



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025



Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA
"ESTADÍSTICAS DEL MONITOREO DE LA SUPERFICIE DE BOSQUE
NATURAL"

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	6
2	DISEÑO DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA	10
2.1	DISEÑO TEMÁTICO.....	10
2.1.1	Necesidades de información	10
2.1.2	Objetivo general y específicos de la operación estadística.....	30
2.1.3	Alcance.....	31
2.1.4	Marco de referencia.....	31
2.1.5	Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos 49	
2.1.6	Resultados estadísticos	55
2.1.7	Estándares estadísticos utilizados.....	59
2.1.8	Diseño del cuestionario o definición del instrumento de recolección. 61	
2.2	DISEÑO ESTADÍSTICO	62
2.2.1	Universo de estudio	62
2.2.2	Población objetivo	63
2.2.3	Cobertura geográfica	63
2.2.4	Desagregación geográfica	63
2.2.5	Desagregación temática	64
2.2.6	Fuentes de datos	64
2.2.7	Unidades estadísticas	66
2.2.8	Periodo de referencia	66
2.2.9	Periodo de recolección/acopio y frecuencia	66
2.2.10	Marco estadístico censal.....	66
2.2.11	Ajustes de cobertura	69
2.3	DISEÑO DE LA RECOLECCIÓN / ACOPIO	80
2.3.1	Métodos y estrategias de recolección o acopio de datos	80



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

2.3.2	Estructura organizacional del operativo y definición del equipo requerido (Actores)	88
2.3.3	Esquema de entrenamiento del personal	92
2.3.4	Conformación del equipo	93
2.3.5	Proceso de sensibilización y acuerdos de intercambio	94
2.3.6	Relación de manuales, guías o instructivos	95
2.3.7	Diseño de la estrategia de comunicación y plan de contingencias	96
2.3.8	Diseño de la estrategia de seguimiento y control	96
2.3.9	Diseño de sistemas para la obtención de datos	103
2.3.10	Transmisión de datos	105
2.4	DISEÑO DEL PROCESAMIENTO	106
2.4.1	Consolidación y/o integración de archivos de datos	106
2.4.2	Diccionario de datos, revisión y validación	109
2.4.3	Diseño y/o determinación de la infraestructura tecnológica necesaria para el procesamiento	109
2.5	DISEÑO DEL ANÁLISIS	111
2.5.1	Métodos de análisis de resultados	111
2.5.2	Anonimización de microdatos y verificación	119
2.5.3	Comités de expertos	120
2.6	DISEÑO DE LA DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN	120
2.7	DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y FLUJOS DE TRABAJO	127
2.8	DISEÑO DE LAS PRUEBAS	4
2.9	DISEÑO DE LA EVALUACIÓN	7
2.10	MEJORA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA	8
3	DOCUMENTACIÓN RELACIONADA	18
4	GLOSARIO	19
5	BIBLIOGRAFÍA	23
	CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO METODOLOGICO	1



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

INTRODUCCIÓN

Existe un consenso casi absoluto entre la comunidad científica 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 SBYC, 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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.

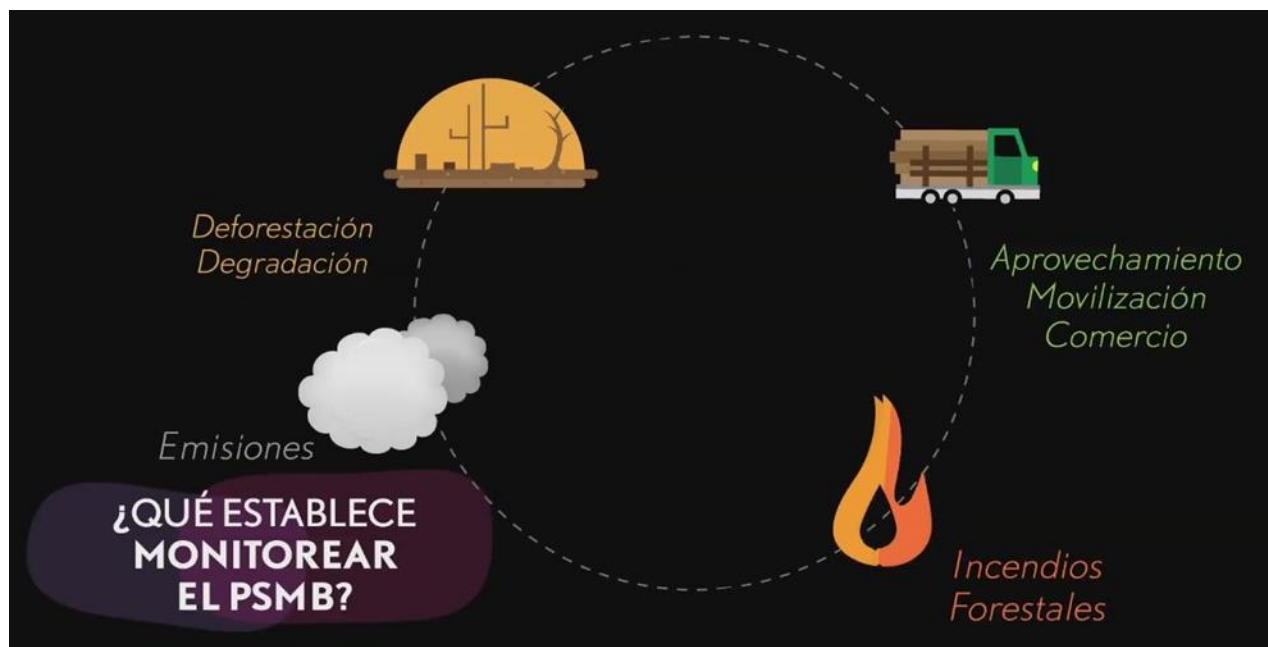
En este contexto, el IDEAM presenta la metodología establecida para la puesta en marcha de la Operación Estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural en Colombia. El contenido se estructura de acuerdo con la "Guía para la elaboración del documento metodológico de operaciones estadísticas" (DANE 2023), la Guía para la elaboración del documento metodológico de las operaciones estadísticas, actualizada en mayo del 2025 por el Sistema de gestión Documental del IDEAM; así como el Formato plantilla para la elaboración del documento metodológico de las operaciones estadísticas (IDEAM 2025).

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.



Fuente: 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 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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,



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 la Superficie de Bosque Natural, 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

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,



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 por qué 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.

Necesidades y usuarios de información

- **Usuarios y necesidades internas:**

La información estadística del monitoreo de la superficie de bosque natural se ha constituido como insumo en diferentes informes y comunicaciones eventuales de la entidad. A continuación, se señalan los principales productos que presentan necesidades periódicas internas (IDEAM) de la información de la operación:

- ✓ Inventario Nacional de Gases efecto Invernadero (INGEI)
- ✓ Niveles de referencia UNFCCC REDD+
- ✓ Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IEARNR)
- ✓ Informe Nacional de Cambio Climático
- ✓ Mapa Nacional de Coberturas de la tierra (mosaicos Landsat)
- ✓ Insumos para la construcción de nivel de referencia (datos de actividad)
- ✓ Análisis de causas y agentes de la deforestación
- ✓ Análisis para proyecciones y tendencias de la deforestación
- ✓ Análisis anual de núcleos activos de deforestación
- ✓ Análisis de la degradación forestal
- ✓ Inventario Nacional Forestal (mapa de cambio bosque-no bosque)

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

- **Usuarios y necesidades externas:**

Desde el ámbito nacional, diferentes entidades han presentado necesidades sobre la información del monitoreo de la superficie de bosque natural y deforestación en Colombia. Tal es el caso del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Parques Nacionales Naturales de Colombia, las Autoridades Ambientales, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto SINCHI, Instituto Alexander Von Humboldt, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, Ejército Nacional, Policía Nacional, entes de control, la academia, entre otros.

Así mismo, la operación estadística da respuesta a los siguientes requerimientos de información de orden nacional:

Tabla 1. Requerimientos de información del orden nacional

Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026	Freno a la deforestación Deforestación Nacional Linea base: 174,103 hectareas Meta cuatrenio: 140,000 hectareas
Decreto 0280 de 2015. Se crea la Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el alistamiento y la efectiva implementación de la Agenda de Desarrollo Post 2015 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS.	Cumplimiento de los ODS. Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres (deforestación en bosques)
Decreto 1257 de 2017. Se crea la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales	Apoyo técnico especializado del Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en su calidad de administrador del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
Ley 99 de 1993	Creación del IDEAM encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	ordenamiento del territorio. El IDEAM deberá obtener, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación y tendrá a su cargo el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad. Corresponde a este instituto efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación especialmente en lo referente a su contaminación y degradación necesarios para la toma de decisiones de las autoridades ambientales.
Política Nacional de Cambio Climático	Reducción deforestación Conservación de ecosistemas
CONPES 3125. Estrategia Nacional para la Consolidación del Plan Nacional de Desarrollo Forestal	El IDEAM continuará 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.
Resolución 667 de 2016. Indicadores Mínimos de Gestión de las Corporaciones Autónomas Regionales.	Indicador: Tasa de deforestación
Política de Bosques CONPES No. 2834	Reducción deforestación



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Decreto 1076 de 2015. Reglamentario Sector medio ambiente y desarrollo sostenible.

Funciones del IDEAM. 1. Suministrar los conocimientos, los y la información ambiental que requieren el Ministerio del Medio Ambiente y demás entidades Sistema Nacional Ambiental -SINA-. 2. Realizar el levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país. 4. Obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación, en especial las que en estos aspectos, con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venían desempeñando el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT-; el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química INGEO MINAS-; y la Subdirección de Geografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-. 6. Efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación especialmente en lo referente a su contaminación y degradación, necesarios para la toma de decisiones de las autoridades ambientales. 7. Realizar estudios e investigaciones sobre recursos naturales, en especial la



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	relacionada con recursos forestales y conservación de suelos, y demás actividades que con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venían desempeñando las Subgerencias de Bosques y Desarrollo del Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente -INDERENA. 9. Realizar los estudios e investigaciones ambientales que permitan conocer los efectos del desarrollo socioeconómico sobre la naturaleza, sus procesos, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y proponer indicadores ambientales. 10. Acopiar, almacenar, procesar, analizar y difundir datos y allegar o producir la información y los conocimientos necesarios para realizar el seguimiento de la interacción de los procesos sociales, económicos y naturales y proponer alternativas tecnológicas, sistemas y modelos de desarrollo sostenible. 11. Dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las entidades científicas vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente, con las Corporaciones y demás entidades del SINA. 12. Prestar el servicio de información en las áreas de su competencia a los usuarios que la requieran.
Estrategia Integral de control a la deforestación y gestión de los bosques (EICDGB)	Reducir sustancialmente la deforestación y la degradación de los bosques, promover su conservación y manejo sostenible, con el desarrollo y articulación de políticas, medidas



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	y acciones, coordinación técnica e institucional, que vincule al sector productivo, comunidades étnicas y locales y sociedad civil, bajo un enfoque de desarrollo rural integral y sostenible, reconociendo la importancia y los servicios ecosistémicos asociados a los bosques.
Decreto 1655 de 2017	Artículo 2.2.8.9.3.18.-Objetivos Del SMByC: 1. Generar la información oficial sobre la superficie y cambios del bosque natural y alertas tempranas de deforestación. 2. Producir y compilar los conjuntos de datos necesarios para estimar las reservas de carbono almacenadas en diferentes compartimientos de los bosques naturales y en otras coberturas de la tierra, y las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) a nivel nacional debidas a la deforestación y/o degradación forestal. 3. Aportar a la documentación de las causas y agentes que determinan o influyen en la deforestación y/o degradación forestal para la escala nacional, así como generar reportes a partir de estos resultados. 4. Proporcionar lineamientos, herramientas, procedimientos, metodologías y estándares para el monitoreo de la superficie y cambios del bosque natural, las reservas de carbono y la caracterización de las causas y agentes de la deforestación y degradación forestal. 5. Apoyar el fortalecimiento de capacidades



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	para el monitoreo de bosques en las autoridades ambientales regionales y otras entidades con funciones de control y vigilancia de los recursos forestales.
CONPES 4021 de 2020 "Política Nacional para el control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques"	Monitoreo y seguimiento al recurso forestal. Indicador deforestación
Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.	Se debe reportar los datos de superficies, proporción de superficies, deforestación y cambios en la superficie del bosque natural
Sentencia 4360 de 2018 Amazonía	Se ha desarrollado y presentado indicadores específicos solicitados por el tribunal, que permiten evaluar el estado de conservación de la región y los avances en la protección de sus ecosistemas. Se genera información sobre la reducción en la tasa de deforestación actual y recuperar las áreas degradadas, a través de la implementación de estrategias enmarcadas en la gobernanza forestal
Sentencia T-606 DE 2015. Parque Tayrona	Generación de información sobre los ecosistemas forestales del Parque Nacional Tayrona y sus alrededores.
Sentencia 3872 de 2020 Parque Vía Isla Salamanca	Se ha fortalecido el sistema de monitoreo de bosques, se han elaborado y presentado informes detallados sobre deforestación, cifras anuales de deforestación dentro del parque, y registros de puntos de calor. Estos esfuerzos han permitido una detección oportuna de los eventos de deforestación facilitando así una respuesta rápida y efectiva para

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

	minimizar el impacto ambiental en la región
Proyecto Biocarbono Orinoquia	Generación de información sobre el Recurso forestal.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

A nivel internacional, los datos de la operación estadística son la fuente oficial para la información reportada en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC. Las variables e indicadores relacionados con el cambio en la superficie de los bosques son requeridos como dato de actividad para el Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero INGEI.

A su vez, se da respuesta al reporte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible Nacionales del sector ambiente, lo anterior conforme con lo establecido en el Documento CONPES 3918 de 2018, específicamente para los indicadores: 15.1.3 Pérdida anualizada de bosque natural y 15.1.2 Porcentaje de la superficie cubierta por bosque natural.

Además, la información de la operación estadística sobre superficie de bosque natural y cambio en la superficie del bosque natural se utiliza como insumos para la Evaluación Mundial de los Recursos Forestales – FAO-FRA.

A continuación, se presentan los requerimientos de información a nivel internacional que da respuesta la operación estadística:

Tabla 2. Requerimientos de información del orden internacional

Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS. Objetivo 15 Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad	Indicador 15.1.1"Superficie forestal como porcentaje de la superficie total"
Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica -COP16	Reducción deforestación y degradación forestal 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de Carbono
Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica - COP15	Reducción deforestación y degradación forestal 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
Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica - COP19	Reducción deforestación y degradación forestal 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
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
Organización para la cooperación económica y desarrollo OCDE	Indicador relacionado con datos de la superficie de bosque natural.
Plan binacional de Integración Fronterizo Ecuador - Colombia	Se 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).
Evaluación Mundial de los Recursos Forestales - FRA-FAO	Se debe reportar los datos de superficie de bosque natural y cambio en la superficie del bosque natural
Iniciativa corazón de la amazonia	Información forestal para la iniciativa que busca dar respuesta a la tasa de deforestación actual, la cual pone en peligro inminente la conectividad ecológica entre los bosques de los Andes y la Amazonía colombiana. En los departamentos de Guaviare y Caquetá, cerca del Parque Nacional Natural



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	Serranía de Chiribiquete (PNNSCH), se han identificado puntos críticos (hotspots) de deforestación, donde esta actividad se ha visto potenciada por prácticas para el manejo y uso de la tierra insostenibles e ilegales, entre estas: Ganadería extensiva, cultivos ilícitos, minería ilegal y explotación maderera. Además, el potencial petrolero y la construcción de infraestructura vial proyectadas para la región representa una mayor presión para la Reserva Forestal Amazonía a causa del impacto socio ambiental propio de estas actividades.
Programa REM	Generación de información para apoyar la reducción de emisiones de la deforestación en el Bioma Amazónico colombiano
FAO GCF-Visión Amazonía	Generación de información para el proyecto que busca contribuir a la reducción de las causas directas e indirectas de la deforestación y degradación forestal; ayuda a impulsar la economía forestal a través de la conservación, uso y manejo sostenible de los ecosistemas por parte de las comunidades locales, mejorando el acceso a mercados y el fortalecimiento de las cadenas de valor de productos forestales maderables y no maderables, así como a fomentar las prácticas indígenas tradicionales de usar el bosque de forma sostenible, y visibilizando el valor de los bosques como despensa de alimentos diversos, frescos y balanceados nutricionalmente. El proyecto también apoya las acciones nacionales y locales encaminadas a fortalecer las capacidades del país en el monitoreo y seguimiento de los bosques, y procesos como la



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	deforestación y degradación forestal, y el monitoreo comunitario participativo.
Cumplimiento de metas a la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia - NDC	Generación de información para evidenciar los esfuerzos de Colombia para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático.
Organización del Tratado de Cooperación Amazónica -OTCA	Generación de información para uno de los principales ejes de la organización relacionado con la protección, conservación y gestión sostenible/sustentable de los bosques y de la biodiversidad.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

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

- El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, para reportar indicadores sobre deforestación nacional y freno a la deforestación.
- La Política Nacional de Cambio climático, con indicadores acerca de la reducción de la deforestación y conservación de ecosistemas.
- El CONPES 3125. Estrategia Nacional para la Consolidación del Plan Nacional de Desarrollo Forestal, donde El IDEAM tiene la responsabilidad de implementar y divulgar 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.
- El CONPES No. 2834 "Política de Bosques", para reportar datos sobre reducción de la deforestación.
- El CONPES 4021 de 2020 "Política Nacional para el control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques", para el monitoreo y seguimiento al recurso forestal; así como el reporte de indicadores sobre deforestación.
- El Proyecto Biocarbono Amazonia, donde se genera información sobre el recurso forestal.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC. Las variables e indicadores relacionadas con el cambio en la



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 con 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.
- La Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, donde 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.
- La Iniciativa Corazón de la Amazonia, el Programa REM, FAO- GCF-Visión Amazonia y la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica-OTCA; donde se genera y reporta información sobre reducción en la tasa de deforestación y conservación de los bosques.
- Así mismo, 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y para dar respuesta a diferentes sentencias y decretos, entre los cuales se encuentran: la sentencia 4360 de 2018 Amazonía, la sentencia T-606 de 2015. Parque Tayrona y la sentencia 3872 de 2020 Parque Vía Isla Salamanca, el Decreto 0280 de 2015, donde se crea la Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el alistamiento y la efectiva implementación de la Agenda de Desarrollo Post 2015 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible –ODS, el Decreto 1257 de 2017, que crea la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales, el Decreto 1076 de 2015 que contempla los reglamentos para el Sector medio ambiente y desarrollo sostenible, y el Decreto 1655 de 2017 el cual establece y organiza el funcionamiento del Sistema Nacional de Información Forestal, el Inventario Nacional Forestal y el Sistema de Monitoreo, Bosques y Carbono.

