en la superficie de Bosque natural* y los resultados y productos intermedios se han almacenado de acuerdo a la estructura definida, (mes de julio) comienza el proceso de difusión de los resultados de la operación estadística que debe estar finalizado para el 30 de septiembre de cada año calendario. Su ejecución comprende las siguientes actividades (Tabla 11):

- i. Actualizar los reportes de los indicadores de Proporción de la superficie de Bosque Natural, Cambio en la superficie de Bosque Natural y Tasa anual de deforestación. (<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas-recursos-forestales>).
- ii. Generar salidas gráficas, tablas de reportes y metadatos de los resultados de acuerdo a los criterios de publicación del IDEAM.
- iii. Preparar de material de apoyo para la presentación de los resultados, incluyendo un análisis de contexto que incluye un reporte de las causas y agentes subyacentes ligados a los cambios en los bosques.
- iv. Preparar los mapas y reportes en la página del SMyC del Ideam. En este portal queda disponible el microdato para descarga. (<http://smyc.ideam.gov.co/>). Los mapas se disponen en formato raster (GeoTiff) EPSG 3116, que es el formato y la proyección nativa en la que se generan los resultados.
- v. Actualizar los contenidos y los mapas en la página del SIAC (<http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Biodiversidad2/bosques/estadoCifrasBosques.xhtml?tematica=Cambio+de+superficie&anio=2016&entidad=IDEAM&instituto=IDEAM>)
- vi. Actualizar de los contenidos y mapas en el portal institucional del IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/deforestacion-colombia>
- vii. Preparar la Rueda de prensa con la presentación de los resultados.

Tabla 11. Cronograma de difusión de los resultados de la operación estadística



CRONOGRAMA DE DIFUSIÓN INFORMACIÓN MONITOREO DE BOSQUE NATURAL

SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO

		IDEAM											
ETAPA	ACTIVIDAD	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Recolección de Datos	Recolección, pre-procesamiento y Procesamiento de las imágenes de satélites para la detección de cambios en la superficie de bosque.												
	Estructuración y Organización de los productos intermedios												
	Procedimientos de verificación a la información generada a través de un proceso de control de calidad												
	Generación de los mapas de Bosque y de Cambio en la superficie de bosque a nivel nacional												
Difusión de los resultados	Generación de salidas gráficas y tablas de reportes a nivel nacional y subnacional												
	Estructuración y almacenamiento de los resultados finales												
	Preparación de material de apoyo para la presentación de los resultados y para la construcción del análisis de las causas y agentes subyacentes ligados a los cambios en los bosques												
	Actualización de los indicadores de: Proporción de la superficie de Bosque Natural, Cambio en la superficie de Bosque Natural, Tasa anual de deforestación												
	Oficialización de los datos de Cambio en la superficie de Bosque y de Bosque y de Bosque y de Bosque												
	Elaboración de las fichas de oficialización, formatos de Microdatos y preparación de los mapas en la estructura y organización predefinida												
	Publicación de los mapas y reportes en la página del SMByC (http://smbyc.ideam.gov.co/). Los mapas están disponibles para descarga y visualización.												
	Actualización de los contenidos de Superficie de Bosque y de Cambio en la Superficie de Bosque en la página de SIAC y en el portal del ideam												
	Actualización de los indicadores en el portal del ideam												
	Presentación del reporte de resultados de Proporción de la Superficie de Bosque y de Cambio en la superficie de bosque a nivel nacional y subnacional												
	División de toda la información: Mapas, salidas gráficas, microdatos a nivel subnacional e indicadores al 30 de Septiembre												
	Atención al usuario sobre solicitudes específicas de información.												

Existen requerimientos de usuarios que no necesariamente están cubiertas con la disposición de los reportes y microdatos en la página del IDEAM y del SMByC, para solventar esto una persona del SMByC dedica parte de su tiempo a atender estas solicitudes específicas (alrededor de 300 por año). Durante 2017 se empezó a implementar una encuesta de satisfacción para evaluar las respuestas a estas solicitudes y mejorar el servicio (https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSetp2wzZ50ZqjRWc2XOTVGJKXLxLJ_GHtr0-kxEcAbim2GGQA/viewform).

El público objetivo de esta operación estadística comprende principalmente a las autoridades ambientales nacionales, regionales y locales; autoridades encargadas de realizar actividades de control y vigilancia a la deforestación; otras autoridades gubernamentales; organizaciones no gubernamentales sin ánimo de lucro y la academia. Para facilitar el entendimiento de los productos y los procesos implementados se realizan jornadas de capacitación, sobre todo para funcionarios de las Corporaciones Autónomas Regionales. –hasta la fecha se ha capacitado personal de ocho CARs - y también se realizan presentaciones a nivel regional, especialmente en los principales núcleos de deforestación, y en ellas se detallan los resultados para el área de interés.

2.8.1 Productos e instrumentos de difusión

Para el sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia (SMByC) se implementó una plataforma que es una herramienta de divulgación que facilita el acceso a la información de monitoreo de bosques y carbono de una manera transparente y sencilla a los diferentes usuarios, la cual, puede ser consultada a través del enlace: <http://smbyc.ideam.gov.co> (Figura 14).

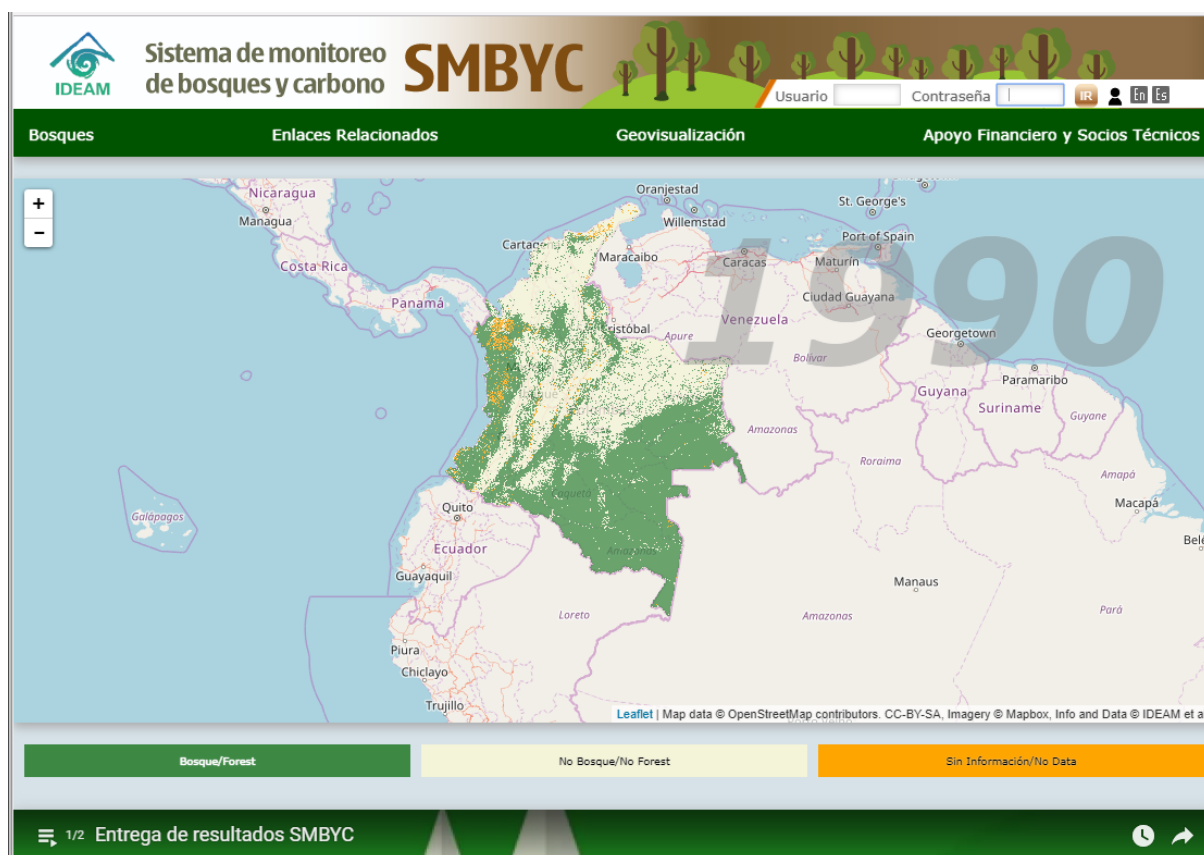


Figura 14. Portal del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia. Fuente: Elaboración Propia

Esta plataforma fue puesta en producción en el primer semestre del año 2017, sin embargo, los requerimientos funcionales y no funcionales para este desarrollo fueron levantados en el año 2013, razón por la cual, muchos de los requerimientos fueron modificados o reemplazados por otros, antes de la liberación de la plataforma en un ambiente de producción, debido a que los procesos han cambiado en los últimos años.

Se implementaron 114 requerimientos los cuales fueron divididos en 4 grupos:

- Grupo 1: Gestión de Proyectos REDD
- Grupo 2: Administración de Inventarios Forestales
- Grupo 3: Gestión de Reportes de Bosque no Bosque, Cambio de Cobertura Boscosa, Deforestación y gestión de Reportes de Inventarios Forestales
- Grupo 4: Administración de la plataforma y un gestor de servicio de catalogo

Para el manejo de usuarios se desarrolló un módulo flexible y abierto a modificaciones, implementando un manejo de actores definido en tres niveles que son:

- ROL: Agrupación de permisos o funciones otorgadas para la delimitación de un usuario registrado en el sistema.
- MODULOS: los permisos que se otorgan a los roles, se decidieron agrupar por módulos para más legibilidad

- **PERMISOS:** Es la unidad mínima o función específica determinada para la ejecución por parte de un usuario y que puede aplicarse a nivel público o privado. En este sistema se otorgan permisos de tipo privilegio para poder realizar los diferentes casos de uso. Esto se hace para cada rol. Si un usuario no pertenece al cierto rol, entonces no tendrá los permisos asociados a los módulos de dicho rol.