- 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 de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los Institutos de investigación adscritos al Ministerio de ambiente, las corporaciones autónomas regionales, la academia, entre otras.

Es importante destacar que la revisión y actualización de las necesidades de información de los diferentes usuarios, se realiza de manera anual, teniendo en cuenta la interacción de la operación estadística.

Mecanismos utilizados para la identificación y confirmación de necesidades

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a través del grupo de trabajo del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) recolecta e identifica los usuarios y las necesidades de información sobre el Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural, a través de las siguientes herramientas:

- Mecanismo de atención al ciudadano: a través de diferentes canales de atención; se identifican, caracterizan los usuarios y se reciben las solicitudes de información. Esta información se registra en una base de datos con el objetivo de llevar el control de las necesidades de información.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	---	---

Figura 2. Canales de atención a la ciudadanía del IDEAM.



Fuente. IDEAM- Canales de atención a la ciudadanía del IDEAM.

<https://www.ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania>

- También se cuenta con el correo electrónico del Sistema de Monitoreo, Bosques y Carbono smbyc@ideam.gov.co y el correo contacto@ideam.gov.co; a través de los cuales los usuarios de la operación estadística pueden realizar sus consultas y requerimientos de información de acuerdo con la circular 023 de 2023 expedida por IDEAM.
- Seminario Nacional de Bosques: evento que se realiza de manera anual entre los meses de septiembre y noviembre; donde diferentes grupos de interés como entidades públicas, academia, comunidades, sociedad civil y sector privado se reúnen para avanzar en el intercambio, la construcción y la transferencia de conocimiento e información estadística alrededor del monitoreo de bosques en Colombia. Así mismo, se realizan reuniones específicas con las entidades que lo soliciten para conocer sus necesidades y requerimientos de información.
- Encuesta de satisfacción de usuarios de información¹: recurso que tiene como objetivo identificar y caracterizar las necesidades de información, los usuarios de la información estadística y fortalecer el proceso estadístico de la operación estadística. Funciona mediante el diligenciamiento y respuesta de un cuestionario tipo formulario de Google Forms que está disponible todo el tiempo.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

La operación estadística consolida toda la información recibida a través de las diferentes herramientas y conforma un "Directorio de usuarios de información del monitoreo de la superficie de bosque natural"; así como un listado de requerimientos de información estadística sobre el monitoreo de bosques. Tanto para el directorio como para los requerimientos de información se consolidan variables como: nombre del usuario, tipo de usuario, datos de contacto, sector al que pertenece el usuario, temática de interés, las necesidades específicas de información, etc.

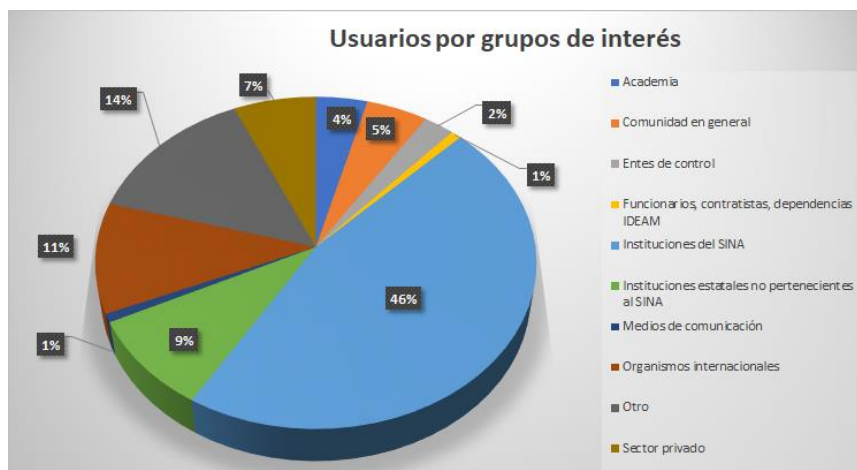
El grupo de la operación estadística revisa, caracteriza, analiza, prioriza y confirma las necesidades de información provenientes de los diferentes usuarios. Y como resultados de estas actividades, se obtiene y actualiza el directorio de caracterización de usuarios y la matriz de caracterización de necesidades de información estadística para la operación estadística. Estos documentos son actualizados de manera recurrente y periódica.

Así mismo, de manera anual (cuando aplica) se revisa la normatividad vigente y documentos de política pública a nivel nacional y requerimientos internacionales relacionados con el monitoreo y gestión de los bosques (Plan Nacional de Desarrollo, Plan Estadístico Nacional, documentos CONPES, Políticas, decretos, resoluciones, acuerdos supranacionales, Objetivos de Desarrollo Sostenible, iniciativas internacionales, convenios internacionales, etc); con la finalidad de identificar, caracterizar, analizar, confirmar y actualizar los nuevos requerimientos y usuarios de información estadística.

Caracterización, verificación y confirmación de usuarios y necesidades de información

Como resultados generales dentro de la identificación de usuarios el 46% hacen parte de las instituciones del Sistema de Información Ambiental Nacional- SINA; seguido por los Entes de control con un 14% y los organismos internacionales con un 11%. (Gráfica 1) Así mismo, el 88% de usuarios y solicitudes de información provienen de diferentes partes de Colombia, seguidas por el resto del mundo con un 11%, y México con un 1% (Gráfica 2).

Gráfica 1. Usuarios de la operación estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



Fuente: IDEAM, Encuesta de satisfacción de usuarios de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

Gráfica 2. Ubicación geográfica de los usuarios de la operación estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural



Fuente: IDEAM, Encuesta de satisfacción de usuarios de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

La mayoría de los usuarios y solicitudes de información provienen de Bogotá, seguidas de Antioquia y Valle del Cauca. El resto de los departamentos presentan un menor número de usuarios, solicitudes y requerimientos (Gráfica 3).

Gráfica 3. Ubicación de los usuarios de la operación estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



Fuente: IDEAM, Encuesta de satisfacción de usuarios de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

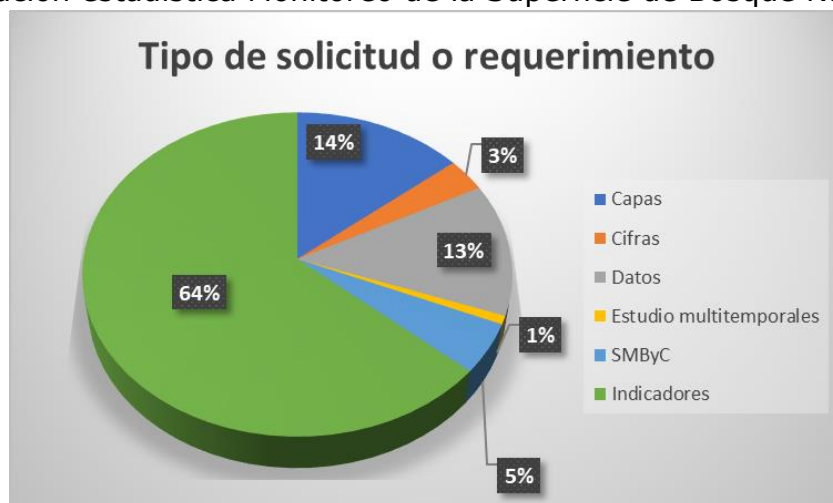
Respecto al tipo de necesidad, se identificó que el 88% corresponden a necesidades temáticas y el 12% a necesidades geográficas (Gráfica 4). Además, el 64% de los requerimientos de información se relacionan con solicitudes sobre indicadores, seguido con un 14% de capas geográficas y un 13% de datos (Gráfica 5).

Gráfica 4. Tipo de necesidad de los usuarios de la operación estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



Fuente: IDEAM, Encuesta de satisfacción de usuarios de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

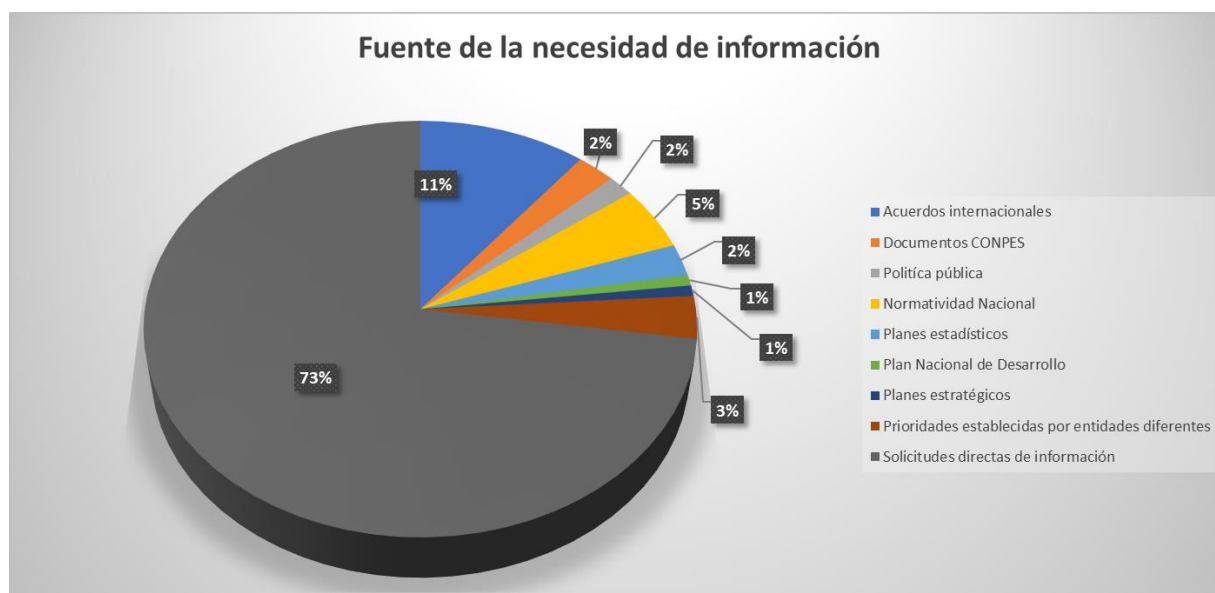
Gráfica 5. Tipo de requerimiento de información de los usuarios de la operación estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



Fuente: IDEAM, Encuesta de satisfacción de usuarios de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

Respecto a la fuente de la necesidad de información, se identificó que el 73% corresponden a solicitudes de información realizadas de manera directa a la operación estadística; seguidas de los acuerdos internacionales con un 11% y de la normatividad nacional con un 5% (Gráfica 6).

Gráfica 6. Fuente de la necesidad de los usuarios de la operación estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



Fuente: IDEAM, Encuesta de satisfacción de usuarios de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

Finalmente, el 97% de las necesidades de información fueron priorizadas, confirmadas y se les dio respuesta a los usuarios. El 3 % de las necesidades restantes, no han sido confirmadas, priorizadas ni resueltas (Gráfica 7); ya que fueron identificadas a través de la formulación del Plan Estadístico Ambiental y este Plan aún se encuentra en desarrollo. Actualmente las entidades del sector Ambiental a través del DANE se encuentran ejecutando reuniones para identificar de manera completa las necesidades de información estadística.

Gráfica 7. Priorización y confirmación de las necesidades de los usuarios de la operación estadística Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



Fuente: IDEAM, Encuesta de satisfacción de usuarios de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

2.1.2 Objetivo general y específicos de la operación estadística

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

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 con 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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).

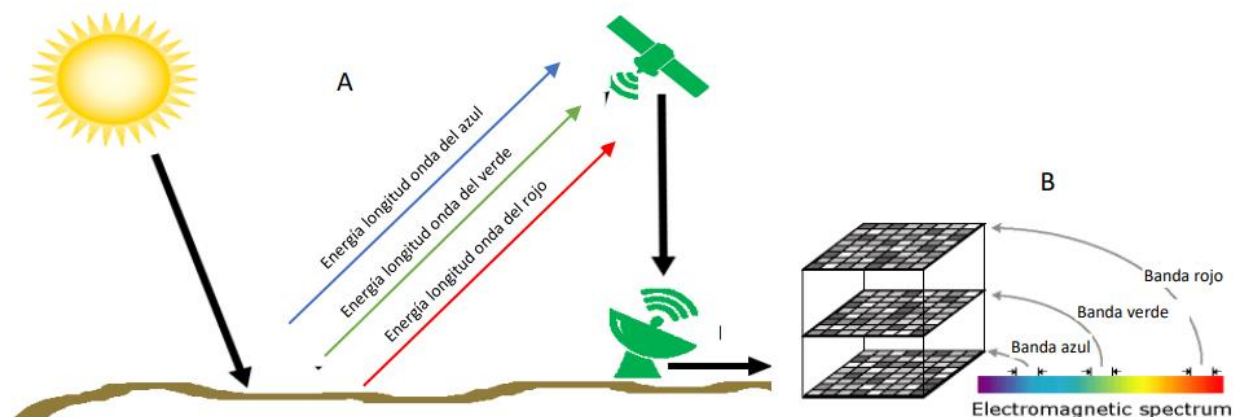
En este contexto, la CMNUCC reconoce que la clave de cualquier medición y reporte de carbono forestal es contar con datos confiables de la superficie (área) y del cambio en la superficie de los bosques e insta al establecimiento de sistemas de monitoreo forestal que permitan cuantificar estas variables, 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 píxeles 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 3).

Figura 3. Captura de la información en las imágenes de satélite ópticas.

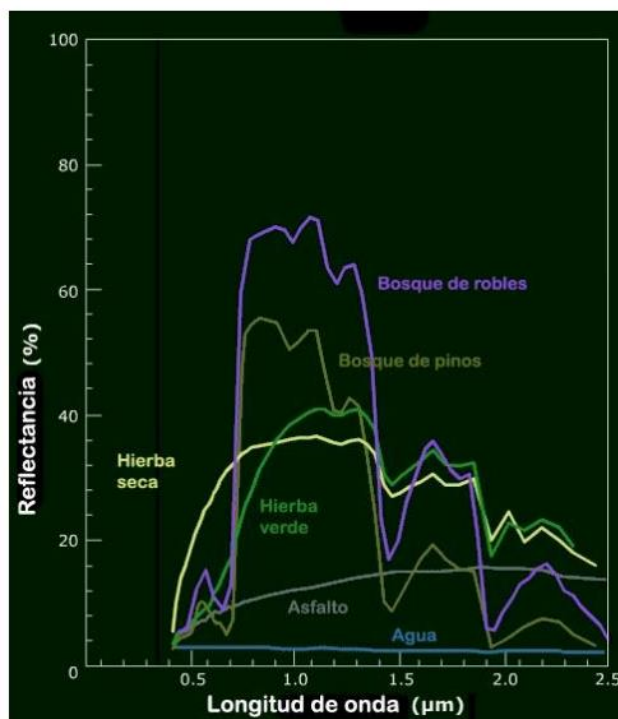


- A. El sensor remoto (satélite) captura la energía reflejada en la superficie terrestre en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético o banda espectral. B. Una vez se reciben y procesan los datos registrados por el satélite, la información de cada banda espectral es almacenada por separado en un archivo de formato raster en el que se representa la superficie terrestre mediante una rejilla de celdas o píxeles 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.

Fuente: 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 con 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 4).

Figura 4. 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.

Fuente: 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 bosques

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 revisita 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.

¹ ver marco conceptual



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- 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 8 puesto en órbita en febrero de 2013 con el sensor Operational Land Imager - OLI, y el más reciente es el satélite LANDSAT 9, lanzado en el 2021. 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 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 utilizados en la operación estadística son tomados del Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0.

- Banda: cada uno de los intervalos en los cuales el sensor remoto divide el espectro electromagnético para generar una imagen multispectral. Este concepto es aplicado generalmente a imágenes de tipo óptico.
- 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".
- Bosque estable: superficie que permanece cubierta por bosque natural tanto al inicio como al final del periodo de análisis.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- 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.
- Cambio en la superficie cubierta por bosque natural: 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 .
- Datos de actividad: los datos de actividad (DA) son datos que permiten observar la magnitud de las actividades humanas que dan lugar a las emisiones o absorciones que se producen durante un periodo de tiempo determinado (p. ej. Datos sobre áreas terrestres).
- Deforestación: es la conversión directa y/o inducida de la cobertura de Bosque a otro tipo de cobertura de la tierra en un periodo de tiempo determinado (DeFries et al., 2006; GOFC-GOLD, 2009).
- 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 uno 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 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.
- 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 mapas temáticos: grado en el cual el mapa producido concuerda con una clasificación de referencia.
- 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 le 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,



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

y en el que cada pixel 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 píxel, etc. Existe una relación lineal entre el ND grabado y la radiancia correspondiente a cada celda de terreno.
- Nivel de Reflectancia: valor numérico que representa una medida de la energía o flujo radiantes que es reflejado por un material o una superficie como función de la longitud de onda de dicha energía o flujo.
- 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.
- Proporción de la superficie cubierta por bosque natural: 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 .
- 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.
- Regeneración: se define como la recuperación de la cobertura de bosque de zonas donde no estaba presente en fechas anteriores.
- Resolución: nivel de detalle con el que se es posible identificar los elementos sobre las imágenes y se relaciona con la unidad mínima de almacenamiento de datos o píxel.
- Resolución espacial: este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre la imagen; suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la imagen. Se mide en unidades de longitud definida como el número de píxeles por unidad de medida (milímetros sobre la imagen o metros sobre



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

el terreno) y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie.