Para la generación de los reportes en la plataforma se implementaron 90 geoprocursos en Erdas Imagine 2015 (1), los cuales, se publicaron en el Geovisor de Apollo para SMBYC (2), estos geoprocursos generan una imagen que es el cruce de entre la capa de bosques y no bosques o la capa de cambio de cobertura boscosa y cada división territorial correspondiente (3). Con esta imagen a través del ítem generación de reportes en la plataforma (4) se generan los procesos que leen la imagen y salvan los datos en la base de datos de este modo el usuario tiene acceso a los diferentes (5) a ellos en cualquier momento (Figura 15).



Figura 15. Generación de los reportes en la plataforma de SMBYC. Fuente: Elaboración Propia

En la actualidad la plataforma del SMBYC le permite al usuario final consultar los reportes de (Figura 16.):

- Reportes de Bosque No Bosque
- Reportes de Cambio de Cobertura Boscosa
- Reportes de deforestación



Figura 16. Reportes que se pueden consultar en el SBYC. Fuente: Elaboración Propia

Estos reportes están generados por las siguientes divisiones territoriales o unidades de desagregación geográfica:

- Áreas Hidrográficas
- Regiones Naturales
- Departamentos
- CAR

El usuario final puede descargar la información a través de un archivo en Excel o PDF para los datos alfanuméricos o descargar los mapas con los cuales se generaron los reportes a través de un archivo .GeoTiff.

2.8.2 Administración del repositorio de datos.

Para el desarrollo del portal del SBYC se realizó el diseño e implementación de la base de datos que cumpliera con los requerimientos solicitados por los usuarios y los lineamientos establecidos por la Oficina de Informática del IDEAM.

La base de datos se implementó en Oracle 11g y cuenta con 95 tablas. Las cuales están divididas por la gestión de cada módulo que compone el portal como se explica a continuación:

Administración de Inventarios Forestales: La tabla maestra para este módulo es RED_PARCELAS la cual almacena la información relacionada con las parcelas, tiene correspondencia con los individuos a través de la tabla RED_INDIVIDUO, almacena la información de biomasa y carbono en la tabla RED_BIOMASAYCARBONO, para la parte geográfica gestiona los datos mediante las tablas RED_COBERTURA, RED_DEPTO_PARCELA, RED_MUNICIPIO_PARCELA Y RED_PARCELA_CORDENADAS. Por último, el contacto de la parcela es almacenado en la tabla RED_CONTACTO PARCELA. (Figura 17).

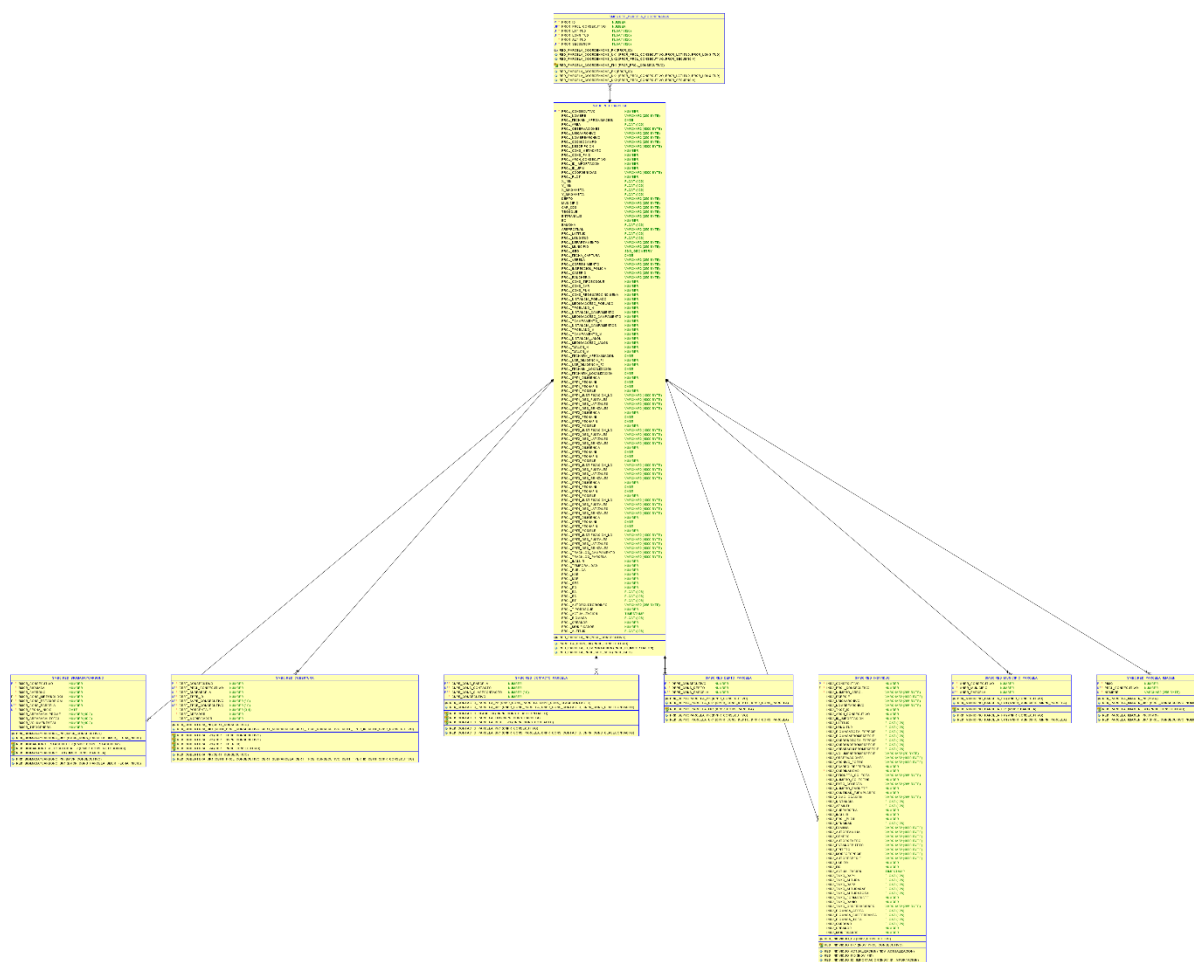


Figura 17. Vista parcial de las tablas que pertenecen al módulo de Administración de Inventarios Forestales
Fuente: Elaboración Propia

Gestión de Proyectos REDD: La tabla maestra en este módulo es RED_PROYECTO, la cual, almacena los datos básicos de los proyectos REDD, se relaciona diferentes tablas, algunas de ellas son: RED_ESTADOPROYECTO que almacena el estado de proyecto, RED_ACTIVIDADPROYECTO que salva las actividades asociadas a un proyecto específico, la parte geográfica es almacenada en las tablas RED_MUNICIPIO_PROYECTO Y RED_DEPTO_PROYECTO. La Información de la tenencia del proyecto la almacena en la tabla RED_TENENCIA_PROYECTO entre otros. (Figura 18).

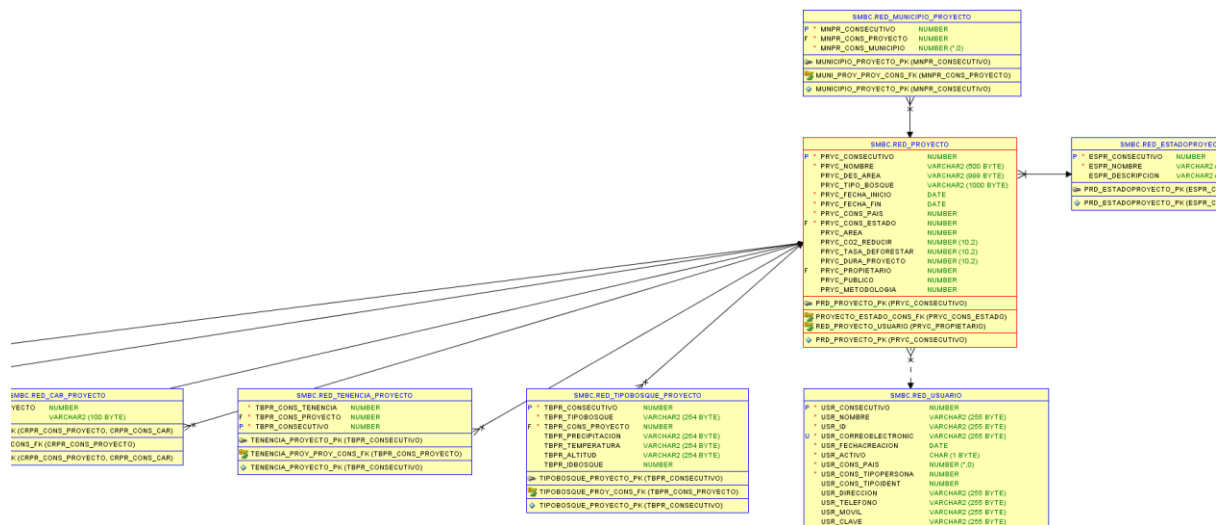


Figura 18. Vista parcial de las tablas que componen el módulo de Gestión de Proyectos REDD. Fuente: Elaboración Propia

Gestión de Reportes: La tabla maestra en este módulo es RED_REPORTES, en esta tabla se almacenan los datos básicos de los reportes que se generan a través de los geoprocursos en la plataforma del SMBYC, algunas de las tablas que tiene asociadas son el tipo de reporte RED_TIPOREPORTES que almacena los tipos como Bosque no Bosque, Cambio de Cobertura Boscosa, Deforestación, entre otros. La tabla RED_DIVISIONTERRITORIO donde se guardan las divisiones territoriales de los reportes generados las cuales son, Departamentos, CAR's, áreas hidrográficas, regiones naturales entre otros. La tabla RED_INFOREPORTES, almacena los datos que salen de la imagen generada por los geoprocursos (Figura 19).