- Resolución espectral: longitudes de onda en las cuales un sensor es capaz de adquirir información. La fotografía puede ofrecer películas pancromáticas, infrarrojo blanco negro, color natural o infrarrojo color.
- Resolución radiométrica: cantidad de energía que se puede medir en una escala radiométrica en el sensor. En el caso de los sistemas fotográficos, la resolución radiométrica del sensor se indica por el número de niveles de gris recogido por el mismo. Para evaluar la calidad radiométrica se evalúa un parámetro denominado "bit number".
- Resolución temporal: es una medida de la frecuencia con la que un satélite es capaz de obtener imágenes de una determinada área. También se denomina periodo de revisita. Es útil cuando se quieren realizar estudios multitemporales o evolutivos.
- Respuesta espectral: ver definición 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 definición teledetección.
- Sin Información: es la superficie que no fue posible interpretar en el momento de análisis debido a la presencia de nubes, sombras o vacíos en la imagen de satélite.
- Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC): es el conjunto de procesos, metodologías, protocolos y herramientas para la generación periódica de información sobre: i) la superficie de bosques de Colombia y sus cambios en el tiempo; ii) las reservas de carbono almacenadas en los bosques naturales; iii) las causas y agentes de la deforestación y la degradación de los bosques y, iv) las emisiones y absorciones de GEI asociadas a la deforestación y la degradación forestal. (Decreto 1655 de 2017).
- Tasa anual de deforestación: 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.
- 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 definición formato vectorial.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el apoyo financiero de socios nacionales e internacionales, comenzó un proceso de fortalecimiento



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 Bosques y Carbono (SMBByC).

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 deforestadas, 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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, 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 SMBByC 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 parágrafo 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

² Consultado en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/9.-Politica-Nacional-de-Cambio-Climatico.pdf>



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

boscosa, que permita la toma de decisiones y acciones en el marco de la Comisión.

Por otro lado, 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 - SMBByC, (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 SMBByC 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.

En el año 2020, la Política Nacional para el control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques (Documento CONPES 4021), establece como objetivo la reducción del 30 % de la deforestación con proyección al 2022, 100.000 hectáreas de deforestación en el año 2025 y para el año 2030 la meta es alcanzar cero deforestaciones a nivel nacional. Para el cumplimiento de la meta cero deforestación neta, la Política contempla cuatro estrategias: (i) integrar estrategias de aprovechamiento sostenible de los bosques para mejorar la calidad de vida y la economía local de las comunidades; (ii) articular acciones transectoriales que permitan el trabajo conjunto del Gobierno nacional para gestionar los bosques y atender conflictos territoriales; (iii) promover estrategias de prevención y control territorial para reducir las dinámicas ilegales, y (iv) fortalecer la gestión de la información para la toma de decisiones.

Finalmente, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "*Colombia, potencia mundial de la vida*" en la cuarta transformación (d) Transformación productiva, internacionalización y acción climática, contempla dos indicadores relevantes para el monitoreo de bosques: 1. Deforestación nacional (medido en hectáreas deforestadas), y 2. Áreas en proceso de restauración, recuperación y rehabilitación de ecosistemas degradados. A su vez, a través del catalizador A. Naturaleza vida, rehabilitación con inclusión social; se establece el programa Freno a la Deforestación, el cual implementará el plan de contención de la deforestación en los principales núcleos activos de deforestación, con énfasis en la Amazonia y los municipios de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET), para transformarlos en núcleos de desarrollo forestal y de la biodiversidad. Además, indica la ejecución de esfuerzos conjuntos para desarticular estructuras criminales relacionadas con la deforestación y la



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

actualización e implementación del plan nacional de prevención, control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas.

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 SMyC 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) 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 meta (15.1.1) 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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, Colombia 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 interinstitucional 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 mínimas 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, 2010 – 2012, 2012-2017 y 2022. 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 Climático (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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos

La operación estadística del Monitoreo de la superficie de bosque natural contempla dos variables:

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 del año de análisis o del año anterior, a las que se les asigna un valor de: 3 "sin información".

Indicadores estadísticos

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 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.
- 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 con el formato y contenidos establecido por el IDEAM, 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Acorde con el contenido especificado en la hoja metodológica (Anexo 1), 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 ¹

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 identificando las unidades de observación (pixeles) 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:



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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

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 píxel (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 t1 y t2.

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:

$$CSBN_{j(t1:t2)} = \frac{SR_{j(t1:t2)} - SD_{j(t1:t2)}}{t2 - t1} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

CSBN_{(j,(t1:t2))}: Cambio de la superficie cubierta por bosque natural en la unidad espacial de referencia j, ocurrido entre los años t1 y t2 del periodo de análisis, expresado en hectáreas (ha).

SR_{(j (t1:t2))}: Superficie regenerada en la unidad espacial de referencia j entre los años t1 y t2 del periodo de análisis, expresada en hectáreas (ha).

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

t1 y t2 : 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 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 t: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;



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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):

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

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)²

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

$t1$ y $t2$: 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, asignando a las unidades de



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 t_1 y t_2 ($SD_{j,(t_1:t_2)}$) se calcula utilizando la ecuación 5. La variable $SCBE_{j,(t_1:t_2)}$ se calcula con la siguiente fórmula:

$$SCBE_{j,(t_1:t_2)} = nBE_{j(t_1:t_2)} * A \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde,

$nBE_{j,(t_1:t_2)}$: Total de píxeles (unidades de observación) codificadas como Bosque Estable dentro de la unidad espacial de referencia j para el periodo $t_1:t_2$.

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.

Disponibilidad de los datos

Es importante destacar que, por la naturaleza de los datos producidos en el proceso estadístico y el fenómeno estudiado, actualmente no existen otras operaciones estadísticas en el Sistema Estadístico Nacional y en otra entidad de alcance nacional que produzcan información estadística parecida ni que satisfaga las necesidades identificadas alrededor del *monitoreo de la superficie de bosque natural*.

La principal característica de esta operación es que es única en su tipo, por ello la entidad productora es la única con disponibilidad de datos con este alcance temático.

2.1.6 Resultados estadísticos

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- 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.
- Reporte técnico

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 (Ver anexo 2). 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.

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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- **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 (ver anexo 3). 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.

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

SIRGAS EPSG:3116. Se generan a nivel nacional en formato raster (*.tif o *.img) e incluyen todas las unidades de observación (píxeles 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).

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 (Ver Anexo 4). Los mapas se generan con el formato diseñado por el IDEAM, que incluye como mínimo:

- Título del mapa.
- Leyenda con los colores definidos para cada clase.
- Información acerca del sistema de referencia geográfico.
- Logos del IDEAM, Ministerio de ambiente 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.

e. Reporte técnico

El reporte técnico presenta un análisis de los principales resultados e incluye un análisis de la dinámica de la superficie deforestada a lo largo de los años. También incluye una descripción de la metodología implementada, las imágenes utilizadas y procesadas, proceso de detección de cambios por deforestación, la evaluación de la exactitud temática. Este informe también incluye la actualización de las cifras de monitoreo de bosque del periodo de análisis en cuanto a la superficie de bosque y de cambio en la superficie del bosque natural. Esta dinámica se reporta tanto a nivel nacional como a nivel regional (Departamentos y Corporaciones autónomas regionales). Por otro lado, se realizan análisis espaciales de la dinámica de la deforestación a nivel nacional y regional tal como el análisis de tendencias para los municipios de mayor deforestación, el análisis de tamaños de los parches deforestados y la dinámica de los puntos de calor-deforestación. En este análisis se incluye también el análisis de las principales causas de la deforestación, las tendencias espaciales



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

de aceleración/desaceleración de la deforestación y el reporte de emisiones asociadas.

2.1.7 Estándares estadísticos utilizados

Nomenclaturas y clasificaciones

Dentro de las nomenclaturas y clasificaciones utilizadas por la operación estadística, para el nivel de desagregación geográfica departamental, la operación estadística emplea la capa geográfica de los límites geográficos definidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC 2022); los cuales corresponden a las fronteras o líneas que delimitan una zona geográfica específica, ya sea a nivel de departamento, municipio o cualquier otra entidad territorial. Estos límites se establecen mediante acuerdo legal y se representan gráficamente en mapas, cartografías y otros documentos geográficos.

Así mismo, para la desagregación por Corporación Autónoma Regional se utiliza la capa geográfica de límites de Autoridades Ambientales de Colombia; la cual contiene los límites de las jurisdicciones, nombres y siglas de las corporaciones.

Además, de acuerdo con el Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0, tanto para la Capa de cobertura de bosque-no bosque, como para la Capa de cambio de la cobertura de bosque-no bosque, la operación estadística emplea diferentes categorías o clases, las cuales tienen asignados los siguientes códigos numéricos

Capa 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". 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:

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

Tabla 3. Valores de las variables por categorías o clases

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.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Capa 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 siguiente información a partir de los Códigos almacenados para identificar cada una de las clases o categorías correspondientes:

Tabla 4. Valores de las variables por categorías o clases

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

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

2.1.8 Diseño del cuestionario o definición del instrumento de recolección.

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. El protocolo se encuentra disponible para consulta en: [Publicaciones - Google Drive](#)

Formato de registro e inventario de las imágenes adquiridas y del pre-procesamiento aplicado: tabla en la que se registran cada una de las imágenes de satélite adquiridas donde los intérpretes registran 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.

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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Formato de control de procesos de calidad: tabla interna de trabajo 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.

2.2 DISEÑO ESTADÍSTICO

En esta sección se presenta el diseño estadístico definido para el monitoreo de la superficie de bosque natural; el cual corresponde a un censo a partir de imágenes satelitales.

2.2.1 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 el marco geoestadístico los datos publicados por el IGAC tienen un área de 114.064.555 ha. (Figura 5).

Figura 5. Superficie de bosque natural para Colombia año 2023.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

2.2.2 Población objetivo

La población objetivo de la operación estadística corresponde a la totalidad del territorio colombiano continental e insular de San Andrés y Providencia.

2.2.3 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.

2.2.4 Desagregación geográfica

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

2.2.5 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.

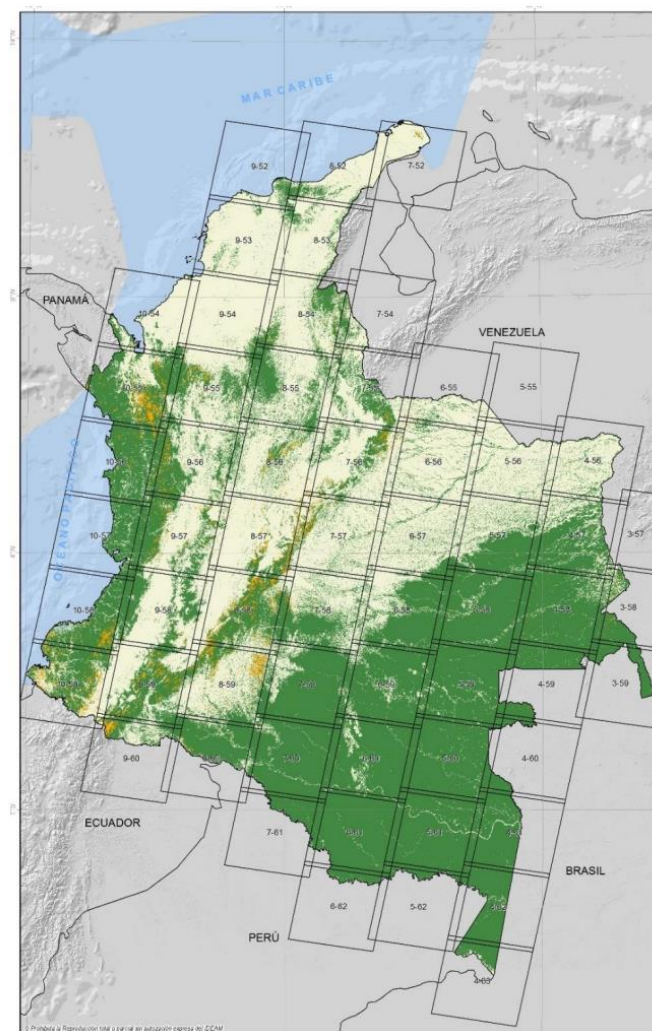
2.2.6 Fuentes de datos

Los datos utilizados en la operación estadística provienen de un censo a partir de imágenes de satélite, 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 OLI 8 y OLI 9, con un nivel de procesamiento L1 y L2. Las imágenes se obtienen del catálogo del USGS (<https://earthexplorer.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 6). 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 píxel corresponda fecha tras fecha a la misma unidad de observación.

Figura 6. 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.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

2.2.7 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 píxeles de los 1.227'045.240 píxeles de 30,72 x 30,26 m en el sistema de proyección Magna SIRGAS, 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 píxel, 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.

2.2.8 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 corresponde a las imágenes de satélite tomadas entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año de monitoreo. Es decir, para el año 2023 se completan diez periodos de monitoreo anuales.

2.2.9 Periodo de recolección/acopio y frecuencia

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. Sin embargo, en los últimos periodos el proceso de recolección está empezando desde el último trimestre del año anterior, y termina el año siguiente.

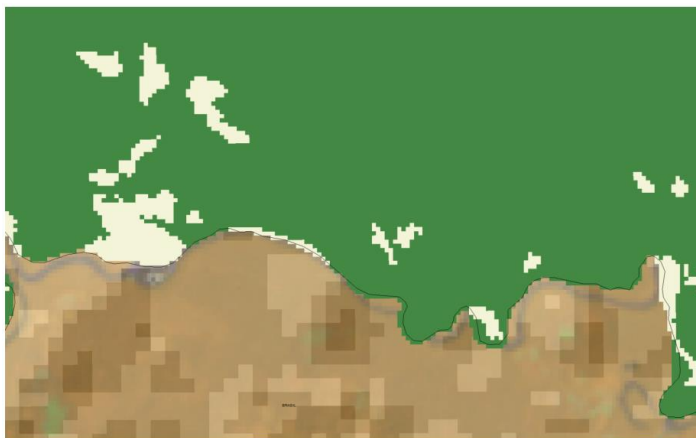
2.2.10 Marco estadístico censal

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 píxeles de 30,72m x 30,26 m en

el sistema de proyección Magna SIRGAS EPSG 3116 desde las 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 declarado por el IGAC. 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 7)

Figura 7. 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.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Para garantizar que en cada periodo se monitorea la misma unidad de observación (píxel), 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 2 las cuales son descargadas por el IDEAM, suelen tener una correspondencia exacta a nivel de píxel (L2SP); 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. Así mismo, no se manejan datos personales o sensibles que deban ser anonimizados en algún momento del proceso.

De todos modos, es importante destacar que mediante la Resolución No. 2821 de 2016 el IDEAM adoptó la "Política de Tratamiento y Protección de Datos Personales", con el fin de regular las acciones que el Instituto realiza en lo relacionado con la recolección, almacenamiento, tratamiento, administración y protección de la información de los usuarios. Mediante Resolución No. 0371 del 30 de abril de 2021, el Instituto actualizó la Política General de Seguridad y Privacidad de la Información, Seguridad Digital y Continuidad de la Operación de los servicios del IDEAM, y definió los lineamientos de uso y manejo de la información, conforme a las directrices establecidas en la Política Nacional de Confianza y Seguridad Digital, expedida mediante el CONPES 3995 de 2020. Esta política tiene como propósito "asegurar la confidencialidad, integridad, disponibilidad, no repudio y autenticidad de la información, con el desarrollo de buenas prácticas que permitan a la entidad gestionar de forma integral riesgos de seguridad y privacidad de la información y seguridad digital, para la prevención de incidentes que puedan comprometer o generar perjuicios severos al IDEAM" y es aplicable a todos los niveles funcionales y organizacionales del instituto, a todos sus funcionarios, contratistas, proveedores, operadores, así como aquellas personas o terceros que utilicen, generen, procesen, recolecten, consulten, compartan e intercambien su información, así como las entidades de control, y demás entidades relacionadas que accedan, ya sea interna o externamente a cualquier activo de información, independientemente de su



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

ubicación. Adicionalmente, se cuenta con el Manual de Políticas de Seguridad de la Información mediante el cual se garantiza la efectiva aplicación e implementación de la política referida.

2.2.11 Ajustes de cobertura

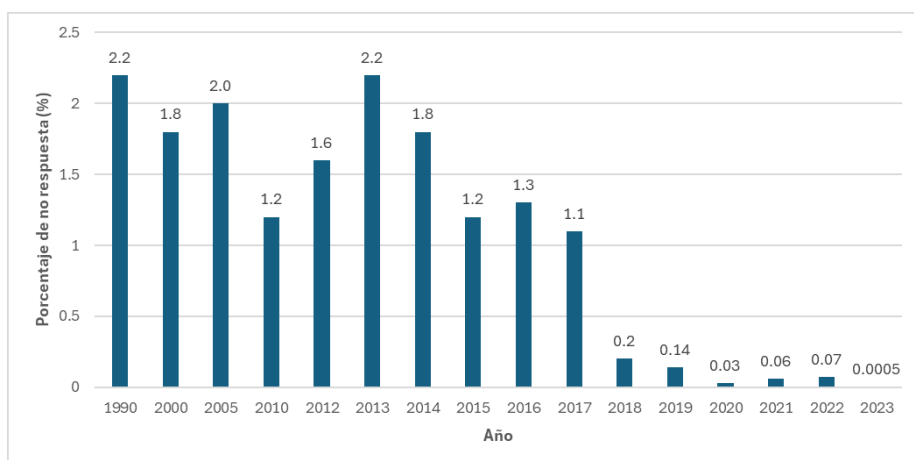
El marco censal de la operación estadística corresponde a un marco de áreas, que, como se mencionó antes, se define a partir de la cartografía de límite oficial del país generada por el IGAC, y en el cual las unidades de observación (píxeles) cubren el límite oficial continental e insular de San Andrés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

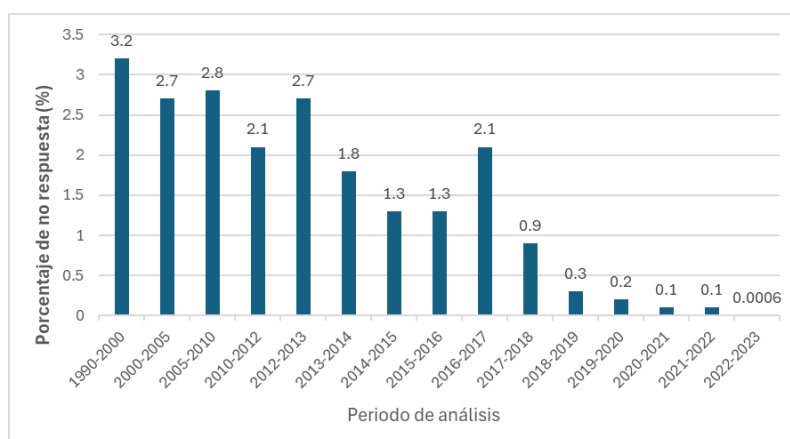
Para la variable "cobertura de bosque natural" el porcentaje de no respuesta en la serie histórica 1990- 2016 es inferior al 2,2% (Figura 8), mientras que el porcentaje máximo para el mismo periodo de la variable "cambio de la cobertura de bosque natural" es de 3,2% (Figura 9); este último incluye las unidades sin información tanto en el año inicial como en el año 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). Esta reducción de los últimos años refleja datos cada vez menores para esta variable llegando a porcentajes cercanos a cero.