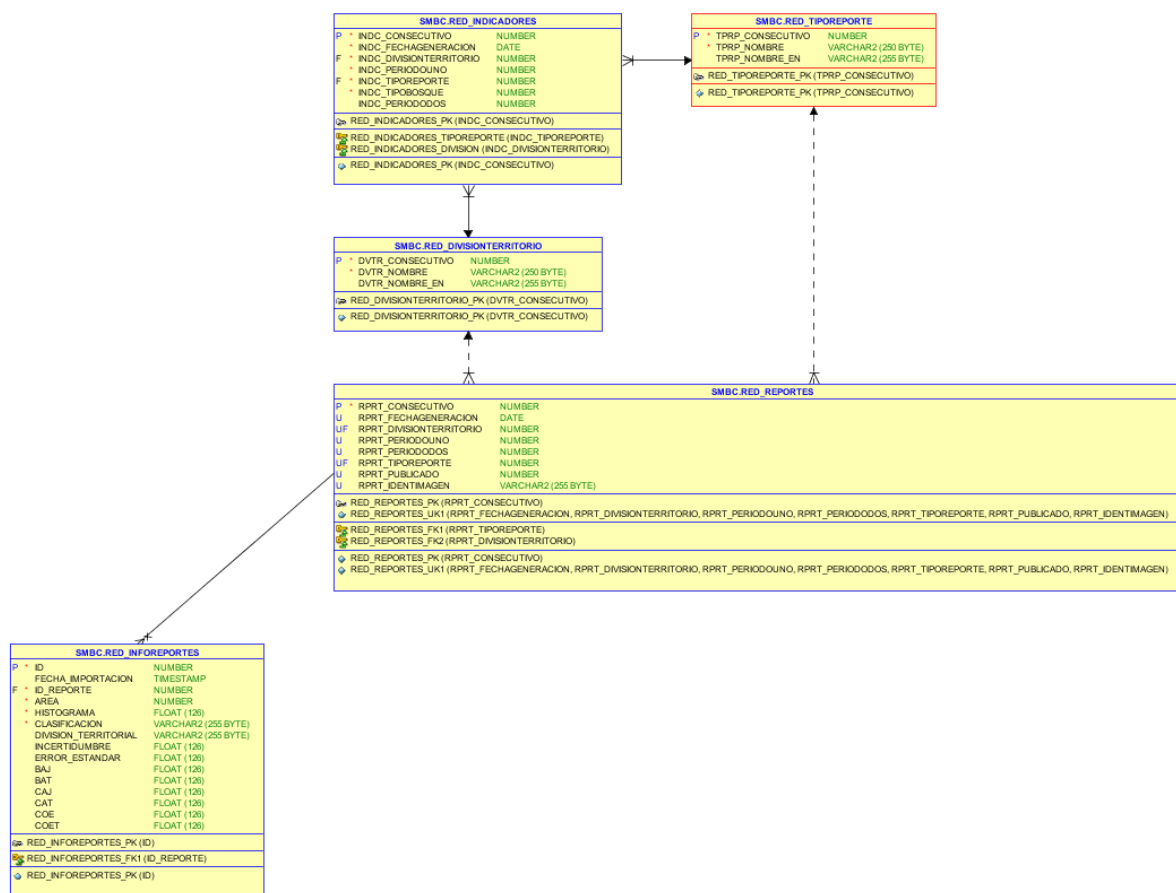


Figura 19. Tablas que componen el módulo de Reportes. Fuente: Elaboración Propia

Administración de la plataforma: Este módulo está compuesto de varias partes entre ellas se encuentra la administración de usuarios (Figura 20), la configuración del sistema a través de parámetros que pueden ser modificados mediante la interface de la plataforma, la administración de noticias y eventos, el manejo de las licencias y por último los roles, módulos y permisos que se encargan de almacenar los niveles de acceso dentro de la plataforma.

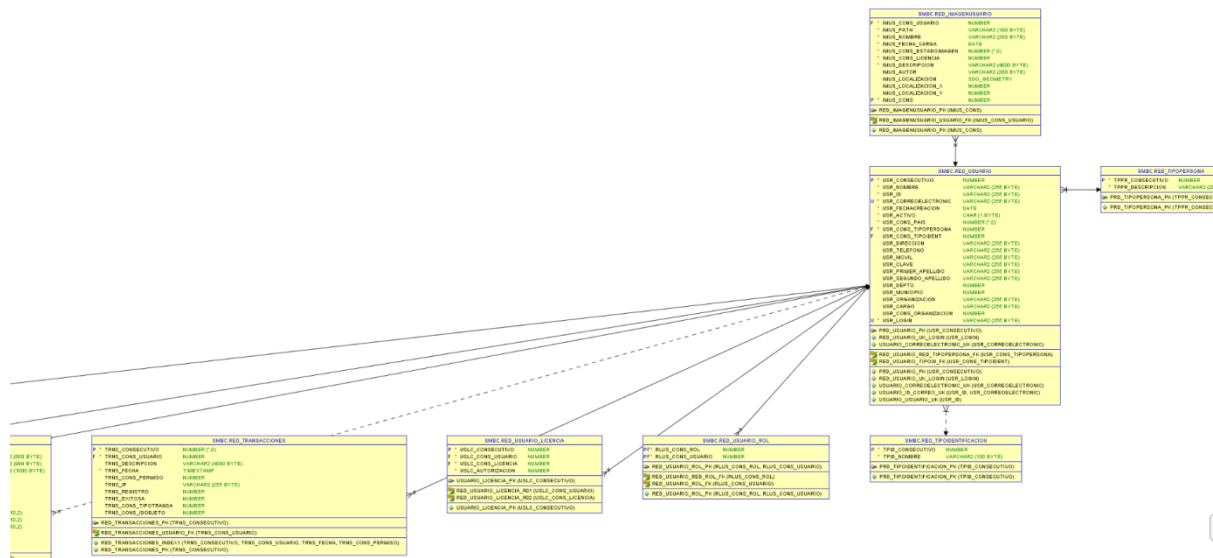


Figura 20. Vista Parcial de la administración de los Usuarios. Fuente: Elaboración Propia

Actualmente la base de datos es administrada por el área de informática del IDEAM y sigue con los estándares y lineamientos del instituto. Cumpliendo con las políticas de backup y de seguridad implementadas para todos sistemas que publican y difunden información al público en general.

GLOSARIO

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

Escena. Porción de las imágenes tomadas por el sensor delimitadas 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.

Exactitud: (Exactitud de los mapas temáticos) Es definida como el grado en el cual el mapa producido concuerda con una clasificación de referencia

Exactitud total: Proporción del área cartografiada correctamente. Provee al usuario una probabilidad de que un punto o muestra aleatoria en el mapa esté correctamente clasificada.

Exactitud de productor: Proporción del área que pertenece a una categoría en el terreno y que fue cartografiada en dicha categoría en el mapa. Es complementaria de la probabilidad de error de omisión

Exactitud de usuario: Proporción del área cartografiada como una categoría que en realidad corresponde a esta categoría en el terreno (clasificación de referencia). Es complementaria de la probabilidad de error de comisión

Firma espectral: La variación de la reflectancia en función de la longitud de onda se la denomina firma o signature espectral. La firma espectral es la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales. También se la conoce como comportamiento o respuesta espectral, concepto que incluye la variabilidad temporal de las firmas espectrales.

Formato raster. Modelo de representación de la información geográfica en el que se divide el espacio en un conjunto regular de celdas o píxeles, y en el que cada píxel contiene un valor asociado de acuerdo con la información geográfica que representa.

Formato vectorial. Modelo de representación de la información geográfica en el que los diferentes objetos se presentan como puntos, líneas o polígonos.

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 datos correspondientes a 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.

Ortorectificación. Corrección geométrica de la imagen derivada de una perspectiva convencional de imagen por rectificación diferencial o simple, para que los desplazamientos causados por la inclinación del sensor y el relieve del terreno sean removidos.

Raster: Ver Formato raster

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.

Píxel. 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; está determinada por el tamaño del pixel medio en metros sobre el terreno.

Resolución espectral. Se refiere al número y ancho de las longitudes de onda en las cuales un sensor es capaz de adquirir información, por ejemplo, longitudes visibles del azul, verde, rojo, distintas longitudes de onda de infrarrojo, etc.

Resolución radiométrica. Se refiere a la sensibilidad del sensor y se mide por la cantidad de niveles de color en que se divide la radiación recibida, para ser almacenada y procesada posteriormente. Se expresa en números de bits; por ejemplo, en una imagen de satélite de un sensor con una resolución radiométrica de 8 bits es posible dividir la radiación recibida en 256 niveles.

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.

Respuesta espectral. Ver firma espectral

Satélite. Cualquier objeto que recorre una órbita alrededor de un cuerpo celeste como la luna. El término se usa en el documento para designar las plataformas artificiales que orbitan la Tierra.

Sensor remoto. Ver teledetección

Teledetección. Técnica mediante la cual se obtienen información de la superficie de la Tierra a través de la medición y análisis de algunas propiedades de los objetos (generalmente energía electromagnética emitida o reflejada), las cuales son registradas por un equipo o dispositivo (sensor remoto) sin tener contacto físico directo con el objeto.

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.

Vector. Ver formato vectorial

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- BARTH A, WALLERMAN J., & STÅHL G. 2009. Spatially consistent nearest neighbor imputation of forest stand data. *Remote Sensing of Environment*, 113(3): 546-553. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.011>.
- BOUCHER D., ELIAS P., FAIRES J. SMITH S. 2014. Historias de éxito en torno a la deforestación. Union f Concerned Scientists.
- 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.
- CABRERA, E., VARGAS, D., GALINDO. 2011. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia: Nivel Nacional, Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá C.D., Colombia. 44 p.
- 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 de- forestación histórica nacional escalas gruesa y fina. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá C.D., Colombia. 106 p.
- 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.
- CAKIR, H. I., KHORRAM, S. & NELSON, S. A. C. 2006. Correspondence analysis for detecting land cover change. *Remote Sensing of Environment*, 102: 306–317
- CANTY, M & ALLAN. A. N. 2008. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. *Remote Sensing of Environment* 112 (3): 1025-1036
- CASTRO, L.M. & ÁVILA, D.M. Una introducción a la imputación de valores perdidos. Universidad Central de Venezuela. *Terra Nueva Etapa XXII* (31): 127-151
- CHAMBERS, J.Q., DOS SANTOS, J., RIBEIRO, R.J. & HIGUCHI, N. 2001. Tree damage, allometric relationships, and aboveground net primary production in a central Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 152: 73-84.
- CHAVE, J., CONDIT, R., AGUILAR, S., HERNANDEZ, A., LAO, S. & PEREZ, R. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions Royal Society B* 359: 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.
- COLLINS, J. B., & WOODCOCK, C. E. 1996. An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 56: 66–77.
- CONGRESO DE COLOMBIA. 1993. Ley 99 de 1993. “Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA y se dictan otras disposiciones”.
- COOMES, D.A. & ALLEN, R.B. 2007. Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology* 95: 1084-1097.
- 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.
- CP-IDEA. 2013. Modelo de Datos Geoespaciales de las Américas. Comité permanente para la infraestructura de datos Geoespaciales de las Américas.
- DEFRIES, R., ACHARD, F., BROWN, S., HEROLD, M., MURDIYARSO, D., SCHALAMADINGER, B., & D.E. 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, GOCF-GOLD report 26 (p. 23). Roma, Italia.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN / DNP. 2015. Plan Nacional de Desarrollo: Todos por un nuevo país Tomos 1 y 2. ISBN 978-958-8340-88-3. Bogotá, D.C., Colombia. 1059p.
- 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.
- EK, A.R., ROBINSON, A.P., RADTKE, P.J. & D. K. WALTERS. 1997. Development and testing of regeneration imputation models for forests in Minnesota. *Forest Ecology and Management* 94(1-3):129-140. doi:10.1016/S0378-1127(96)03970-9.
- FAO. 2010. Global forest resources assessment. 2010. Main Report. Fao Forestry Paper 163 (p. 378). Roma, Italia.
- FUNG, T., & LEDREW, E. 1987. Application of Principal Components Analysis to change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(12): 1649–1658
- 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 p.
- 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.
- GOFC-GOLD. 2014. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forest restoration. GOFC-GOLD Report version (p. 243). Países Bajos: Wageningen University
- GONZÁLEZ, J., CUBILLOS, A., ARIAS, M. & ZAPATA, B. 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.
- 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.
- HARRIS, N. L., BROWN, S., HAGEN, S. C., SAATCHI, S. S., PETROVA, S., SALAS, W., HANSEN, M., POTAPOV, P. & LOTSCH, A. 2012. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions. *Science*, 336(6088): 1573–1575
- HASSAN, R., SCHOLES, R., & ASH, N. 2005. Ecosystems and Human Well-being : Current State and Trends , Millennium Ecosystem Assessment Series, Volume 1. Ecosystems and Human Well-being : Current State and Trends. Island Press. Washington, D.C., EEUU: 47p.
- 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
- HOLDRIDGE, L.R., GRENKE, W., HATHEWAY, W.H., LIANG, T. & TOSI, J.A. 1971. Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study. Pergamon Press, Oxford.
- HOUGHTON, R. A. 2005. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology*, 11(6): 945–958.
- HOUGHTON, R.A. 2012. Carbon emissions and the drivers of deforestation and forest degradation in the tropics. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(6):597–603
- HUANG, C., GOWARD, S.N., MASEK, J.G., THOMAS, N., ZHU, Z. & VOGELMANN, J.E. 2010. An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, 114 (1): 183-198.
- 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 p.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. 2015. Inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de COLOMBIA, IDEAM, PNUD, MADS, DNP. CANCELLEERÍA; FMAM. Bogotá D.C. 36 p.

- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2017. Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia. 37p.
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. 2004. Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia. Subdirección de Geografía y Cartografía. 33 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. 2008. *Concepto sobre la superficie continental e insular del país*. Subdirección de Geografía y Cartografía. Bogotá. 2008. 2 p.
- 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. Intergovernmental 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.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007 The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, M. Miller, H. & Z. Chen, Eds.) (p. 996). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- 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.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J.W. 2008. Remote Sensing and Image Interpretation, sixth ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- MALILA, W.A., 1980. Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. In: 6th Annual Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 326–335.
- MAYAUX, P., EVA H., GALLEGO J., STRAHLER A., HEROLD M., SHEFALI A., NAUMOV S., DE MIRANDA E., DI BELLA C., JOHANSSON D., ORDOYNE C., KOPIN I. & BELWARD A., 200., Validation of the

- Global Land Cover 2000 Map. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44 (7-1): 1728-1739.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE-DNP. 1996. Política de Bosques. Documento CONPES No. 2834. Bogotá, Colombia 39 p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2001. Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Documento CONPES 3125. ISBN: 9487-12-2. Bogotá, Colombia. 76p.
- 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. Bogotá D.C., Colombia. 19p.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - MAVDT. 2004. Resolución 643 del 2 de junio de 2004. "Por medio de la cual se establecen los indicadores mínimos de que trata el artículo 11 del Decreto 1200 de 2004 y se adoptan otras disposiciones".
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2014. Política Nacional para la Gestión de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos PNGIBSE. ISBN: 978-958-8343-71-6 Bogotá D.C., Colombia. 124p.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2015. Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015 "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible".
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2016. Decreto 667 del 27 de abril de 2016. "Por la cual se establecen los indicadores mínimos de que trata el artículo 2.2.8.6.5.3 del Decreto 1076 de 2015 y se adoptan otras disposiciones".
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2017. Decreto 1257 del 25 de julio de 2017 "Por medio del cual se crea la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales y se toman otras determinaciones".
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2017. Estrategia integral del control a la deforestación y gestión de los bosques (EICDGB). Bogotá D.C., Colombia. 347 p.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2017. Decreto 1655 del 10 de octubre de 2017 "Por medio del cual se adiciona al Libro 2, parte 2, Título 8, Capítulo 9 del Decreto 1076 de 2015, cinco nuevas secciones en el sentido de establecer la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Información Forestal, el Inventario Forestal Nacional y el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono que hacen parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia, y se dictan otras disposiciones".
- MUCHONEY & HAACK, 1994 MUCHONEY, D. M., & HAACK, B. N. 1994. Change Detection for Monitoring Forest Defoliation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60(10): 1243-1251.
- OLANDER, L., GIBBS, H., STEININGER, M., SWENSON, J., & MURRAY, B. C. 2007. Data and methods to estimate national historical deforestation baselines in support of UN- FCC REDD. Durham, USA: Duke University. Recuperado de: <http://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/data-and-methods-to-estimate-national-historical-deforestation-baselines-in-support-of-unfccc-redd-paper.pdf>

- 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.
- PAN, Y., BIRDSEY, R. A, FANG, J., HOUGHTON, R., KAUPPI, P. E., KURZ, W., PHILLIPS, O, SHVI- DENKO, A., LEWIS, S., CANADELL, J., CIAIS, P., JACKSON, R., RAUTIAINEN, A., SITCH, S. & HA- YES, D. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045): 988–993
- POTAPOV, P., YAROSHENKO, A., TURUBANOVA, S., DUBININ, M., LAESTADIUS, L., THIES, C., AK- SENOV, D., EGOROV, A., YESIPOVA, Y., GLUSHKOV, I., KARPACHEVSKIY, M., KOSTIKOVA, A., MA- NISHA, A. & TSYBIKOVA, E. 2008. Mapping the World ' s Intact Forest Landscapes by Remote Sensing. *Ecology and Society*, 13(2): 51
- 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: 593-596.
- STEHMAN, S. V., OLOFSSON, P., WOODCOCK, C. E., HEROLD, M., & FRIEDL, M. A. (2012). A global land cover validation dataset, II: Augmenting a stratified sampling design to esti- mate accuracy by region and land-cover class. *International Journal of Remote Sensing*, 33: 6975–6993.
- 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/>.
- VERBESELT, J., HYNDMAN, R., NEWNHAM, G., & CULVENOR, D. 2010. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environ- ment*, 114(1): 106–115.
- 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.
- ZHU, Z. and WOODCOCK, C.E. 2012. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery *Remote Sensing of Environment* 118: 83-94.

ANEXO 1. DISEÑO DE RESULTADOS

Formato de Hoja Metodológica de los Indicadores

República de Colombia
Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales
Nombre del indicador
(Hoja metodológica versión #)

Código Único Nacional del Indicador Registre la nomenclatura nacional asignada al indicador
--

Identificación del Indicador	
Contexto nacional o internacional en la que se encuentra	
Tema de referencia	
Código de identificación para Indicadores de Iniciativas Internacionales (ID)	
Unidad de medida	
Periodicidad	
Cobertura geográfica	
Cobertura temporal	
Descripción del Indicador	
Definición	
Pertinencia	
Metas / Estándares	
Marco conceptual	
Fórmula de cálculo	
Metodología de cálculo	
Interpretación	
Restricciones o Limitaciones	
Facilidad de obtención	

Responsable del Indicador		
1	Entidad	
	Dependencia	
	Nombre del funcionario	
	Cargo	
	Correo electrónico	
	Teléfono	
	Dirección	

<u>Ubicación principal para la consulta del Indicador</u>



Nombre	
Física	
URL	



Fuente de las Variables	
V1	Nombre de la variable
	Tipo
	Registro primario de información
	<input type="checkbox"/> Censo
	<input type="checkbox"/> Muestra
	<input type="checkbox"/> Registro administrativo
	<input type="checkbox"/> Estación de monitoreo
	<input type="checkbox"/> Otro, cual:
	Registro secundario de información
	<input type="checkbox"/> Estimaciones directas
	<input type="checkbox"/> Estimaciones indirectas
	<input type="checkbox"/> Otro, cual:
	Frecuencia de medición
	Ubicación para consulta
	Nombre
Física	
URL	
Entidad	
Dependencia	
Nombre del funcionario	
Cargo	
Correo electrónico	
Teléfono	
Dirección	

Observaciones Generales

Bibliografía

Información sobre la Hoja Metodológica			
Fecha	Versión	Datos del autor o de quien ajustó la hoja metodológica	Descripción de los ajustes

Formato de Cuadros de resultados para el Indicador Proporción de la superficie cubierta por bosque natural (Nivel nacional)

  <p>Libertad y Orden Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia</p> <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>			
Colombia. Proporción de la superficie cubierta por bosque natural. t1, t2, t3, t4, ...			
Año	Superficie cubierta por bosque natural ¹ (ha) SCBN	Superficie sin información ² (ha)	Proporción ³ de la superficie cubierta por bosque natural (%) PSBN

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques Año. Proyecto Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

¹ Se refiere a la superficie continental e insular cubierta por bosque natural. El bosque natural se define como: Tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima de dosel del 30%, una altura mínima de dosel (in situ) de 5 metros al momento de su identificación, y un área mínima de una hectárea. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y árboles sembrados para la producción agropecuaria.