Figura 8. Porcentaje de no respuesta en la variable "cobertura de bosque natural" para la serie histórica 1990 – 2023, debido a la presencia de nubes, sombra y bandeamiento (gaps) en las imágenes de satélite.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Figura 9. Porcentaje de no respuesta en la variable "cambio de la cobertura de bosque natural" para la serie histórica 1990 – 2023, 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.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Control del sesgo: la operación estadística contempla diferentes mecanismos para disminuir el sesgo y así asegurar la completitud y la veracidad de la información. Estos mecanismos se explican de manera detallada en las

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

siguientes secciones del presente documento: 2.3.8. *Diseño de la estrategia de seguimiento y control*, ítem *Control de calidad temático del mapa de cambio de bosque por zona*. 2.4.1 *Consolidación/Integración de archivos de datos*, ítem *Verificación visual de los cambios detectados por parte del interprete*. Y la sección 2.5.1 *Métodos de Análisis de Resultados*, ítem *Análisis Estadístico*.

Normas, especificaciones o reglas de edición e imputación de datos

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 siguiente tabla:

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

Tabla 5. 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN **Documento metodológico de la operación** **estadística "Estadísticas del Monitoreo de la** **Superficie de Bosque Natural"**

Código: GCI-BN-MO001
 Versión: 01
 Fecha: 11/12/2025

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 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.	Verificación de los casos mediante "revisita" a la información fuente para asignar el valor correcto
		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.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

Etapas	bosque - no bosque)	Normas y reglas de validación y/o consistencia	Ajuste por no cumplimiento
		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

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

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

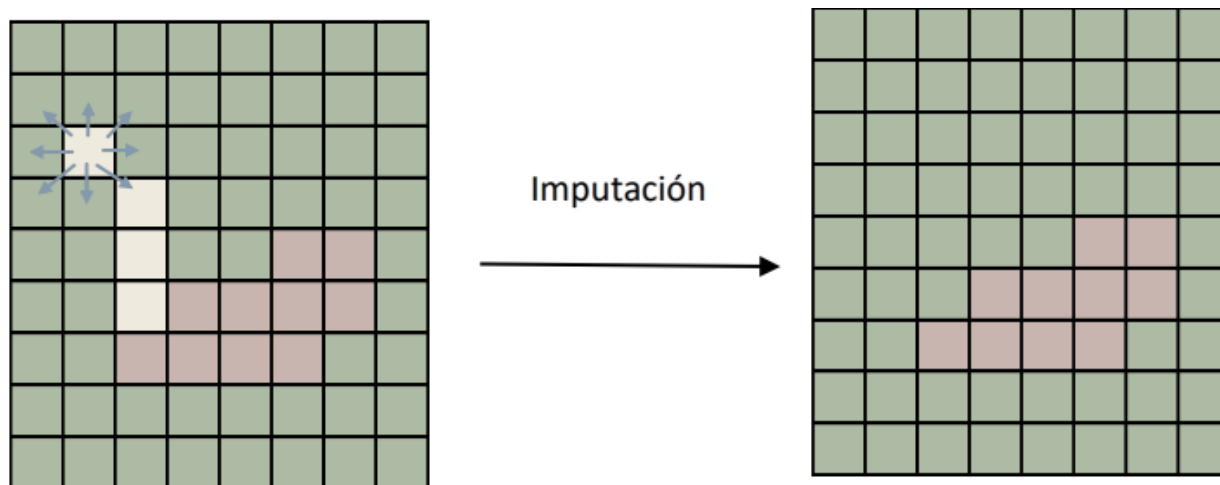
Imputación de valores para las superficies con un área mínima de 1 hectárea (ha)

De acuerdo con la definición de 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 10).

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 11).

Figura 10. Ejemplo de validación e imputación para áreas menores a 1 ha



En el ejemplo los pixeles 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 pixeles 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 pixeles 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.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

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". 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:

1. Imputar valores para unidades de observación clasificados como "Sin información" en periodos anteriores de la serie histórica.
2. Ajustar las inconsistencias temáticas en la serie histórica.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 11 y en la tabla 6.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

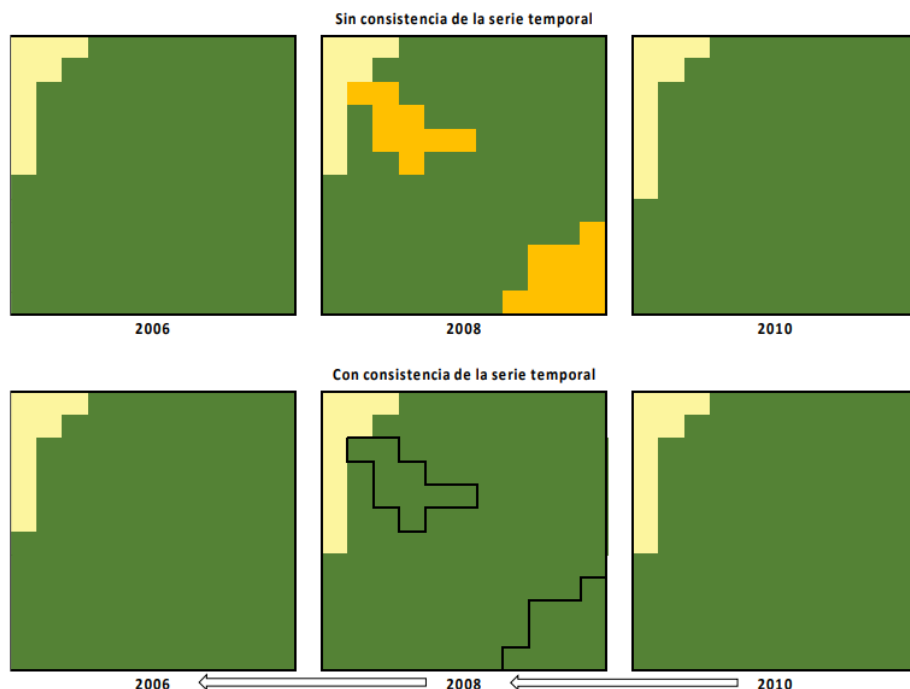
Tabla 6. Ejemplos de imputación en pixeles (unidades de observación) con valores de "sin información" en la variable "cobertura de bosque natural", a partir de los datos de la serie de tiempo histórica.

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

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Figura 11. 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.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Imputación de valores en unidades de observación inconsistentes temáticamente:

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

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

Tabla 7. Consideraciones para tener en cuenta en el proceso de validación e imputación.

Regla de validación	Imputación para el ajuste por consistencia
En una misma unidad de observación no se puede registrar dos eventos de deforestación en un periodo inferior a 10 años en la serie de tiempo histórica	Revisión de la consistencia temporal, Si en una unidad de observación se incumple la regla, La deforestación es recodifica a no bosque estable.
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	Si no se cumple, se recodifica al valor del 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	Si no se cumple, se recodifica al valor del periodo anterior

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

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 8.

Tabla 8. 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					

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

2.3 DISEÑO DE LA RECOLECCIÓN / ACOPIO

2.3.1 Métodos y estrategias de recolección o acopio 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:

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), 8OLI (2013) y 9OLI (2021 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:

- **Selección y descarga de imágenes**

Para cada año de referencia, se descarga todo el catálogo de imágenes de los programas satelitales Landsat.

Específicamente para el año de referencia 2023, se descargó todo el catálogo de imágenes de los programas satelitales Landsat (OLI 8 y OLI 9) del nivel L2 (superficie de reflectancia), y los mosaicos de Sentinel, sensores (Sentinel 2A y Sentinel 2B), y se seleccionaron todas aquellas imágenes con menos del 90 % de cobertura de nubes y con una ventana temporal entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año de referencia, asegurándose de que todas las imágenes del último trimestre del año sean descargadas y procesadas. A través de la generación de compuestos temporales anuales de imágenes, se excluyen de cada imagen todos los píxeles de "nubes" y "sombras de nubes". Estos compuestos permiten identificar la superficie de bosque y sus cambios en el año de referencia. Así, para el año de referencia 2023, para Colombia se descargaron 2766 imágenes Landsat 8 y Landsat 9 correspondientes al nivel L2 de la colección 2, de las cuales se trabajaron 2293, las restantes se descartaron por porcentaje de nubes, todas estas se encuentran disponibles en el portal para



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

descarga (Earth Explorer) del USGS (United States Geological Survey o Servicio Geológico de Estados Unidos), así como en el servidor del IDEAM.

Cuando los datos Landsat y Sentinel no proveen una cobertura libre de nubes suficiente, se aplica un procedimiento para complementar el análisis con otras plataformas satelitales como Planet Labs. Las imágenes de Landsat se descargan desde la proyección geográfica nativa de acuerdo con la plataforma de descarga Earth Explorer (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-data-user-handbooks>)

- **Pre-procesamiento**

Esta etapa incluye el pre-procesamiento de las imágenes eliminando las áreas de nubes y sombras de las nubes y mejorando la calidad radiométrica para facilitar la identificación de los cambios de bosque, esto incluye los siguientes pasos:

1. Apilamiento de las bandas: una vez descargadas las imágenes, con el fin de tener más información y revisar zonas las cuales pudieron quedar sin información en el proceso de enmascaramiento por efecto de brumas y otros efectos atmosféricos, se reconstruyen mediante la unión de todas las bandas, descartando las que corresponden a la longitud de onda del infrarrojo térmico.

En el caso de Landsat 8 y 9 OLI, las capas de aerosoles y cirrus son también excluidas. Para el procesamiento y análisis de la detección de cambio, las bandas seleccionadas de las imágenes son extraídas y apiladas para cada una de las imágenes. Tanto para Landsat-7 ETM+ como para Landsat-8 y 9 OLI, estas bandas corresponden a rojo, infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) y dos infrarrojos de onda corta. No obstante, para cada misión, estas corresponden a bandas diferentes; así que para Landsat 4-5 TM y Landsat-7 ETM+, se selecciona la banda 3 (Rojo -0.631 - 0.692 nm), la banda 4 (infrarrojo cercano 0.772-0.898 nm), la banda 5 (SWIR-1 1.547-1.749 nm) y la banda 7 (SWIR-2 2.107 2.294 nm). Para Landsat-8 y 9 OLI, se selecciona la banda 4 (rojo 0.636-0.673 nm), la banda 5 (infrarrojo cercano 0.851 -0.879 nm), la banda 6 (SWIR-1 1.566 -1.651 nm) y la banda 7 (SWIR2 2.107- 2.294 nm).

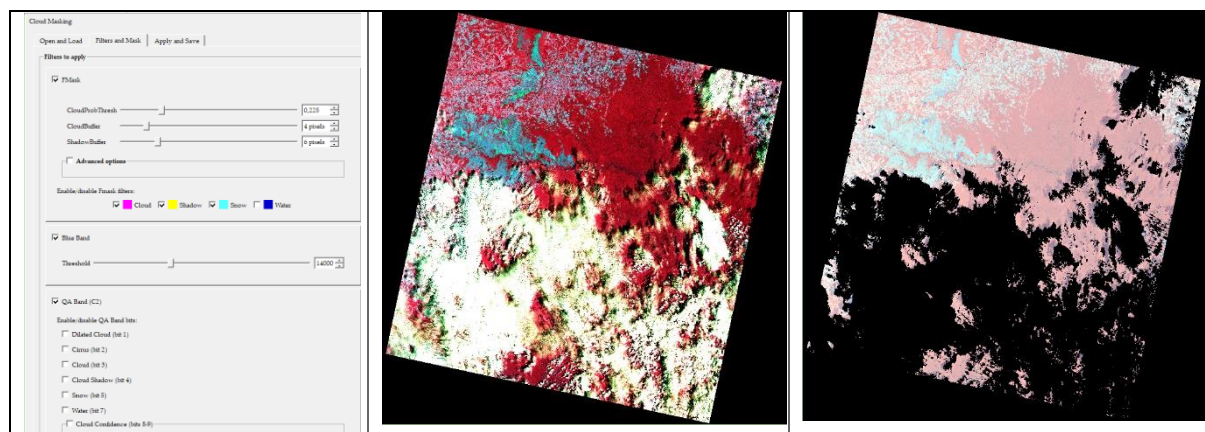
Las imágenes descargadas y apiladas, se almacenan en directorios internos del IDEAM que fueron establecidos en la estructura de datos, la nomenclatura de las diferentes imágenes se desarrolla a través de los scripts de Python específicos para cada una de estas, dichos scripts se encuentran disponibles en la página de algoritmos del SMByC <https://github.com/SMByC>

2. Corrección geométrica: para la construcción de los compuestos anuales de imágenes, se requiere tener un correregistro exacto en píxeles entre todas las

imágenes descargadas para cada escena. Los productos suministrados por el Earth Resources Observation and Science Center (EROS) suelen tener una correspondencia exacta de los píxeles. Sin embargo, antes de la interpretación se revisa cada imagen y se realiza la corrección geométrica únicamente para las imágenes que se encuentren con un desplazamiento sistemático, es decir, que estén desplazadas en alguno de los ejes o en ambos, pero de igual forma en toda la imagen se ajustan aquellas que no cumplan esta condición. Para facilitar este proceso, se ha desarrollado un algoritmo para QGIS, disponible en <https://github.com/SMBYC/Coregistration-Qgis-processing>

3. Enmascaramiento de nubes y sombras: el proceso de enmascaramiento elimina las áreas de nubes, sombras o bruma presentes en las imágenes de satélite, mediante la implementación de un procedimiento semiautomatizado diseñado por el SMBYC, el cual cuenta con herramientas para agrupar los valores digitales de las nubes y las sombras, y así formar una máscara. La figura 12 representa un ejemplo de una imagen enmascarada.

Figura 12. Plug-in Cloud Masking, enmascaramiento de nubes y sombras de nubes, imagen del 3 de febrero de 2023.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

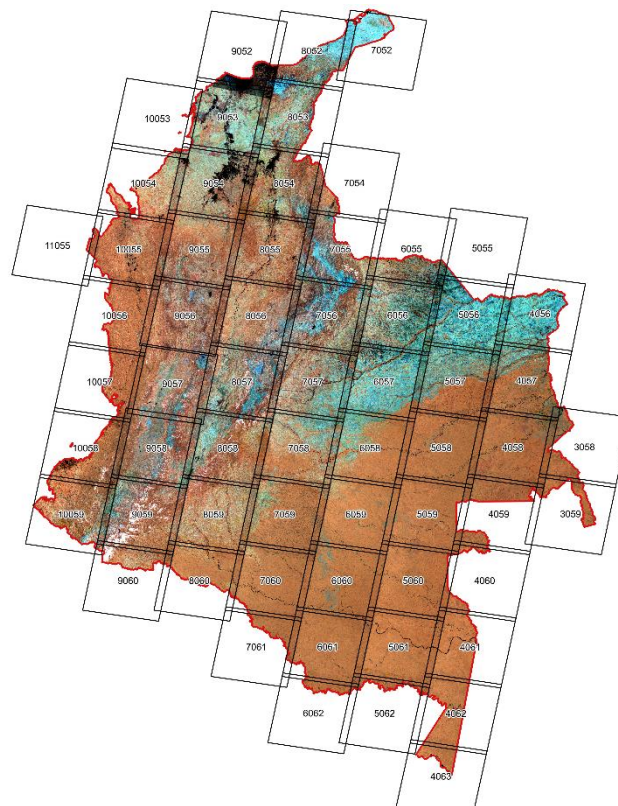
Para su implementación, se ha desarrollado un plugin denominado Cloud Masking, que funciona en el software QGIS e implementa una serie de filtros de enmascaramiento utilizados por el SMBYC del IDEAM (<https://github.com/SMBYC/CloudMasking>).

Las imágenes enmascaradas se someten a un proceso de control de calidad aplicando diferentes métricas estadísticas, diseñadas para dar resultados de muy alta calidad. Para este proceso, se utilizan los mosaicos de mínimo valor, máximo valor, cantidad de fechas utilizadas y el último pixel del día Juliano.

Para construir los compuestos primero se aplica un algoritmo donde se renombran las imágenes de cada escena principalmente para identificar las fechas en las métricas que lo requieran dentro del procesamiento. Estos procedimientos se desarrollan a través de los scripts de Python específicos que se encuentran disponibles en la página del SByC (<https://github.com/SBByC>).

La figura 13 presenta la métrica del mínimo estadístico para cada píxel en 2023, que incluye todas las imágenes enmascaradas y revisadas por el proceso de control de calidad. Con esta métrica se identifican errores en el enmascaramiento de sombras que requieren de un mejor detalle en cada una de las escenas. El círculo rojo representa un ejemplo de una zona que requiere de ajustes, ya que aún tiene sombras que deben enmascarse. Los comentarios sobre los ajustes se envían a los intérpretes para ajuste y revisión.

Figura 13. Mosaico de mínimo estadístico del año 2023.

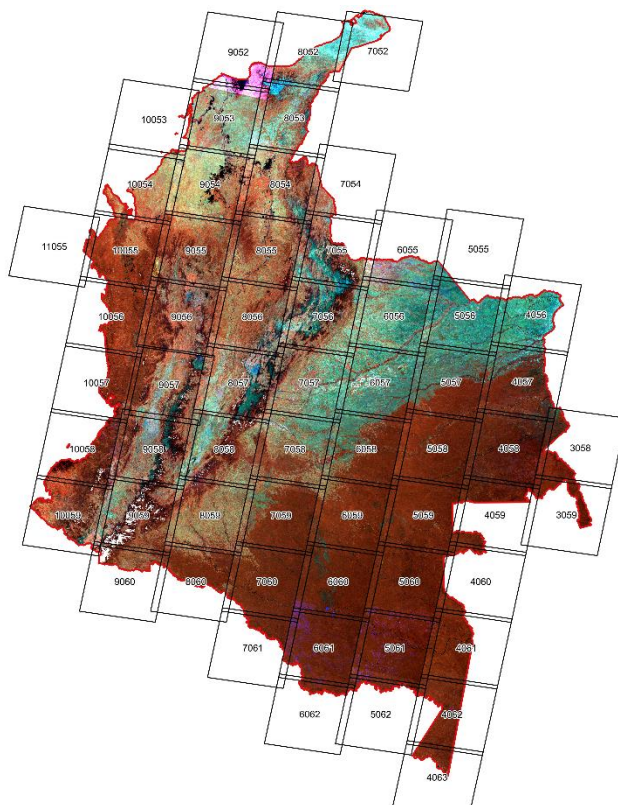


Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Adicionalmente, el control de calidad también evalúa las imágenes enmascaradas con otra métrica denominada máximo estadístico. Con esta métrica se determina si hay errores en el enmascaramiento de las nubes.

La figura 14 muestra un mosaico de máximo estadístico para el año 2023. El óvalo rojo representa un ejemplo de una zona que requiere de ajustes, ya que aún tiene nubes por enmascarar.

Figura 14. Mosaico de máximo estadístico del año 2023.

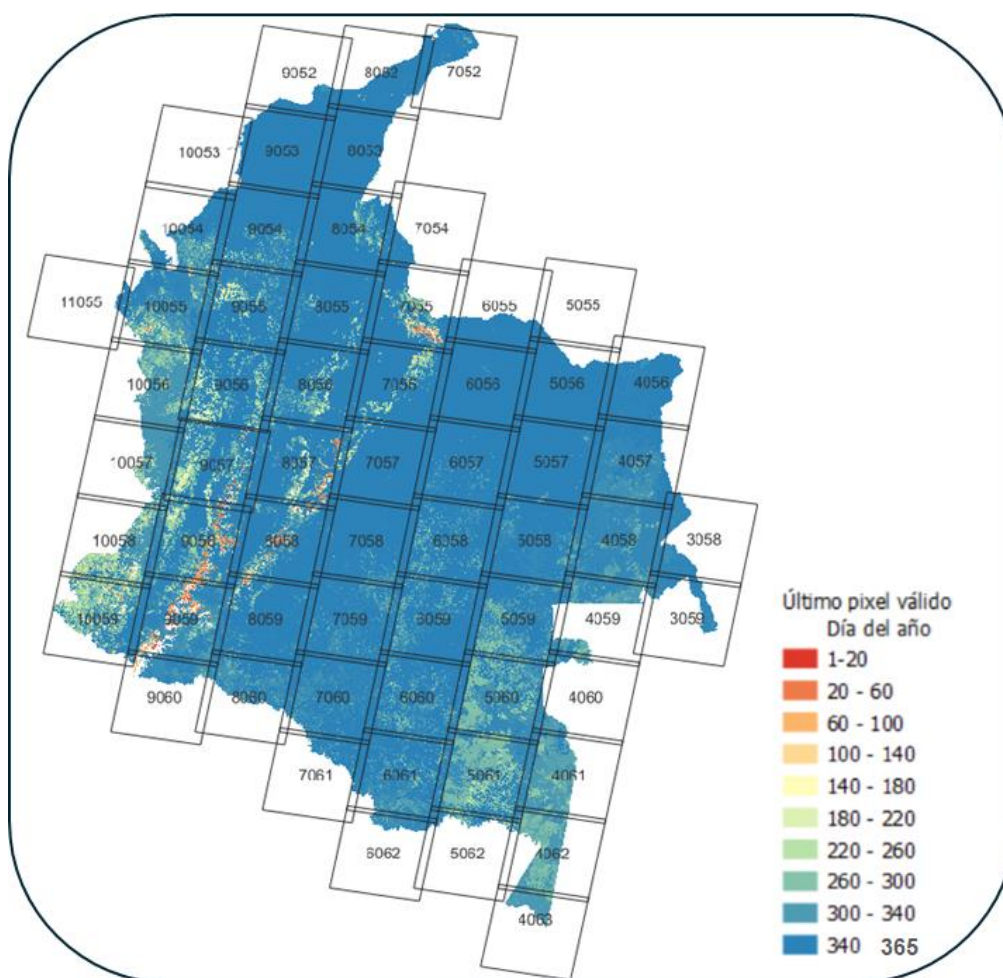


Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Es prioritario realizar una revisión más detallada a las imágenes utilizadas en el último trimestre del año y para ello se utiliza la métrica del pixel válido de la última fecha registrada, la cual indica, según la escala de valores, a qué día del año corresponde un determinado pixel. Esta métrica se denomina jday-last-pixel. Para aquellas áreas donde no se cuenta con datos de Landsat para el

último mes o trimestre del año, se prioriza el uso de imágenes Sentinel 2 o de Planetlabs. (Ver figura 15).

Figura 15. Mosaico de jday-last-pixel de 2023. Imágenes Landsat.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

4. Normalización radiométrica: una vez enmascaradas las imágenes, se realiza un proceso de normalización radiométrica relativa, en el cual se ajustan los valores radiométricos de forma que se reduzca la variabilidad entre las imágenes, debida a diferencias atmosféricas, de iluminación, calibración del sensor, distorsiones geométricas, entre otras, permitiendo así que las imágenes



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

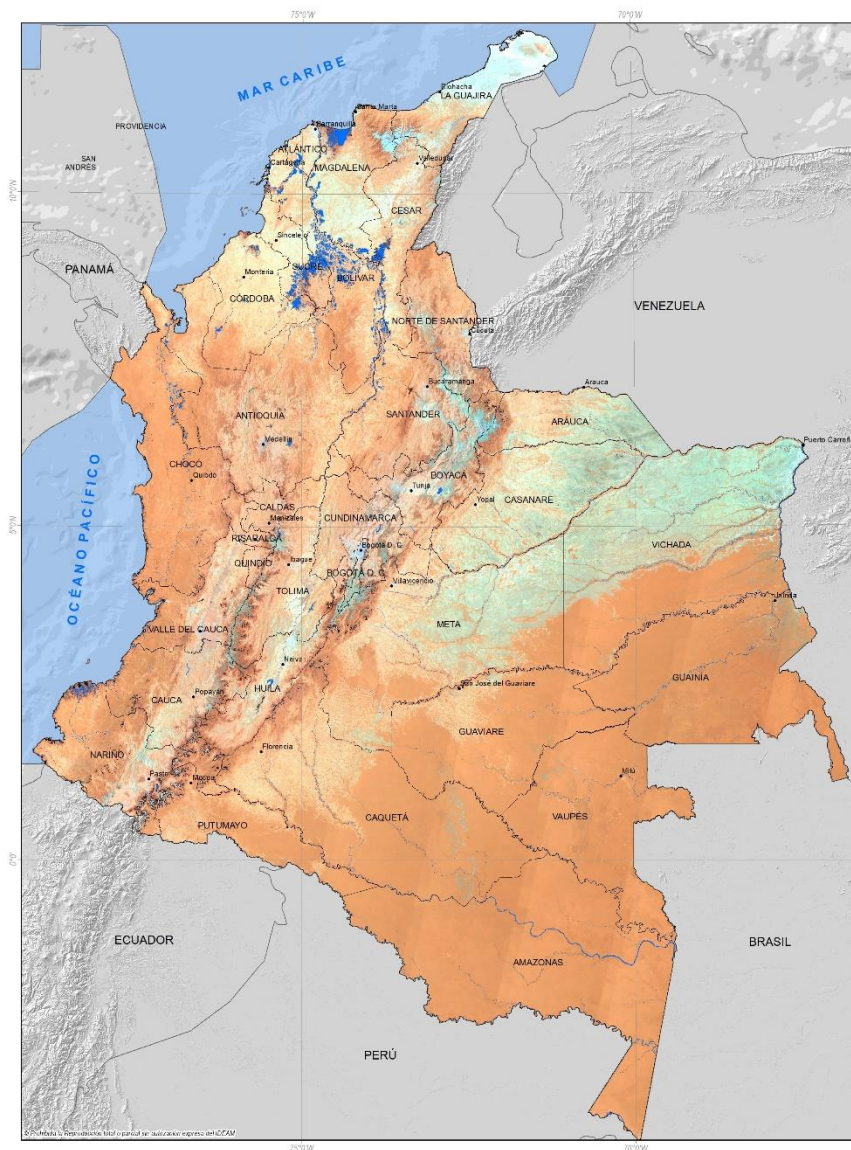
de los diferentes años sean comparables entre sí y los cambios detectados no se deban a este tipo de factores (Olthof et al., 2005; Potapov et al., 2012). La normalización radiométrica se hace para homogeneizar los valores de las imágenes de reflectancia en cada una de las cuatro bandas trabajadas.

Para ejecutar este procedimiento, se ha desarrollado un algoritmo en Python denominado ArrNorm este se puede encontrar en <https://github.com/SMBYC/ArrNorm-Qgis-processing> este algoritmo reduce las diferencias entre la base y cada una de las 2266 imágenes de 2023, con el objetivo de efectuar una normalización relativa y automática de todas las imágenes, apoyada en la propiedad de invariabilidad de la transformación de detección de alteración multivariante (MAD) y la regresión lineal ortogonal (Canty y Nielsen, 2007).

5. Generación de métricas estadísticas: para la generación de las métricas estadísticas se toma como base las imágenes anuales normalizadas de la colección 2 Landsat 8 y 9 y con ellas se genera la métrica geo-estadística de tendencia central conocida como mosaico de mediana, así como la métrica denominada mosaico de último pixel válido (Last-pixel).

El proceso de las métricas estadísticas se realiza empleando todas las imágenes disponibles para Colombia del año calendario correspondiente al año de reporte, con esto se implementa un procedimiento en el cual, para cada unidad de observación (píxel) se tiene una serie de tiempo anual con todos los datos de superficie de reflectancia válidos para ese año. De esta forma, para cada unidad de observación se obtiene un único valor radiométrico de superficie de reflectancia anual en cada una de las bandas radiométricas utilizadas (Rojo, NIR y SWIR-1 y SWIR-2). Ver figura 16.

Figura 16. Mosaico de Mediana estadística del año 2023.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Para ejecutar este procedimiento, se ha desarrollado un algoritmo en Python que corre en la plataforma Q GIS: <https://github.com/SMByC/StackComposed-Qgis-processing>.

La métrica de Last-pixel complementa los cambios encontrados con la mediana, al facilitar la identificación de cambios al final de cada periodo. Otros insumos, los cuales complementan la identificación de los cambios, son la métrica de la mediana y del último píxel de Sentinel 2 para cada periodo, imágenes y compuestos Planet Labs y, en algunas ocasiones, Worldview, así como capas de guía conocidas, tales como Google Earth, Bing y Esri, al igual que información secundaria de plantaciones forestales, cultivos de palma o de aprovechamiento forestal, entre otras.

2.3.2 Estructura organizacional del operativo y definición del equipo requerido (Actores)

El equipo está conformado por profesionales de diferentes áreas relacionadas con las ciencias de la tierra (Biólogos, Ingenieros Agrónomos, Catastrales, Civiles, Forestales, Economistas, etc.) con conocimientos y fundamentación en sensores remotos, procesamiento digital de imágenes y Sistemas de información Geográfica.

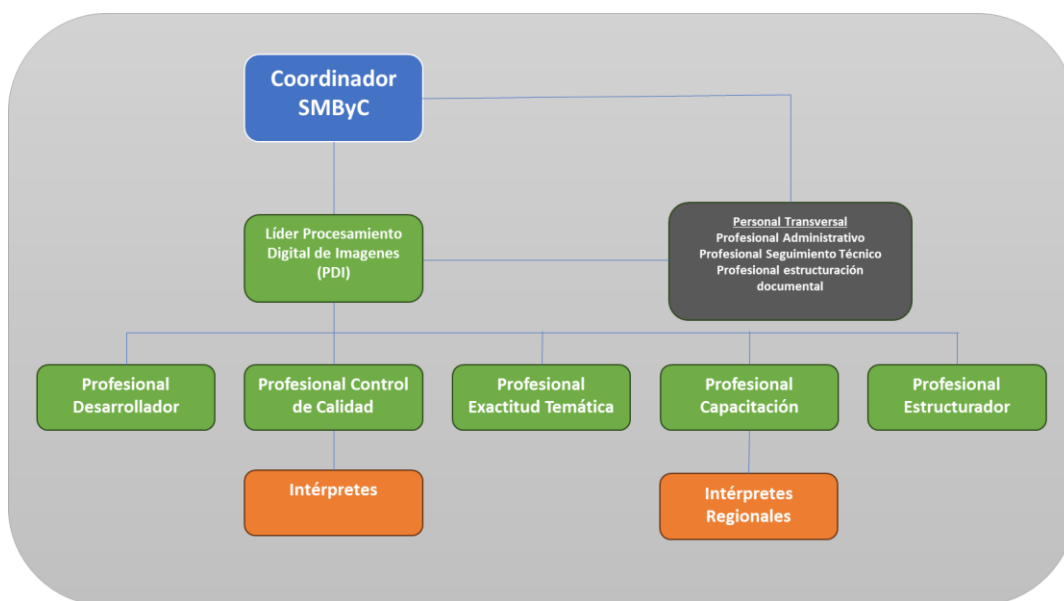
Los profesionales desarrollan tareas relacionadas con el procesamiento digital de imágenes, interpretación, e identificación de coberturas de la tierra, principalmente de bosque y análisis espacial, entre otras tareas propias de actividades de gestión y análisis de información geográfica; así como actividades de documentación, planificación estadística y calidad.

Se anota además la constante motivación en la integración de nuevas técnicas y procedimientos que permitan la continua optimización de procesos, integración de nuevas tecnologías, fuentes de datos y metodologías para el mejoramiento en la calidad de los resultados.

En la figura 17 se observa la organización de los profesionales dentro del grupo de trabajo.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

Figura 17. Organigrama del grupo de Procesamiento Digital de Imágenes para la generación de información del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural del SMByC.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Esquema operativo

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 se realiza en las instalaciones del IDEAM el proceso de descarga, preprocesamiento y procesamiento de las escenas de acuerdo con 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 estructura 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. Una vez finalizadas estas fases se realiza el proceso de evaluación de exactitud temática de los mapas generados.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

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 Ministerio de Ambiente y el IDEAM. Durante todo el proceso hay una persona encargada de entrenar a nuevos intérpretes y un programador de software de manera transversal se encarga de mejorar y volver más eficiente cada uno de los procesos.

Actividades en el Proceso de Control de Calidad

Las actividades y responsabilidades, que se determinan como primordiales para el proceso de control de calidad son:

Tabla 9. Actividades en el Proceso de Control de Calidad

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Interpretación, verificación y mejoramiento de resultados	La interpretación implica todos los procesamientos aplicados a un conjunto de datos satelitales e información de apoyo secundaria, conocimiento en terreno, etc. para la generación de un mapa de cobertura de bosque en una determinada extensión del territorio. Las tareas de ajuste, verificación y mejoramiento de resultados deben recalcarse y reforzarse en las tareas de interpretación pues la propagación de errores una vez consolidados los resultados por escena o área asignada pueden implicar un aumento en las tareas de corrección y ajuste a nivel nacional que retrasarían significativamente la generación a tiempo de los resultados.
Revisión, ajuste y mejoramiento metodológico	Nuevos algoritmos, software, técnicas y procedimientos que pueden mejorar u optimizar las tareas de interpretación, edición y consolidación de resultados deben ser probados, analizados y en lo posible incorporados en el proceso de generación de los resultados.

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Una vez diferenciados los actores, roles y procesos, se pueden establecer las acciones que cada actor debe tomar en un proceso. Estas básicamente se pueden definir como acciones de: Apoyo, Ejecución y Responsabilidad.

Responsabilidad: implica que el actor debe vigilar el proceso, resultado o tarea en todo el tiempo de ejecución. No es quien la desarrolla, entrega o ejecuta la tarea específica, pero debe entregar sus observaciones y comentarios a quien lo ejecuta una vez se ha establecido el proceso de seguimiento y evaluación de la tarea.

Ejecución: es el proceso que permite la generación del producto o la finalización de la tarea y/o actividad definida. Quien ejecuta debe emplear todos los medios y recursos disponibles para su elaboración o culminación.

Apoyo: en cualquier momento las responsabilidades o ejecuciones requieren el soporte o colaboración de otro de los actores del componente. Si bien no se debe delegar la responsabilidad o ejecución completa, los apoyos son fundamentales en el equipo y brindan la oportunidad de fortalecer las capacidades de los demás a actores y evitar los retrasos en las entregas de productos.

El análisis de matriz de responsabilidades permite definir y delimitar el campo de acción de cada actor en el proceso de generación de la información (Tabla 10).

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
---	--	--

Tabla 10. 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			

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural

2.3.3 Esquema de entrenamiento del personal

La operación estadística 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:



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 por medio de la aplicación de algoritmos para enmascaramiento
- Normalización radiométrica, corte y co-registro

MÓDULO 3.

- Generación de métricas a nivel nacional o regional.
- Cortes de áreas asignadas.
- Detención de cambios en la superficie de bosque, de acuerdo con la definición del protocolo.

MÓDULO 4.

- Edición de los datos.
- Generación de los datos de actividad
- Presentación de validaciones y controles de calidad temáticos.

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 con lo descrito en la metodología de la operación estadística, en la sección de Diseño de métodos y mecanismos para el control de la calidad.