² Los datos excluyen la superficie sin información (debido a la presencia de nubes y otros factores que impiden su interpretación), de manera que es posible que para cada periodo se registre una superficie menor a la superficie que en realidad está cubierta por bosque.

³ El indicador a nivel nacional se calcula utilizando el valor oficial de la superficie continental e insular del país (114.174.800 ha).

Nota: Los valores de las superficies cubiertas por bosque natural, superficie sin información y datos del indicador reportados en la tabla puede cambiar periódicamente debido a que la metodología de procesamiento incluye un análisis de consistencia en la serie temporal cada vez que se generan los datos de nuevos periodos de monitoreo. Para uso de los datos tener en cuenta la fecha de actualización de la información que se encuentra al final de la tabla.

Fecha de cálculo del indicador

Formato de Cuadros de resultados para el Indicador Proporción de la superficie cubierta por bosque natural (Departamentos y Corporaciones Autónomas Regionales)

  <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>						
Colombia. Proporción de la superficie cubierta por bosque natural según corporación autónoma regional o departamentos. t1, t2, t3, t4, ...						
Corporación autónoma regional o Departamento	Variable/indicador	t1	t2	t3	t4	...
	Superficie cubierta por bosque natural SCBN ¹ (ha)					
	Superficie sin información ² (ha)					
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)					
	Superficie cubierta por bosque natural SCBN ¹ (ha)					
	Superficie sin información ² (ha)					
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)					
	Superficie cubierta por bosque natural SCBN ¹ (ha)					
	Superficie sin información ² (ha)					
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)					

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques Año. Proyecto Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

¹ Se refiere a la superficie continental e insular cubierta por bosque natural. El bosque natural se define como: Tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima de dosel del 30%, una altura mínima de dosel (in situ) de 5 metros al momento de su identificación, y un área mínima de una hectárea. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y árboles sembrados para la producción agropecuaria.



² Los datos excluyen la superficie sin información (debido a la presencia de nubes y otros factores que impiden su interpretación), de manera que es posible que para cada periodo se registre una superficie menor a la superficie que en realidad está cubierta por bosque.

Notas:

Los valores de las superficies cubiertas por bosque natural, superficie sin información y datos del indicador reportados en la tabla puede cambiar periódicamente debido a que la metodología de procesamiento incluye un análisis de consistencia en las serie temporal cada vez que se generan los datos de nuevos periodos de monitoreo. Para uso de los datos tener en cuenta la fecha de actualización de la información que se encuentra al final de la tabla.

La suma Total de la superficie cubierta por bosque natural de todas las corporaciones autónomas regionales puede no coincidir exactamente con las cifras reportadas a nivel nacional para los mismos periodos, debido a que los valores de las variables y del indicador se redondean a hectárea.

Formato de Cuadros de resultados para el Indicador Cambio en la superficie cubierta por bosque natural (Nivel nacional)

 					
Colombia. Cambio en la superficie cubierta por bosque natural en el territorio continental e insular. $t_1:t_2$, $t_1:t_2$, ...					
Periodo $t_1 : t_2$	Superficie deforestada SD	Superficie regenerada SR	Superficie sin información ¹	Diferencia neta de la superficie cubierta por bosque periodo $t_1 : t_2$ ²	Hectáreas (ha) Cambio superficie cubierta por bosque natural ³ CSBN

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques Año. Proyecto Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

¹ Corresponde a la superficie continental e insular sin información en el año t_1 , t_2 o en los dos; esta área no se considera en el análisis de cambio.



² Diferencia entre la superficie de bosque natural regenerada y la superficie de bosque natural deforestado entre el año inicial (t_1) y el final (t_2) del periodo de análisis.

³ Diferencia promedio anual entre la superficie de bosque regenerado (ganancia) y la superficie de bosque deforestado (pérdida), resulta de dividir la diferencia neta de la superficie cubierta por bosque natural entre el periodo ($t_1 : t_2$) por el número de años del periodo (10 para 1990-2000, 5 para 2000-2005, 2005-2010; 2 para 2010-2012 y 1 desde el periodo 2013-2014 en adelante). Valores negativos representan pérdidas netas de superficie cubierta por bosque natural, en tanto que valores positivos representan ganancias netas de ésta.

Nota: Los valores reportados en la tabla pueden cambiar periódicamente debido a que la metodología de procesamiento incluye un análisis de consistencia en la serie temporal cada vez que se generan los datos de nuevos periodos de monitoreo. Para uso de los datos tener en cuenta la fecha de actualización de la información que se encuentra al final de la tabla.

Fecha de cálculo del indicador

Formato de Cuadros de resultados para el Indicador Cambio en la superficie cubierta por bosque natural (Departamentos y Corporaciones Autónomas Regionales)

  <p>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia</p> <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>					
Colombia. Cambio en la superficie cubierta por bosque natural según corporación autónoma regional o departamento. t1-t2.					
Hectáreas (ha)					
Corporación autónoma regional o departamento	Superficie deforestada SD	Superficie regenerada SR	Superficie sin información ¹	Diferencia neta de la superficie cubierta por bosque periodo t1 : t2 ²	Cambio superficie cubierta por bosque ³ CSBN

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques Año. Proyecto Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

¹Corresponde a la superficie continental e insular sin información en el año t_1 , t_2 o en los dos; esta área no se considera en el análisis de cambio.

² Diferencia entre la superficie de bosque natural regenerada y la superficie de bosque natural deforestado entre el año inicial (t_1) y el final (t_2) del periodo de análisis.

³ Diferencia promedio anual entre la superficie de bosque regenerado (ganancia) y la superficie de bosque deforestado (pérdida) entre los años t_1 y t_2 ; resulta de dividir la diferencia neta de la superficie cubierta por bosque natural entre el periodo ($t_1 : t_2$) por el número de años del periodo (10 para 1990-2000, 5 para 2000-2005, 2005-2010; 2 para 2010-2012 y 1 desde el periodo 2013-2014 en adelante). Valores negativos representan pérdidas netas de superficie cubierta por bosque natural, en tanto que valores positivos representan ganancias netas de ésta.


Notas:

Los valores reportados en la tabla pueden cambiar periódicamente debido a que la metodología de procesamiento incluye un análisis de consistencia en las serie temporal cada vez que se generan los datos de nuevos periodos de monitoreo. Para uso de los datos tener en cuenta la fecha de actualización de la información que se encuentra al final de la tabla.

La suma Total del cambio en la superficie de bosque natural de todas las corporaciones autónomas regionales puede no coincidir exactamente con las cifras reportadas a nivel nacional para los mismos periodos, debido a que los valores de las variables y del indicador se redondean a hectárea.

Fecha de cálculo del indicador

Formato de Cuadros de resultados para el Indicador Tasa anual de deforestación (Nivel nacional)

					
Colombia. Tasa anual de deforestación. 1990:2000, 2000:2005, 2005:2010, 2010:2012, 2012:2013, 2013:2014, 2014:2015, 2015:2016, 2016:2017...					
Periodo $t_1 : t_2$	Superficie de bosque estable (ha)	Superficie deforestada ² (ha) SD	Promedio anual de superficie deforestada (ha/año)	Proporción de la superficie sin información ³ (%)	Tasa anual de deforestación ⁴ (%) TD

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental (SMBYC). Grupo de Bosques 2018. Proyecto Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Bogotá, D. C., Colombia.

¹ Superficie que permanece cubierta por bosque natural tanto al inicio (t_1) como al final (t_2) del periodo de análisis

² Superficie que habiendo estado cubierta por bosque natural en el año inicial t_1 presentó otro tipo de cobertura en el año final t_2 .

³ Corresponde a la proporción de la superficie continental e insular sin información en el año t_1 , t_2 o en los dos años, esta superficie no se considera en el análisis de deforestación.

⁴ Calculada mediante la expresión $TD_{j(t_1:t_2)} = [(1 / (t_2 - t_1)) * \ln [SCBE_{j(t_1:t_2)} / (SCBE_{j(t_1:t_2)} + SD_{j(t_1:t_2)})]] * 100$. Donde t_1 y t_2 corresponden al año inicial y final del periodo de análisis; $SCBE_{j(t_1:t_2)}$ representa el bosque estable y $SD_{j(t_1:t_2)}$ es la superficie deforestada en la unidad espacial de referencia j .

* El dato del indicador se reporta únicamente cuando se tiene información de al menos un 90% del territorio, es decir cuando el porcentaje de la superficie sin información es inferior al 10%.



Nota: Los valores del indicador y de las variables reportadas en la tabla pueden cambiar periódicamente debido a que la metodología de procesamiento incluye un análisis de consistencia en las serie temporal cada vez que se generan los datos de nuevos periodos de monitoreo. Para uso de los datos tener en cuenta la fecha de actualización de la información que se encuentra al final de la tabla.

Los datos de 1990 a 2000 provienen de un único periodo de monitoreo de 10 años, los datos de 2000 a 2010 de dos monitoreos quinquenales (2000-2005 y 2005-2010), los datos de 2010-2012 de un periodo bienal, del periodo 2012-2013 el monitoreo se realiza anualmente.

Al graficar el indicador se recomienda incluir únicamente los datos generados con una periodicidad anual (2012-2013 en adelante). Los datos de 1990 a 2000 provienen de un único periodo de monitoreo de 10 años, los datos de 2000 a 2010 de dos monitoreos quinquenales: 2000-2005 y 2005-2010 y los datos de 2010-2012 de un periodo bienal, por lo que no se deben incluir en las gráficas.