2.3.4 Conformación del equipo

Para realizar la operación estadística en los tiempos establecidos, se requieren los siguientes roles y perfiles: Coordinador Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono, Líder Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), Profesional Estructurador Documental, Profesional de Control de Calidad, Desarrollador, Capacitador, Interpretes PDI, Estructurados de Información, Profesional administrativo, Profesional de Exactitud temática. Para mayor especificidad de puede consultar el Anexo del Manual operativo de la operación estadística.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Para la selección del personal de la operación estadística 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 con 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, junto con la operación estadística sobre monitoreo de la superficie de bosque natural 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.

Manejo de novedades operativas: la recolección de los datos de la operación estadística contempla la ocurrencia de eventos que imposibiliten la obtención de imágenes, se prevén acciones a seguir y controles a aplicar. Dichas causas, así como su evaluación y definición de controles, han sido definidos con base en la GUÍA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO E-SGI-G-003 y se encuentran documentadas en el Formato matriz de riesgos E-SGI-F018 del IDEAM.

2.3.5 Proceso de sensibilización y acuerdos de intercambio

Considerando que la fuente primaria de la operación estadística corresponde a imágenes de satélite, no es necesario llevar a cabo un proceso de sensibilización con respecto a dicha fuente.

Sin embargo, para la operación estadística se fomenta la interacción con los diferentes usuarios de la información y el reconocimiento de su importancia para el país, a través de socializaciones, charlas, talleres, seminarios o conferencias dirigidas a tomadores de decisiones, autoridades ambientales, actores sociales, organismos internacionales, academia y la ciudadanía en general.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

2.3.6 Relación de manuales, guías o instructivos

Para la operación estadística, se dispone de los siguientes documentos e instrumentos para su correcta ejecución y desarrollo:

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. El protocolo se encuentra disponible para consulta en: [Publicaciones - Google Drive](#)

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.

Formato de registro e inventario de las imágenes adquiridas y del pre-procesamiento aplicado: tabla en la que se registran cada una de las imágenes de satélite adquiridas donde los intérpretes registran 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.

Formato de control de pre-procesos: tabla en la que se registran los procesos aplicados previamente a las imágenes en las escenas asignadas para la generación de los mosaicos Nacionales.

Formato de control de procesos de calidad: tabla interna de trabajo 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 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.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

2.3.7 Diseño de la estrategia de comunicación y plan de contingencias

La estrategia de comunicación se enfoca en la divulgación, el acceso público a la información, y la participación de actores clave:

- **Divulgación:** se realizan comunicados de prensa, campañas en redes sociales y boletines electrónicos para maximizar la visibilidad de la operación estadística.
- **Acceso público a la información:** en la página del IDEAM, se tiene dispuesto un espacio, donde se publica la información, indicadores y resultados de la operación estadística. Así mismo se puede acceder de manera gratuita a los mapas para realizar su consulta y descarga. Finalmente, los scripts de Python específicos utilizados en la operación estadística, se encuentran disponibles en la página de algoritmos del SMyC <https://github.com/SMyC>
- **Participación de actores clave:** se llevan a cabo alianzas con otras entidades públicas y organismos internacionales para asegurar la relevancia y el apoyo en la producción de la operación estadística.

2.3.8 Diseño de la estrategia de seguimiento y control

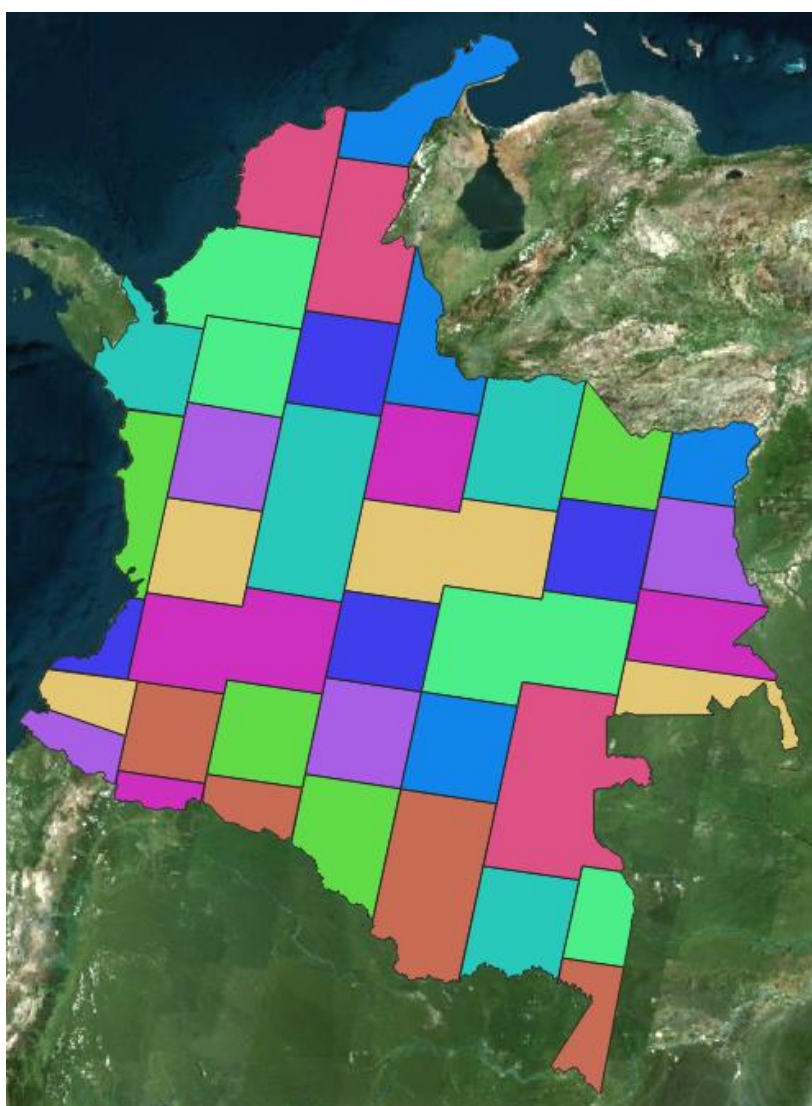
El proceso de control de calidad de la operación estadística implica el seguimiento de todas las actividades de ejecución, desde la descarga de las imágenes de satélite, los productos intermedios (preprocesamiento y procesamiento de las imágenes), hasta los resultados finales del Mapa de cambio de bosque 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. La operación estadística ha consolidado un conjunto de herramientas para garantizar la calidad, completitud y consistencia de los datos:

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 preprocesamiento (Anexo 5). Como la descarga, preprocesamiento y procesamiento de las imágenes son asignadas a los intérpretes por escenas (figura 18), cada intérprete reporta

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

Figura 18. Asignación de zonas de interpretación de cambios por deforestación, cada color se relaciona a uno de los intérpretes.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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

- La serie anual incluya imágenes distribuidas a lo largo del año para contar con información de las variaciones estacionales intra-anales. Esto dependerá de la disponibilidad de imágenes en el repositorio del USGS.
- Se incluyan imágenes de los últimos dos meses del año, de tal manera que puedan detectarse las deforestaciones ocurridas hasta final del año de monitoreo.
- Los productos intermedios se generen con la estructura y formatos definidos para el proceso, condiciones que son requeridas para aplicar los algoritmos de preprocesamiento 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 identifican 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. Este compuesto también es revisado de acuerdo con las reglas de validación establecidas.

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 6) 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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

Control de calidad temático del mapa de cambio de bosque por zona.

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 7).

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 5).
- 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 11. 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.

Clases	Validado por control de calidad (clase de referencia)				
Clase del mapa de cambio de bosque interpretada		BE	DEF	NBE	Total
	BE	20	0	0	20
	DEF	0	195	5	200
	NBE	3	0	53	56
	Total	23	195	58	276
Exactitud promedio total 98.7%					
Exactitud de usuario clase deforestación 100%					
Exactitud de productor clase deforestación 97.5%					

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural

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 de productor del 100% y del usuario del 95% para la clase de deforestación. Si los porcentajes de exactitud son inferiores, el intérprete revisa y ajusta nuevamente la capa, entregando una nueva versión de esta que pasa por el mismo proceso de control de calidad hasta cumplir con los criterios de calidad.

En el ejemplo de la Tabla 11 no se cumpliría con estos valores mínimos y el producto debería ser revisado ya que aunque el umbral se encuentra por encima del 95 % hay más de tres puntos que se encuentran como comisión.

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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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:

- **Compleitud del marco censal definido:** de acuerdo con la regla de validación se verifica que el 100% de las unidades de observación estén incluidas en el mapa.
- **Área mínima de 1 hectárea (ha):** la definición de bosque adoptada 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 las 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 especificaciones o reglas de validación, consistencia e imputación).

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

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):



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Exactitud total observada O, Exactitud de productor para las clases de cambio P_j y Exactitud de usuario para las clases de cambio U_i .

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 con la siguiente ecuación:

$$p_{ij} = W_i * \frac{n_{ij}}{n_{i.}}$$

- **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:

$$O = \sum p_{jj}.$$

- **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:

$$P_j = \frac{p_{jj}}{p_{.j}}$$



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- **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 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:

$$U_i = \frac{p_{ii}}{p_{i.}}$$

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.

2.3.9 Diseño de sistemas para la obtención de datos

La operación estadística corresponde a un censo a partir de imágenes de satélite, por lo tanto, se debe tener en cuenta que para el monitoreo de la deforestación se recomienda priorizar el uso de programas de procesamiento de imágenes de carácter libre, de código abierto y/o gratuito³, de acuerdo con la disponibilidad y aplicabilidad de los mismos. Los programas libres de código abierto permiten optimizar las tareas de procesamiento, adecuar algoritmos para las necesidades particulares del sistema de monitoreo, mejorando la calidad y tiempo de los procesos computacionales. Estas ventajas traen como

³ Se entiende por programas de código abierto aquellos cuyo código de programación está disponible para ser modificado o mejorado por cualquier persona, junto con otros criterios de distribución, accesibilidad, usuarios y licenciamiento no restringido que hacen parte de su definición (Open Source Initiative). Los programas libres se definen como aquellos en el que el usuario tiene libertad para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el programa, lo que implica un código de programación disponible (Free Software Foundation). La diferencia entre ambos radica en algunas consideraciones filosóficas. En ambos casos no necesariamente son gratuitos. Por su parte los programas gratuitos en muchos casos no son de código abierto.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

resultado un sistema de monitoreo cada vez más eficiente en el reporte de los datos y ubicación de los eventos de deforestación.

Por su parte el uso de programas gratuitos sea o no de libre distribución reducen la dependencia institucional de las licencias de tipo propietario con los costos y limitaciones de uso que conlleva, garantizando la sostenibilidad económica del sistema de monitoreo en el tiempo.

En todo caso los programas seleccionados deben ser puestos a prueba antes su adopción para el sistema de monitoreo, de forma que se obtengan los resultados esperados sin causar detrimento en la calidad, el tiempo de procesamiento y el esfuerzo necesario para realizar la tarea.

Además, se debe tener en cuenta que los métodos de pre-procesamiento y procesamiento automático reducen los errores aleatorios causados por desatención y falta de experiencia del intérprete. También facilitan el mejoramiento continuo de los resultados de manera estandarizada. Aunque todo procesamiento requiere un proceso de revisión y edición manual, se dará prelación a los procesos que reduzcan la intervención manual.

A continuación, se presentan los diversos recursos informáticos utilizados para el desarrollo de la operación estadística (Tabla 12):

Tabla 12. Programas y desarrollos informáticos utilizados en las diferentes etapas de la operación estadística.

Programa	Propietario	Procesos en los que se emplea
Qgis	Software Libre	Diseño, procesamiento y Análisis. Los plugins de Thrash, Cloud Masking, Acatama, CODC, Arrnom, PCA4CD y Stack Composed se encuentran en los repositorios oficiales de QGIS
Algoritmos en Lenguaje Python	Desarrollo propio	Para las fases de diseño, construcción, recolección y análisis. Los algoritmos están disponibles en https://github.com/SMB/Cy se les realiza un mantenimiento evolutivo.
ERDAS Imagine	Hexagon, Software propietario	Ajustes geométricos, reproyección de mapas en el sistema oficial Magna SIRGAS, análisis consistencia temporal
ArcGIS	ESRI Software propietario	Salidas gráficas y reportes para indicadores
PowerBI	Microsoft Software Propietario	Difusión de resultados

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Así mismo, para la operación estadística se implementa 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 (pixel) tiene información de coordenadas de localización de su centroide almacenados de manera implícita y única (de acuerdo con el orden que ocupa en la rejilla) y también se almacena un único valor temático asociado a este pixel. Es decir, el modelo de datos raster está compuesto por los 1.227'045.240 pixeles (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.

Acopio de datos no estructurados: para el correcto acopio o recolección de imágenes digitales, la operación estadística dispone de la infraestructura tecnológica y el talento humano requerido para la búsqueda, organización y acopio de esta información. Así mismo, el IDEAM cuenta con la infraestructura descrita en el documento GCI-OE-PN001 Plan para el cumplimiento de requisitos generales de la NTC PE 1000:2020. En cuanto a la organización y acopio de la información, las imágenes satelitales recolectadas, procesadas y analizadas anteriores se soporta en la capacidad informática de almacenamiento de los equipos y ordenadores de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental del IDEAM. En adición a esto, estas imágenes también se encuentran salvaguardadas en los servidores destinados para la operación estadística; donde a través de una estructura de datos, se acopian y organizan todas las imágenes.

2.3.10 Transmisión de datos

Para la operación estadística no se realiza como tal un proceso de transmisión de datos. Por lo tanto, al ser un censo a partir de imágenes de satélite, los datos se recopilan, organizan y archivan como se mencionó en la sección anterior.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

2.4 DISEÑO DEL PROCESAMIENTO

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

2.4.1 Consolidación y/o integración de archivos de datos

Detección del cambio de cobertura de bosque

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).

Para identificar el cambio de cobertura de bosque, se utiliza un método directo y automatizado, aplicando el análisis de componentes principales (PCA)⁴ sobre la matriz de correlación de los valores de los píxeles del compuesto temporal de medianas⁵ generado en el último paso de la recolección, para luego realizar una reclasificación de los valores de los píxeles⁶ al valor de la clase correspondiente. La leyenda y los valores asignados en la reclasificación para cada clase son:

1. Bosque Estable
2. No Bosque Estable

⁴ 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).

⁵ 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.

⁶ 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

3. Deforestación

4. Regeneración

5. Sin información (corresponde a los datos enmascarados debido a la ocurrencia de nubes y sombras de nube).

Para ejecutar este procedimiento, se ha desarrollado un plugin en el software Q GIS: <https://github.com/SMBYC/PCA4CD>

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

Verificación visual de los cambios detectados por parte del intérprete

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

- ❖ Bosque Estable
- ❖ Deforestación
- ❖ Sin información
- ❖ Regeneración
- ❖ No Bosque Estable

Para ejecutar este procedimiento, se desarrolló un algoritmo en Python que corre en un plugin de la plataforma Q GIS denominado ThRasE: <https://github.com/SMBYC/ThRasE> este software cuenta con una diversidad de ventanas y herramientas que facilitan la edición de los datos ráster temáticos y, además, se pueden utilizar todos los insumos mencionados anteriormente de manera interactiva.

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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.

Control de calidad y ajustes durante el proceso

Se implementa un estricto proceso de control de calidad que implica el seguimiento de todos los procedimientos ejecutados, desde la descarga de las imágenes de satélite y los productos intermedios hasta los resultados del mapa de cambio de bosque y el mapa de superficie de bosque. Además, se ha consolidado un conjunto de herramientas para garantizar la calidad, completitud y consistencia de los datos, a través de un script de Python ejecutado en Q GIS© para producir los informes de control de calidad para cada escena.

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 denominado como validación cruzada el cual consiste en ajustar de manera muy detallada los polígonos determinados como deforestación y también como revisión de posibles polígonos faltantes o que estén mal determinados como deforestación (este proceso lo realiza un intérprete



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

diferente al asignado inicialmente en cada una de las zonas de trabajo para ajustar y pulir el área de cada uno de los cambios), en este proceso el control de calidad organiza un muestreo aleatorio de puntos de control donde se revisa como mínimo el 33% de los polígonos ajustados por cada intérprete, y generando una matriz de confusión para establecer el nivel de exactitud temática alcanzado en este nuevo ajuste, si dentro del ajuste no se cumple con el porcentaje mínimo de exactitud la capa se devuelve al intérprete para una última revisión hasta obtener una versión final satisfactoria de acuerdo con 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).

2.4.2. Diccionario de datos, revisión y validación

Como se mencionó anteriormente la operación estadística maneja datos no estructurados; por lo tanto, no existe como tal un diccionario de datos; sino una estructura de datos que contienen las imágenes descargadas, procesadas y analizadas. Esta estructura de datos se encuentra en una carpeta de trabajo salvaguardada en los servidores informáticos destinados para la operación estadística. Además, existe un proceso de control de calidad para todas las imágenes; donde a través de tres formatos (Formato inventario de imágenes adquiridas y preprocesamiento, Formato de control de procesos y Formato de procesos de control de calidad), se realiza el seguimiento y control al manejo de todas las imágenes descargadas, procesadas y analizadas. Para estos tres formatos, existe un "diccionario de datos" en el cual se describen cada una de las variables o campos utilizados.

2.4.3. Diseño y/o determinación de la infraestructura tecnológica necesaria para el procesamiento

Para la ejecución de la operación estadística se debe contar con estaciones de trabajo que cumplan las siguientes características:



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN **Documento metodológico de la operación** **estadística "Estadísticas del Monitoreo de la** **Superficie de Bosque Natural"**

Código: GCI-BN-MO001
 Versión: 01
 Fecha: 11/12/2025

Tabla 13. Características mínimas de las estaciones de trabajo.