Fecha de publicación

Formato de Cuadros de resultados para el Indicador Tasa anual de deforestación (Departamentos y Corporaciones Autónomas Regionales)

  <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>					
Colombia. Tasa anual de deforestación según departamento. Periodo.					
Departamento	Superficie de bosque estable (ha) SCBE	Superficie deforestada ² (ha) SD	Promedio anual de superficie deforestada (ha/año)	Proporción de la superficie sin información ³ (%)	Tasa anual de deforestación ⁴ (%) TD
AMAZONAS					
ANTIOQUIA					
ARAUCA					
ATLANTICO					
...					
Total					

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques 2018. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Bogotá, D. C., Colombia.

¹ Superficie que permanece cubierta por bosque natural tanto al inicio (t_1) como al final (t_2) del periodo de análisis

² Superficie que habiendo estado cubierta por bosque natural en el año inicial t_1 presentó otro tipo de cobertura en el año final t_2 .

³ Corresponde a la proporción de la superficie continental e insular sin información en el año t_1 , t_2 o en los dos años; esta superficie no se considera en el análisis de deforestación.

⁴ Calculada mediante la expresión $TD_{j(t1:t2)} = [(1/(t_2-t_1)) * \ln[SCBE_{j,t1:t2}/(SCBE_{j,t1:t2}+SD_{j(t1:t2)})]] * 100$. Donde t_1 y t_2 corresponden al año inicial y final del periodo de análisis; $SCBE_{j,t1:t2}$ representa el bosque estable y $SD_{j(t1:t2)}$ es la superficie deforestada en la unidad espacial de referencia j .

* El dato del indicador se reporta únicamente cuando se tiene información de al menos un 90% del territorio, es decir cuando el porcentaje de la superficie sin información es inferior al 10%.

Notas:

Los datos de 1990 a 2000 provienen de un único periodo de monitoreo de 10 años, los datos de 2000 a 2010 de dos monitoreos quinquenales (2000-2005 y 2005-2010), los datos de 2010-2012 de un periodo bienal, del periodo 2012-2013 el monitoreo se realiza anualmente.

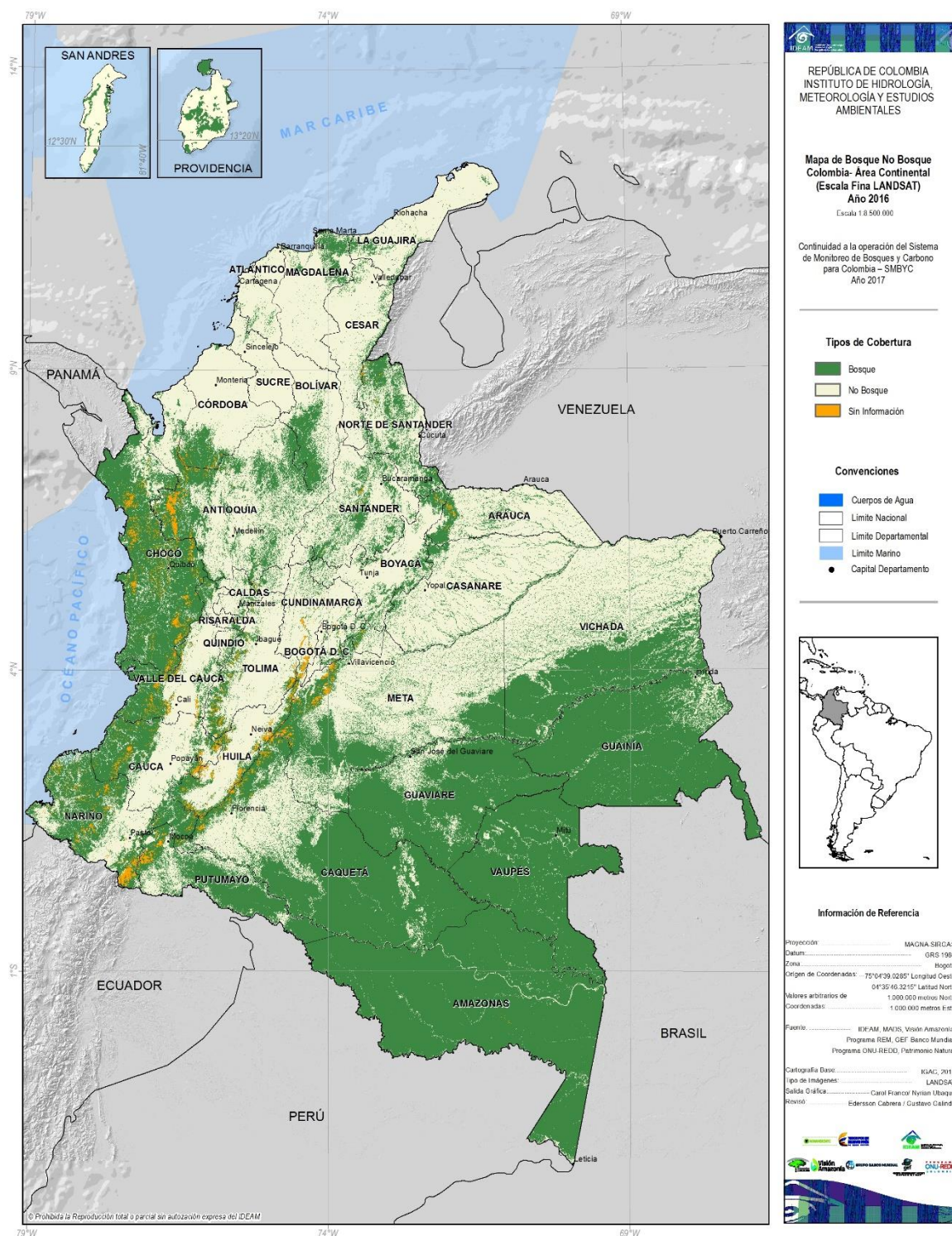
Los valores del indicador y de las variables reportadas en la tabla pueden cambiar periódicamente debido a que la metodología de procesamiento incluye un análisis de consistencia en las serie temporal cada vez que se generan los datos de nuevos periodos de monitoreo. Para uso de los datos tener en cuenta la fecha de actualización de la información que se encuentran al final de la tabla.

La suma Total de las superficie cubiertas por bosque natural y superficie deforestada de todos los departamentos puede no coincidir exactamente con las cifras reportadas a nivel nacional para los mismos periodos, debido a que los valores de las variables y del indicador se redondean a hectárea.

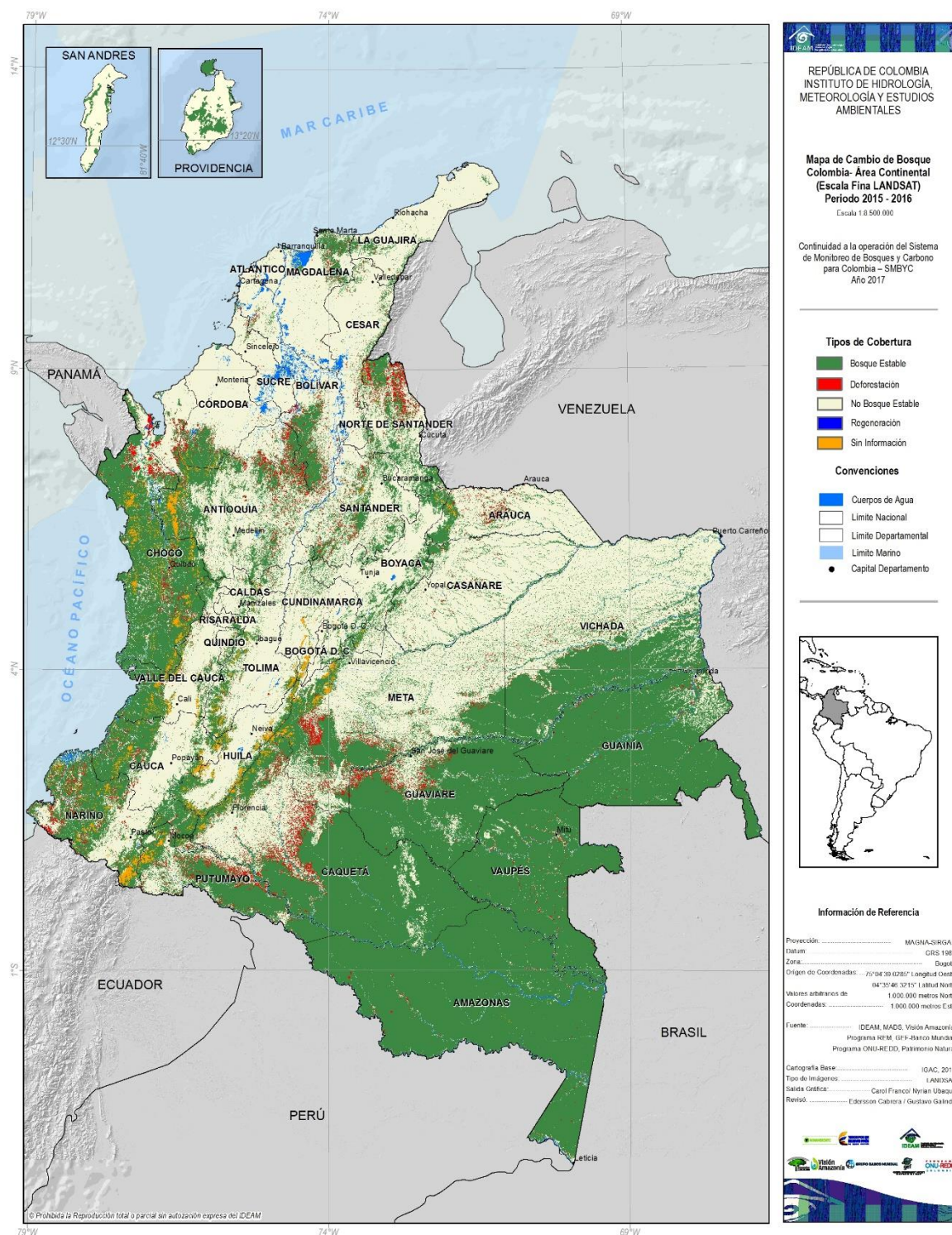
Al graficar el indicador se recomienda incluir únicamente los datos generados con una periodicidad anual (2012-2013 en adelante). Los datos de 1990 a 2000 provienen de un único periodo de monitoreo de 10 años, los datos de 2000 a 2010 de dos monitoreos quinquenales: 2000-2005 y 2005-2010 y los datos de 2010-2012 de un periodo bienal, por lo que no se deben incluir en las gráficas.