Requisitos Específicos Hardware	Tipo	Estación de trabajo tipo Torre
	Referencia	Referencia registrada internacional
	Dimensiones y peso	N/A
	Tipo de Procesador y características	Intel® Core™ i7/i9 o Xeon® W de última generación
	Memoria RAM	al menos 32 GB (2x 16 GB) de DDR5 Expandible a mínimo 128 GB.
	Disco Duro	Unidad de estado sólido (SSD) de al menos 1 TB Unidad HDD de 2 TB
	Monitor	Resolución mínima: 4K Tamaño mínimo: 30"
	Controladora de Video	NVIDIA RTX mínimo 4 GB GDDR6
	Web Cam y micrófono	N/A
	Unidad de DVD	Opcional
	Puertos	De 1-4 puertos USB-C y de 2-6 puertos USB-A
	Teclado	Teclado alámbrico para uso empresarial
	Mouse	Mouse alámbrico para uso empresarial
	Tarjeta de Red	Tarjeta de red Intel Ethernet mínima de 2.5 gbps
Garantía	Tarjeta inalámbrica	Opcional
	Vigencia de la Garantía	3 años de garantía extendida, la vigencia de la garantía se contabilizará a partir de la fecha del acta de entrega a satisfacción, instalación y puesta en funcionamiento. Debe incluir seguro contra daños accidentales por 3 años
	Trámite de Garantía	El proponente debe realizar las gestiones y/o trámites de garantía ante el fabricante. Para cumplir esta obligación, el proponente debe acreditar su calidad como distribuidor oficial.
	Tiempo de solución de fallas	El proponente deberá garantizar un tiempo de solución de fallas en sitio, menor o igual a 8 horas hábiles en Bogotá y un tiempo proporcional en otras ciudades.
	Soporte Técnico	El fabricante de los equipos, debe contar con una página web, que permita la descarga de controladores y software de valor agregado para los sistemas operativos soportados por el equipo, así como módulos de consulta, información y preguntas frecuentes sobre los equipos de la marca.
Requisitos Específicos Software	Distribución	El proponente debe anexar certificación expedida por el fabricante de los equipos ofertados en el cual acredite la calidad de distribuidor o representante autorizado para ofrecer sus productos en Colombia.
	Windows 10/11 Pro para Workstations, español. El Sistema Operativo debe contar con las últimas actualizaciones de Seguridad. Licencia Microsoft Office 365 por 3 años Herramientas para instalación del Sistema Operativo Windows 10/11 Pro OS Recovery Media 64bit - USB ANTIVIRUS: Kaspersky endpoint security, licencia gobierno ó McAfee® Small Business Security, Suscripción de 36 meses	
Otros requerimientos del adaptable al producto	Slots de expansión: (1) M.2 PCIe x1 2230 (para WLAN). (2) Conjunto M.2 PCIe x4 2280/2230 (para almacenamiento). (2) PCI Express v3.0 x1. (1) PCI Express v3.0 x16 (cableada como x4). (1) PCI Express v3.0 x16 Controladora de sonido: SD 4.0 con interfaz 5 en 1 (compatible con SD, SDXC, SDHC, UHS-I y UHS-II) Puertos: Frente (2 USB 2.0, tipo A 1 USB 3.1, tipo A (5 GB) 1 USB 3.1, Type C (10 GB) 1 ficha de audio universal. Interno 1 USB 3.0 4 SATA de 6 Gb/s. Parte trasera 2 USB 2.0, tipo A (con SmartPower), 4 USB 3.1, tipo A (5 GB), 1 teclado, PS/2 mouse PS/2, 2 DisplayPort 1, puerto opcional (VGA, HDMI 2.0, DP++ 1.2, Type C/modo DP-Alt), 1 conector de red RJ45, 1 serial, 1 ficha de audio universal Batería: PSU con 90% de eficiencia y 850 W (con certificación 80PLUS Gold) de conformidad con la norma Energy Star	

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Así mismo, como se describió en la sección 2.3.9 Diseño de sistemas para la obtención de datos, la operación estadística hace uso de programas de procesamiento de imágenes de carácter libre, de código abierto y/o gratuito, de acuerdo con la disponibilidad y aplicabilidad de estos.

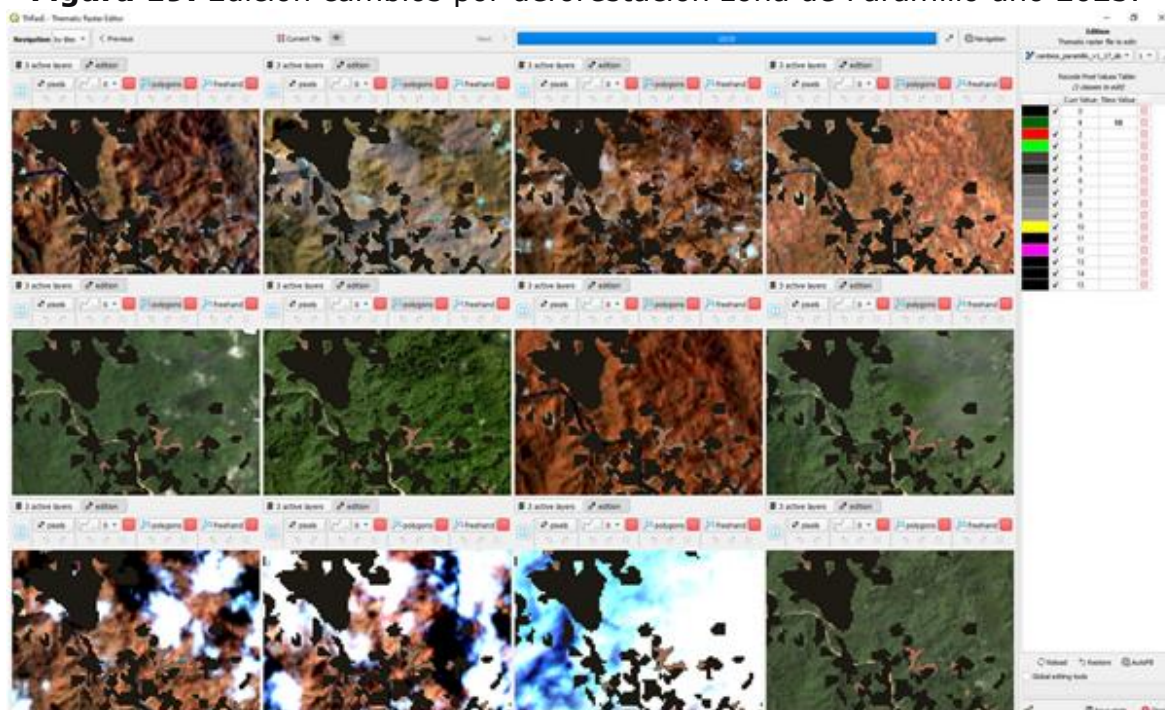
2.5 DISEÑO DEL ANÁLISIS

2.5.1 Métodos de análisis de resultados

Análisis estadístico

Como se menciona en la fase de procesamiento, a medida que se realiza el procesamiento de las imágenes, se implementan diferentes tipos de análisis que permiten verificar la coherencia y calidad de la información; entre estos análisis se encuentra la Verificación visual de los cambios detectados por parte de los intérpretes; donde a través del conocimiento de los expertos se hace la verificación visual directa de los cambios sobre los mosaicos con el fin de establecer cuáles de dichos cambios corresponden a deforestación, eliminando los que no corresponden. Para ejecutar este procedimiento, se desarrolló un algoritmo en Python que corre en un plugin de la plataforma Q GIS denominado ThRasE: <https://github.com/SMBByC/ThRasE>. Este software cuenta con una diversidad de ventanas y herramientas que facilitan la edición de los datos ráster temáticos, además, se pueden utilizar todos los insumos mencionados anteriormente de manera interactiva. La figura 19 representa un ejemplo de edición de cambios por deforestación en la zona de Paramillo.

Figura 19. Edición cambios por deforestación zona de Paramillo año 2023.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

La métrica de Last-pixel complementa los cambios encontrados con la mediana al facilitar la identificación de cambios al final de cada periodo. Otros insumos, los cuales complementan la identificación y análisis de los cambios son la métrica de la mediana y del último píxel de sentinel 2 para cada periodo, imágenes y compuestos Planet y en algunas ocasiones Worldview, así como capas de guía conocidas tales como Google Earth, Bing y Esri, al igual que información secundaria de plantaciones forestales, cultivos de palma o de aprovechamiento forestal, entre otras.

Así mismo, y como se mencionó en la sección 2.3.8 *Diseño de la estrategia de seguimiento y control*, dentro de los indicadores de calidad, se encuentra el **Porcentaje de exactitud temática**, donde 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

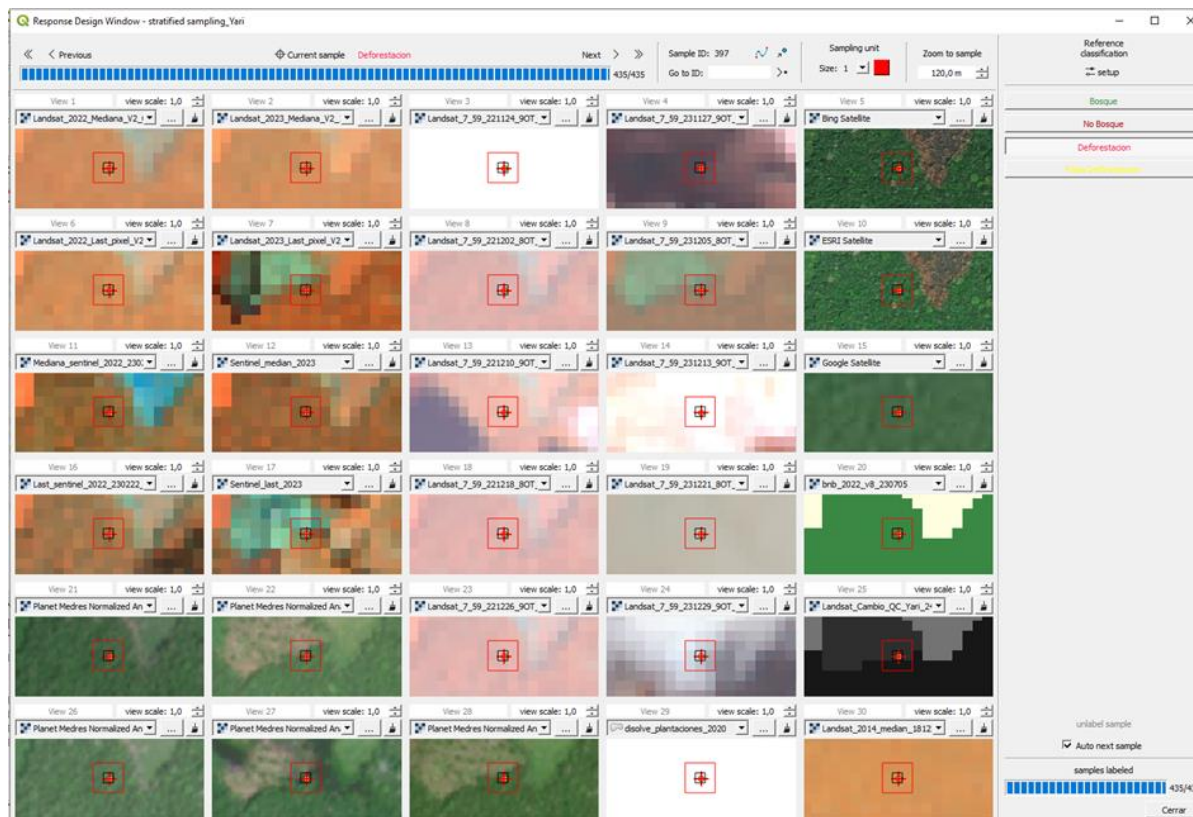
línea con las recomendaciones del documento de métodos y orientaciones generada por la Iniciativa Global de Observación de los Bosques (GFOI, por sus siglas en inglés), este procedimiento satisface dos criterios: i) evitar subestimar o sobreestimar los cambios, en la medida en que pueda juzgarse, y ii) 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.

En esta evaluación de exactitud temática, las zonas asignadas a los intérpretes para la generación de los cambios por deforestación son sometidas a un proceso de control y análisis de calidad. En este proceso se generan muestreos aleatorios estratificados para cada una de estas zonas, con el fin de determinar la exactitud del productor y el usuario. Si la zona no cumple con los estándares establecidos, se devuelve al intérprete para ajustes y revisión. En total, para todo el territorio nacional se evalúan alrededor de 160.000 puntos de muestreo, solo para concretar la fase a su versión final.

El control de calidad se ejecuta a partir de un software desarrollado también por el Sistema de Monitoreo Bosques y Carbono (ACATAMA - Accuracy Assessment of Thematic Maps) para la estimación de la exactitud temático de datos raster. Este software permite la generación del diseño de muestreo, diseño de respuesta y estimación en un marco de inferencia basado en diseño y en él se organiza y se evalúa el muestreo aleatorio estratificado para cada zona de interpretación. La figura 20 configura un ejemplo de este análisis.

Figura 20. Evaluación de puntos aleatorios para la zona de Yari periodo 2022-2023



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Posteriormente, se realiza un proceso de validación cruzada, el cual permite que cada zona interpretada pueda ser revisada por una tercera persona diferente. Este proceso también es sujeto a control de calidad y para 2023 conlleva la evaluación de aproximadamente 2400 nuevos puntos aleatorios distribuidos en 28 zonas.

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

- Se implementa un diseño de muestreo aleatorio y estratificado, en el que el tamaño de la muestra (n) se selecciona siguiendo las recomendaciones de Cochran (1977) para este tipo de diseño. La

proporción asignada de cada clase utiliza una asignación proporcional basada en el área de cada estrato en comparación con el área total asignada (Stehman, 2012). Las proporciones de cada uno de los estratos se basan en el mapa de cambio de bosque para el año de referencia, los cuales son: Bosque Estable; No Bosque Estable y Deforestación. Adicional a esta estratificación inicial, cada uno de los estratos se subdivide teniendo en cuenta las tendencias históricas de la deforestación, basadas en un mapa de riesgo de deforestación que identifica dos áreas principales: bajo riesgo y alto riesgo. En la siguiente ecuación se presenta la expresión matemática utilizada para calcular la proporción (W_i) de área mapeada ($A_{m,i}$) por clase i , con respecto al área total de las clases (A_{tot}):

$$W_i = \frac{A_{m,i}}{A_{tot}}$$

- A las clases con mayor área mapeada se les asigna un valor de p de 0,9, por considerar que presentan una exactitud alta; mientras que las clases de cambio, deforestación en áreas con alto riesgo de deforestación (DEF-AR) y deforestación en áreas con bajo riesgo de deforestación (DEF-BR), se les asigna un valor de p de 0,80, por considerar que para estas clases existe mayor incertidumbre y, por lo tanto, menor exactitud. Se calcula el error estándar (típico, S_i) asociado a cada clase como la raíz cuadrada de la varianza.
- El tamaño total de la muestra (n) se calcula como la sumatoria de los productos de la proporción de área (W_i), asociada a cada clase i , por los errores estándar (S_i) de cada clase, sobre un error estándar general de la clasificación S_o , elevados al cuadrado, tal como se observa en la siguiente ecuación:

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

Para el año de referencia, se asume entonces un valor para el error estándar esperado general de clasificación (0,005). La proporción asignada de cada estrato se basa en un enfoque simplificado del óptimo,



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

en función de la proporción de área de cada estrato en comparación con el área total asignada. Así, los estratos más pequeños se ajustan minimizando el estimador de la varianza para la exactitud de esas clases de usuario, de acuerdo con las recomendaciones de Olofsson et al. (2014).

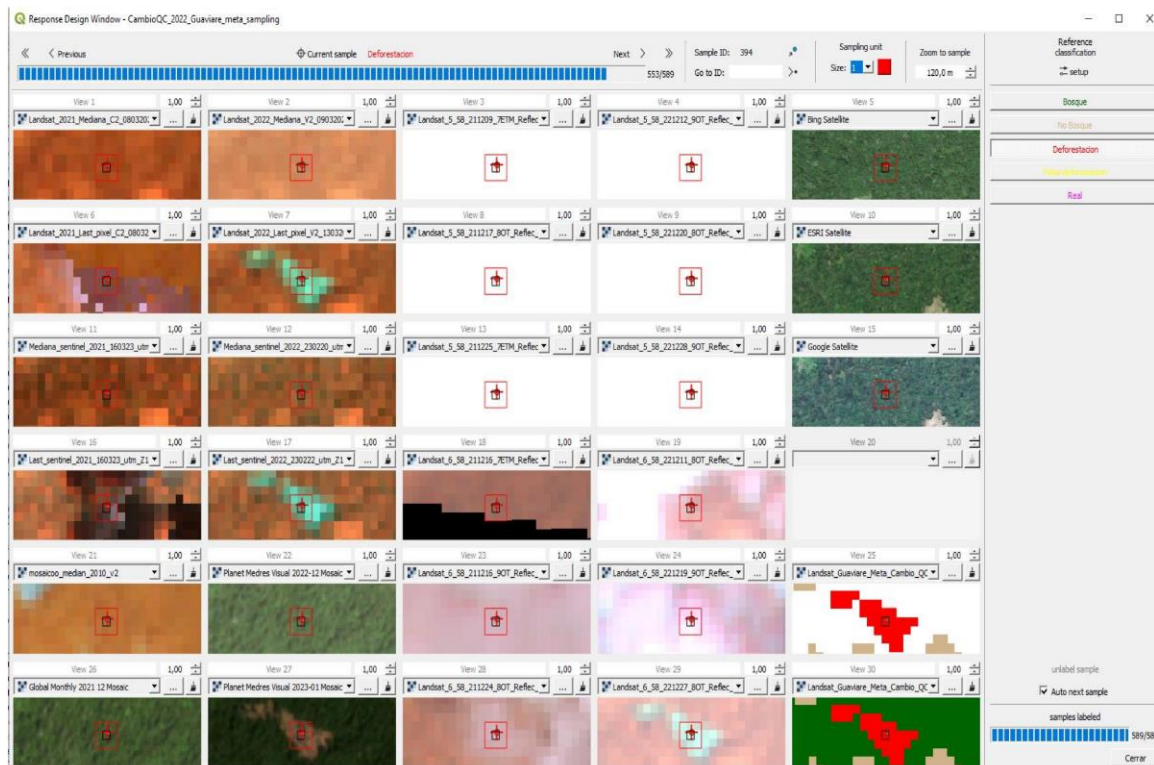
- Con los datos de referencia⁷ trabajados en el mapa de cambio, se estima la exactitud de la clasificación en el mapa de cambio final. El acuerdo/desacuerdo entre el mapa y la referencia se resume en una matriz de error o confusión, que proporciona una evaluación de la precisión del mapa. A partir de esto, se calcula la frecuencia de correspondencia para evaluar la exactitud de cada clase, en términos de proporciones estimadas de clases y errores de omisión y comisión. Debido a que las medidas de exactitud son calculadas a partir de una muestra, están sujetas a incertidumbre (Olofsson et al., 2013). Dicha incertidumbre se representa mediante el cálculo de su error estándar, utilizado para construir intervalos de confianza del 95 % que muestra el rango de valores en las estimaciones de área para las clases de mapa.
- Para la 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 autocorrelación 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

⁷ Siguiendo las 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.

convencionales, en los cuales se observan patrones no aleatorios en los puntos.