Fecha de publicación

Formato de la salida gráfica del Mapa de Cobertura de Bosque – No bosque

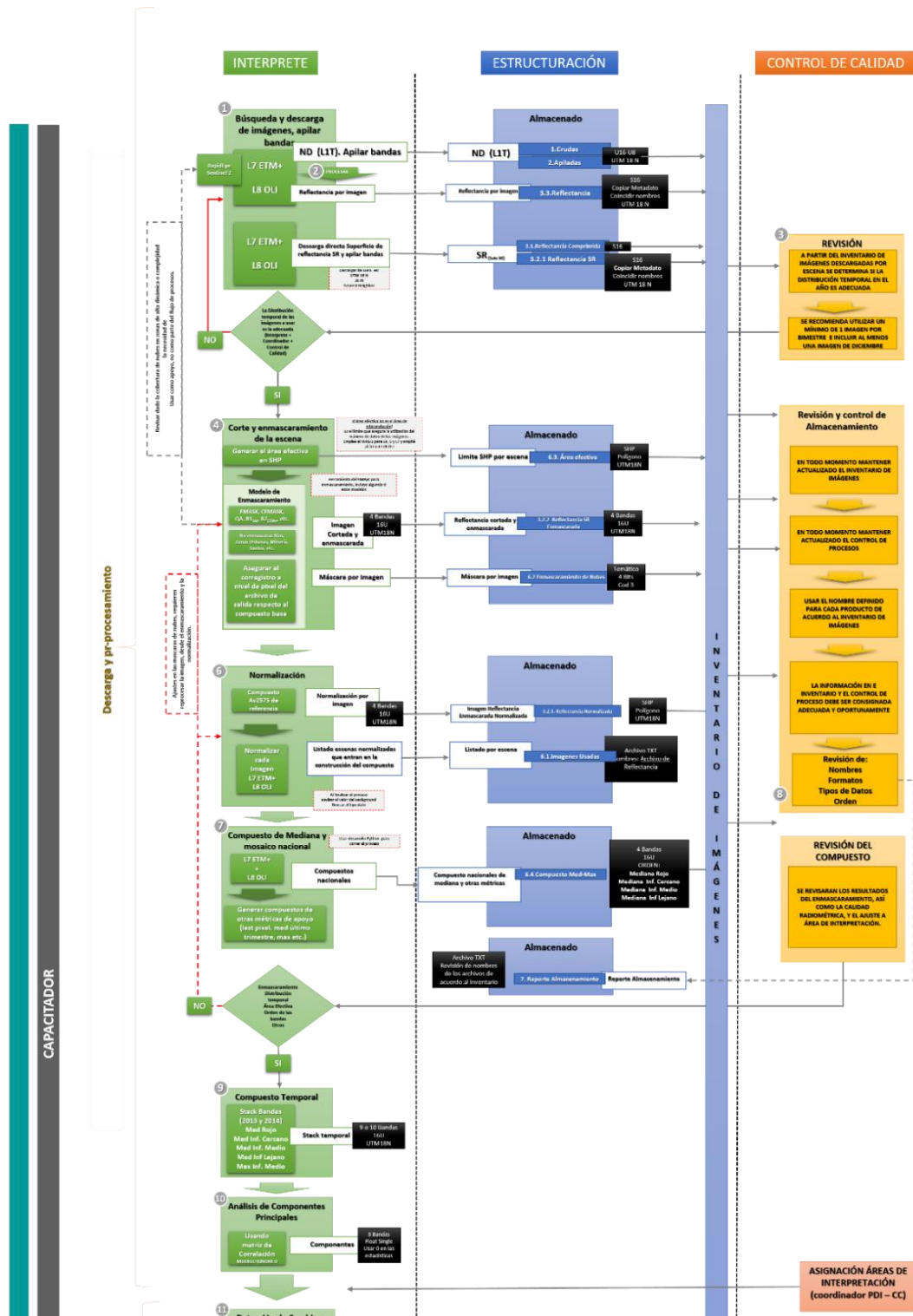


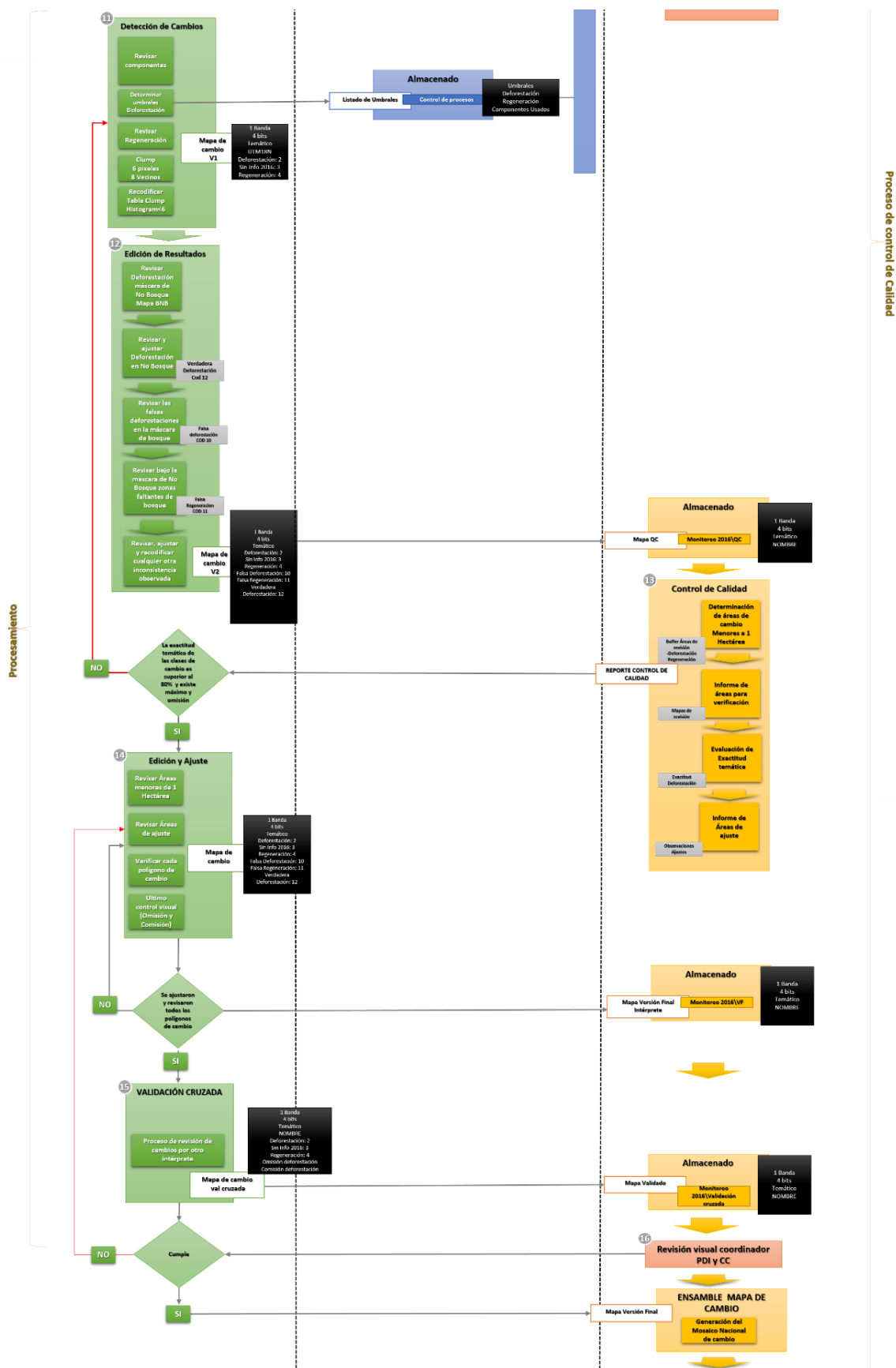
Formato de la salida gráfica del Mapa de Cambio de Bosque

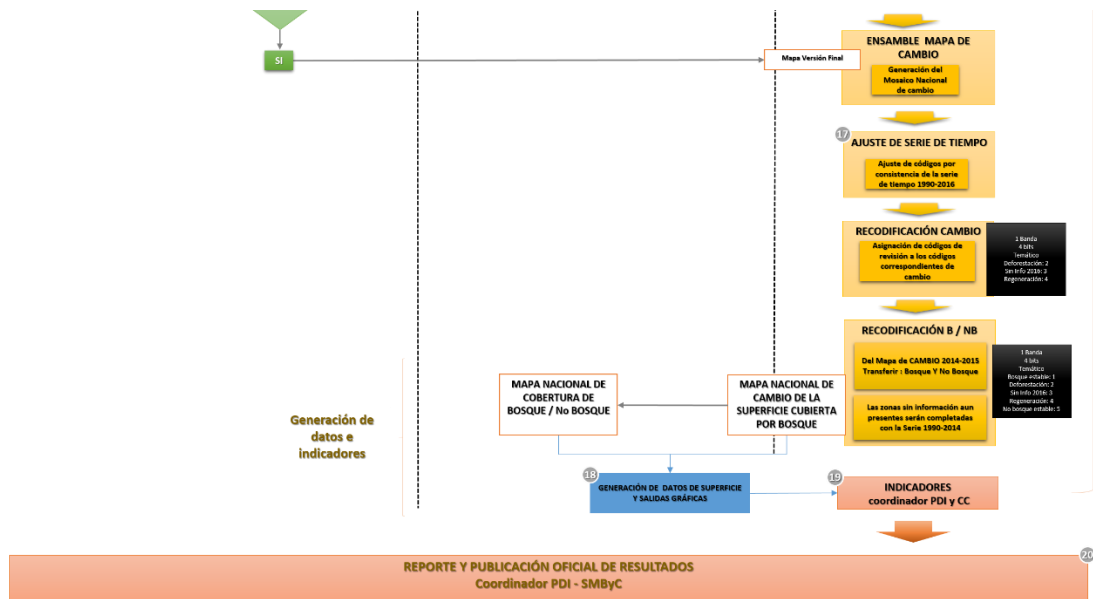


ANEXO 2. DISEÑO DE INSTRUMENTOS

Flujo de procesos







Formato de inventario de imágenes adquiridas y pre-procesamiento

PATH (Columna grilla LANDSAT)	ROW (Fila grilla LANDSAT)	PATH-ROW (Número escena)	REGIÓN	SENSOER (Sensor LANDSAT con el que se tomó la imagen)	RESPONSABLE (Nombre del Intérprete)	CRUDAS (Archivo de la imagen descargado de USGS)	NUBES % (Porcentaje de nubes reportado por USGS)	FECHA (Fecha de toma de la imagen)	AÑO (Toma imagen)	MES (Toma imagen)	DIA (Toma imagen)
3	57	3_57	Orinoquia	8OLI	Intérprete 1	LC80030572016004LGN00	25	4/01/2016	16	01	04
3	57	3_57	Orinoquia	7ETM+	Intérprete 1	LE70030572016012EDC00	28	12/01/2016	16	01	12
3	57	3_57	Orinoquia	8OLI	Intérprete 1	LE70030572016044EDC00	71	05/02/2016	16	2	05

Proceso de Enmascaramiento (¿Se aplicó enmascaramiento de nubes?)	Proceso de IMAD (¿Se normalizó la escena?)	Exclusión de imágenes (Si se descarta la imagen indicar por qué)	Corrección geométrica (Se aplicó ajuste para garantizar el co-registro?)	Método de corrección geométrica (Método de ajuste del co-registro)	Usada en el Compuesto (¿Se incluyó en el compuesto del mosaico?)
SI	SI	NO	SI	Cambio coordenadas externas X Y	SI
SI	SI	NO	NO		SI
NO	NO	Exceso de nubes / bruma	NO		NO

REFLECTANCIA ENMASCARADA Y NORMALIZADA (Nombre archivo)	ENMASCARAMIENTO DE NUBES (Nombre archivo)	Listado de Imágenes Usadas (Nombre archivo)	ÁREA_EFECTIVA - Shape (Nombre archivo)	MAPA CAMBIO V2 - ENTREGA QC (Nombre archivo)	ENTREGA FINAL A CONTROL DE CALIDAD (Nombre archivo)
Landsat_3_57_160104_8OLI_Norm	Landsat_3_57_160104_8OLI_Mask	3_57.txt	Landsat_3_57_AreaEfectiva	Landsat_3_57_Cambio_QC	Landsat_3_57_bnb
Landsat_3_57_160112_7ETM_Norm	Landsat_3_57_160112_7ETM_Mask	3_57.txt	Landsat_3_57_AreaEfectiva	Landsat_3_57_Cambio_QC	Landsat_3_57_bnb
Landsat_3_57_160205_8OLI_Norm	Landsat_3_57_160205_8OLI_Mask	3_57.txt	Landsat_3_57_AreaEfectiva	Landsat_3_57_Cambio_QC	Landsat_3_57_bnb

Formato de control de procesos

IMAGEN (número de la escena)	REGION	INTREPRETE CAMBIO (Nombre del intérprete)	REVISION DEL COMPUESTO (Control de Calidad/Coordinador PDI)	Ajuste del compuesto (Revisión control de calidad)	INDIQUE EL PROCESO DE DETECCION DE CAMIOS	ACTUALIZACION DE LOS RANGOS DE IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS	RANGOS ACTUALIZADOS (Indique el valor de los rangos)
3_57	AMAZONA	Interprete 1	SI	No requiere	Thresholding a Componentes principales	si	Formulario
3_58	AMAZONA	Interprete 1	SI	No requiere	Thresholding a Componentes principales	si	Formulario
3_59	AMAZONA	Interprete 3	SI	No requiere	Thresholding a Componentes principales	NO	Formulario

CAMBIO VERSION 1 (Indique si ha generado la primera versión del mapa de cambio)	NOMBRES DE LOS ARCHIVOS (Indique si ya realizó el ajuste de los nombres de los archivos de acuerdo con los requerimientos)	ENTREGA DE MAPA DE CAMBIO A CONTROL DE CALIDAD (Indique si entregó el producto del mapa de cambio en la ruta definida para realizar el procesos de control de calidad)	ESTADO DE REVISION /SUPERA EL MAPA ENTREGADO EL 95% DE EXACTITUD TEMATICA DEL PRODCUTOR (Control de calidad le indicará en esta columna si el producto fue aceptado)	OBSERVACION AL PROCESO DE AJUSTE DEL QC DEFORESTACION(DESDA LA SEGUNDA ENTREGA EN ADELANTE) En este campo control de calidad indica en qué estado se encuentra el proceso de QC	Observaciones deforestación (Observaciones realizadas por control de calidad)
SI	SI	SI	SI	Finalizado QC	
SI	SI	SI	NO V2 (Omisión Def)	Pendiente nueva entrega ajustada	Omisión Def: Revisar Comisión Def: OK
SI	SI	SI	SI	Finalizado QC	Omisión Def: Revisar Comisión Def: OK


ENTREGA DE LA VERSION FINAL (Indicar si ya entregó la versión final del Mapa de cambio una vez fue aprobada por control de calidad)	FECHA DE ENTREGA DE LOS PRODCUTOS FINALES			% AVANCE DEL PROCESO
	Año	Mes	Día	
SI	2017	Mayo	5	100
SI	2017	Mayo	5	80
SI	2017	Mayo	5	90

Formato de procesos de control de calidad

IMAGEN	INTERPRETE	SCRIPT	ENTREGADA A QC	#AREAS DE CHEQUEO	AVANCE DEL CONTROL DE CALIDAD				
					VALIDACION	DETECCIONES	SIN INFO	REVISIONES DE CONTROL DE CALIDAD	MATRIZ
3057	Interprete 1	SI	SI	9	<p>El número de puntos de validación de acuerdo al criterio proporcional es de 57 puntos para Bosque, 0 puntos para Deforestación, 71 puntos para No Bosque y 0 puntos para Regeneración</p> <p>El número de puntos de validación de acuerdo al criterio Igualmente distribuido es de 50 puntos para cada clase</p> <p>El número de puntos de validación de acuerdo al criterio proporcional es de 44 puntos para Bosque, 16 puntos para Deforestación, 51 puntos para No Bosque y 16 puntos para Regeneración</p> <p>El número de puntos de validación es mayor al número de polígonos de deforestación en la imagen, se validaran todos los polígonos de deforestación</p> <p>Se seleccionaron 50 puntos de Bosque</p> <p>Se seleccionaron 50 puntos de No Bosque</p>	<p>20 hectáreas de deforestación</p> <p>188 hectáreas de Sin Información en 2015</p> <p>1 hectáreas de regeneración</p> <p>35469 hectáreas de Bosque Estable</p> <p>44305 hectáreas de No Bosque Estable</p>	con CC	<p>El área regenerada revisada en este reporte (áreas mayores a 1 ha) son 1.17has en 1 polígonos</p> <p>El 100% de la regeneración reportada, es en áreas mayores a 1 hectárea</p> <p>El 100% de los polígonos de regeneración son de más de 1 hectárea</p> <p>El área reportada de deforestación en áreas de menos de 1 ha son 6.12has en 11 polígonos</p> <p>El 29% de la deforestación reportada, es en áreas menores a 1 hectárea</p> <p>El 57% de los polígonos de deforestación son de menos de 1 hectárea</p> <p>El área deforestada revisada en este reporte (áreas mayores a 1 ha) son 14.4has en 8 polígonos</p> <p>El 70% de la deforestación reportada, es en áreas mayores a 1 hectárea</p> <p>El 42% de los polígonos de deforestación son de más de 1 hectárea</p>	<p>Validado</p> <p>B Df NB Total Wi</p> <p>B 49 0 1 50 42.7%</p> <p>Mapa 2014 Df 0 8 0 8 0.036%</p> <p>NB 1 0 49 50 57.3%</p> <hr/> <p>50 8 50 108</p> <p>MATRIZ CLASICA</p> <p>Exactitud Promedio 98.1%</p> <p>Usuario Productor</p> <p>Bosque 98.0% 98.0%</p> <p>Deforestación 100.0% 100.0%</p> <p>No Bosque 98.0% 98.0%</p> <p>MATRIZ BOSTON</p> <p>Exactitud Promedio 98.0%</p> <p>Productor</p> <p>Bosque 97.3%</p> <p>Deforestación 100.000%</p> <p>No Bosque 98.5%</p>

REVISION CON EL INTERPRETE	CONTROL DE CALIDAD REALIZADO	APROBADO DEFORESTACION (>95%)	DEFORESTACION	AVANCES ENTREGAS
SI	SI	SI	20	Finalizado QC

ANEXO 3. MODELO ENTIDAD - RELACIÓN

		
SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUE Y CARBONO		
1. MODELO LOGICO Y/O FÍSICO DE LA BASE DE DATOS		
Nombre de la Entidad Productora de Estadística:	Nombre de la base de datos	SMBYC (Parte de los reportes)
Preparado por:	Fecha:	5-May-17
NOMBRE DE LA BASE DE DATOS:	SMBYC	
PLATAFORMA:		
OBSERVACIÓN DE LA BASE DATOS	Se envia solamente la parte de los reportes	
Anexar o insertar en esta hoja una imagen de los modelos lógico y/o físico que representen la operación estadística (Modelo ER). En su defecto un modelo o esquema de procesos referenciando las tablas.		