- Para la interpretación de los puntos de muestreo, un equipo de profesionales realiza de manera independiente la interpretación visual de cada muestra, aplicando las definiciones de Bosque y Deforestación adoptadas. 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 21). La interpretación de los puntos se realiza teniendo en cuenta los 8 vecinos circundantes al píxel en el que se encuentra el punto de la muestra.

Figura 21. 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.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- 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.

Análisis de la serie temporal

Después de la generación de resultados de cada periodo de monitoreo de la deforestación, se realiza un análisis de consistencia de la serie temporal, en el que se comprueba que, para cada uno de los píxeles marcados como deforestación, ese mismo píxel no se ha marcado en los periodos anteriores como deforestado (al menos seis años). Si este fuera el caso, se corrige el resultado más reciente y se marca como No Bosque (NB) o se revisa el área específica de forma retrospectiva.

Podría ocurrir que después de seis años, un evento de cambio detectado antes de 2023 podría volver a ser marcado como deforestado solo en 2029 o 2030. De acuerdo con los datos disponibles, este tipo de eventos representan menos de 500 ha. El mismo procedimiento se aplica para "píxeles regenerados", manteniendo el mismo proceso de chequeo en el que un píxel marcado como deforestado no podría ser asignado a una clase de cambio hasta después de seis años.

Análisis de contexto

Para la operación estadística se tiene en cuenta información de diferentes aspectos que permiten validar la coherencia de los resultados. A continuación, se describe la información de contexto implementada:

- Pérdidas de bosque natural asociadas a fenómenos naturales: para el 2023 se identificó un aumento del efecto de fenómenos naturales en la pérdida de Bosque natural, principalmente asociado a deslizamientos y chagras de viento⁸

⁸ Corresponden al volcamiento o derribamiento masivo de árboles por efecto de vientos de alta intensidad que pueden provocar grandes parches de bosque "derribado" (PCA, 2021).



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- Relación de dinámica de puntos de calor respecto a la deforestación: esta relación permite reconocer un vínculo entre la ocurrencia de incendios y el cambio de cobertura terrestre, en especial con la deforestación en las temporadas secas del año. En la mayoría de los casos, estos puntos identifican fuegos en áreas con algún tipo de vegetación, pero también pueden ser llamas por combustión de gases, tormentas eléctricas, etc. Para una adecuada utilización de los datos, y de acuerdo con las recomendaciones del equipo técnico del SMBYC efectúa filtrajes utilizando la información diferencial de temperatura superficial y los valores de radiación registrados por el sensor, para seleccionar solamente los datos de puntos de calor con mayor relación con quemas.
- Análisis de las causas y agentes de la transformación de bosques: 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; puesto que el análisis de actividades que causan deforestación debe hacerse como parte de un análisis más amplio, con el objetivo de establecer su importancia relativa (económica, sociocultural, etc.) dentro del conjunto de actividades y sistemas productivos forestales y no forestales que tienen presencia en el área de estudio.
- Por otro lado, los resultados de la operación estadística son insumo 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); así como para identificar los datos de Factores de Emisión de carbono por deforestación y degradación: esta información es clave para la conversión de tierras forestales a otro tipo de tierras; ya que implica la eliminación de la cobertura arbórea existente para dar paso a otro uso del suelo (deforestación); y esta conversión supone la pérdida del carbono contenido en la biomasa y en la necromasa en el momento en que ocurre el evento..

2.5.2 Anonimización de microdatos y verificación

Tanto la cartografía utilizada para definir el marco censal, como las imágenes de satélite LANDSAT de la operación estadística son de carácter público y no tienen



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

ningún proceso de anonimización de datos, dado que no se manejan datos personales o sensibles que deban ser anonimizados en algún momento del proceso.

2.5.3 Comités de expertos

Una vez la operación estadística genere sus resultados, se realiza la convocatoria para la sesión anual del Comité de Expertos (entre el mes de junio y primeros días de julio). Desde el SMBYC, se solicita el espacio de reunión con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para realizar la sesión del comité e invitar a los demás asistentes.

Teniendo en cuenta que los resultados y cifras del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural previos a su difusión y publicación son de carácter confidencial y de alta reserva estadística, el comité se realiza a puertas cerradas y no cuenta con ayudas de memoria o grabaciones, y todos sus asistentes son de carácter directivo.

En el desarrollo del comité se presentan, analizan y validan los resultados de la operación estadística. Es importante precisar que los asistentes al Comité no pueden proveer ni divulgar información de los resultados antes de la difusión y publicación oficial de las cifras.

Además del comité de expertos, el equipo de trabajo de la operación estadística realiza reuniones internas técnicas, que incluyen encuentros semanales entre intérpretes, controles y líderes donde se exponen casos complejos y se llega a consensos para su manejo y validación de cifras.

2.6 DISEÑO DE LA DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN

Una vez se cuenta con los productos e información de la operación estadística en su versión final, para iniciar la difusión se debe enviar correo de solicitud de autorización expresa de publicación tanto a la Subdirección de Ecosistemas e información ambiental, como al Grupo de Comunicaciones y Prensa del IDEAM.

Es importante anotar que las estrategias principales de difusión (almacenamiento, mantenimiento y actualización) de la operación estadística se



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

encuentran alineadas con las políticas institucionales y los lineamientos del Grupo de Comunicaciones y Prensa, así como el Grupo de Gestión Documental y Centro de Documentación, Correspondencia y Archivo, de la Secretaría General del IDEAM, quienes son los responsables del diseño de las piezas de comunicación.

Los reportes para la presentación de los resultados 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 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.

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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- **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.

Figura 22. Ejemplo de tabla de resultados



Colombia. Tasa anual de deforestación
 Periodos: 1990:2000, 2000:2005, 2005:2010, 2010:2012, 2012:2013, 2013:2014, 2014:2015, 2015:2016, 2016:2017, 2017:2018, 2018:2019, 2019:2020, 2020:2021, 2021:2022, 2022:2023.

Periodo $t_1 : t_2$	Superficie de bosque estable (ha) ¹ 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
1990 : 2000	61.474.307	2.654.456	265.446	3,2	-0,42
2000 : 2005	60.232.670	1.578.012	315.602	2,7	-0,52
2005 : 2010	59.039.169	1.409.868	281.974	2,8	-0,47
2010 : 2012	59.705.588	332.145	166.073	2,1	-0,28
2012 : 2013	58.816.364	120.938	120.938	2,7	-0,21
2013 : 2014	58.970.823	140.356	140.356	1,8	-0,24
2014 : 2015	59.438.969	124.035	124.035	1,3	-0,21
2015 : 2016	59.313.273	178.597	178.597	1,3	-0,30
2016 : 2017	58.341.095	219.973	219.973	2,0	-0,38
2017 : 2018	59.327.987	197.159	197.159	0,9	-0,33
2018 : 2019	59.772.308	158.894	158.894	0,3	-0,27
2019 : 2020	59.602.113	171.685	171.685	0,18	-0,29
2020 : 2021	59.453.606	174.103	174.103	0,3	-0,29
2021 : 2022	59.212.840	123.517	123.517	0,1	-0,21
2022 : 2023	59.187.474	79.256	79.256	0,0	-0,13

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2024. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques 2024. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBvC). 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: $TD_{(t_1:t_2)} = \left(\left(\frac{SD_{(t_1:t_2)}}{SCBE_{(t_1:t_2)}} \right) \cdot \left(\frac{SCBE_{(t_1:t_2)}}{SCBE_{(t_1:t_2)} + SD_{(t_1:t_2)}} \right) \right) \cdot 100$. Donde t_1 , t_2 corresponden al año inicial y final del periodo de análisis; $SCBE_{(t_1:t_2)}$ representa el bosque estable y $SD_{(t_1:t_2)}$ es la superficie deforestada en la unidad espacial de referencia.

⁵ El dato del indicador se reporta únicamente cuando se tiene información de al menos un 30% 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.

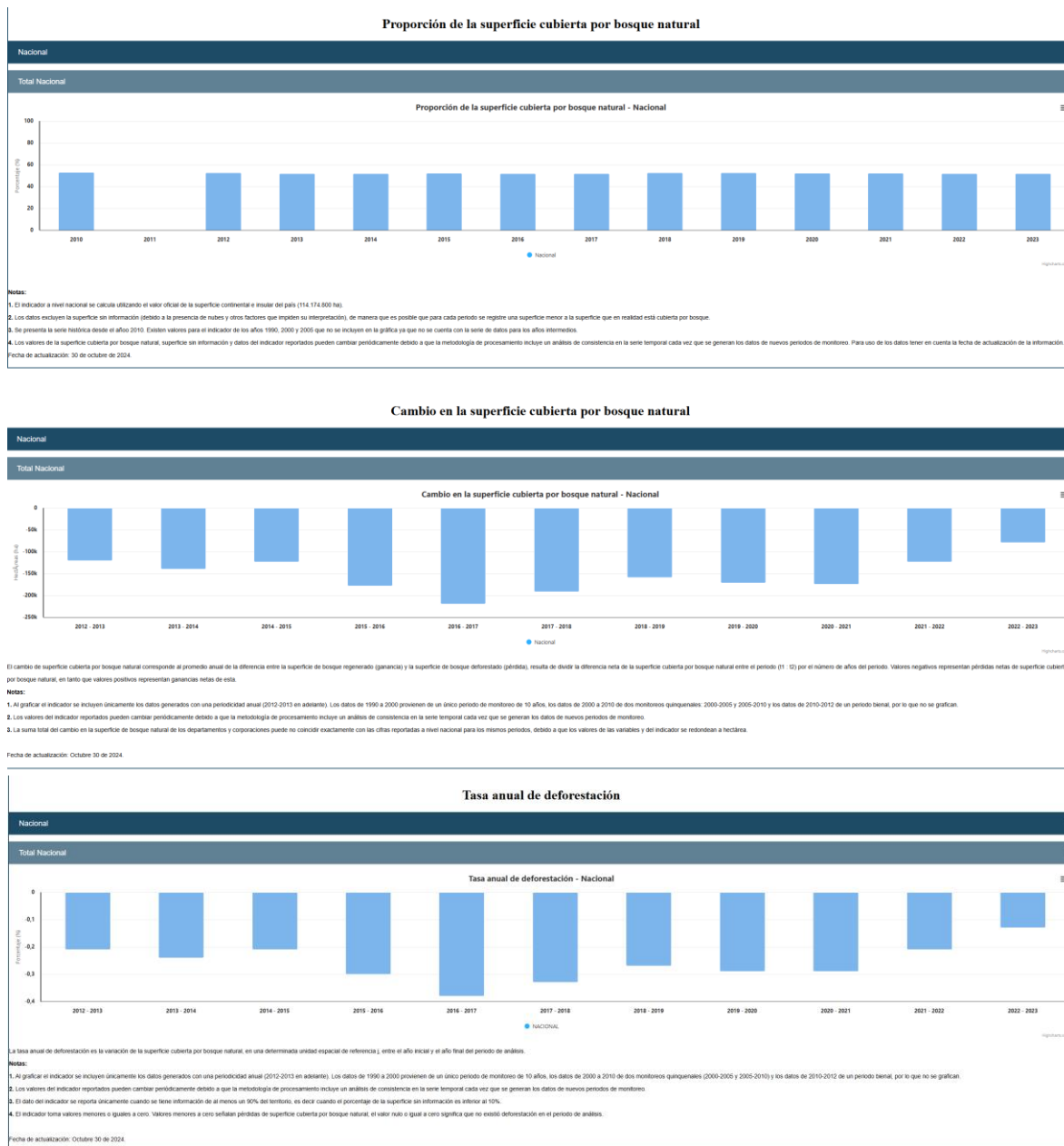
Fecha de actualización: Octubre 30 de 2024

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

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. 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 23. 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.



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 (píxeles 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).

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, que incluye como mínimo:

- Título del mapa
- Leyenda con los colores definidos para cada clase
- Información acerca del sistema de referencia geográfico
- Logos del IDEAM, Ministerio de ambiente 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

Los resultados de la operación estadística se publican en medio impreso y a través de la página web del IDEAM de acuerdo con el 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 con la estructura definida, comienza el proceso de difusión de los resultados de la operación estadística. Su ejecución comprende las siguientes actividades:



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- 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 deforestación⁹.
- II. Generar salidas gráficas, tablas de reportes y metadatos de los resultados de acuerdo con los criterios de publicación del IDEAM.
- III. Preparar de material de apoyo para la presentación de los resultados, incluyendo un análisis de contexto.
- IV. Preparar los mapas y reportes en la página del SMByC del Ideam. En este portal queda disponible el microdato para descarga¹⁰. 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 SIAC¹¹
- VI. Actualizar de los contenidos y mapas en el portal institucional del IDEAM¹².
- VII. Preparar la Rueda de prensa con la presentación de los resultados.

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

⁹ <https://experience.arcgis.com/experience/568ddab184334f6b81a04d2fe9aac262/page/Indicadores-Ambientales/>

¹⁰ <https://www.ideam.gov.co/nuestra-entidad/ecosistemas-e-informacion-ambiental/sistema-monitoreo-bosques-carbono>

¹¹
¹² <https://experience.arcgis.com/experience/568ddab184334f6b81a04d2fe9aac262/page/Sistema-de-Informaci%C3%B3n-Ambiental---IDEAM/>

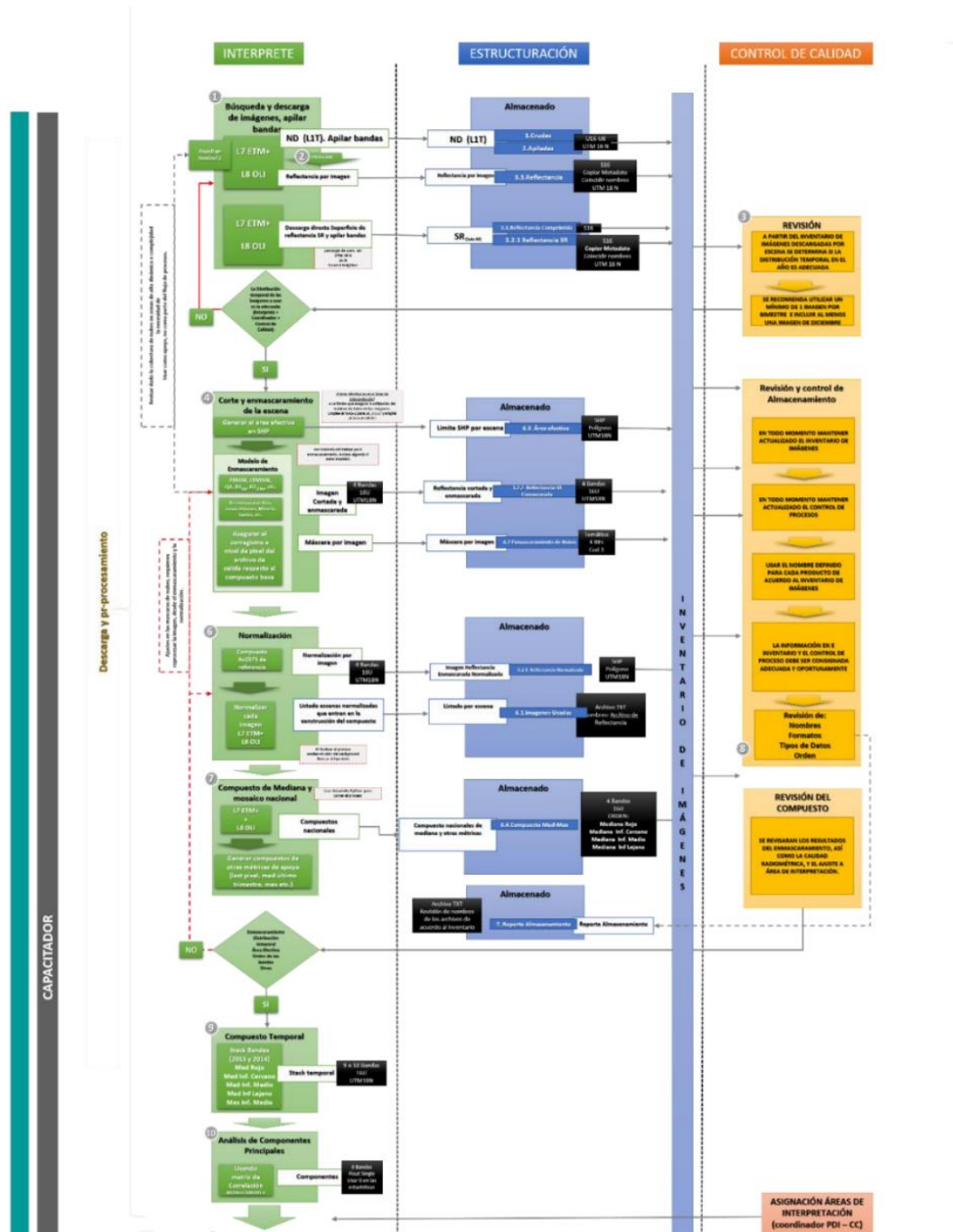
	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

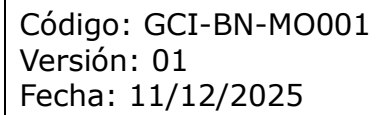
para funcionarios de las Corporaciones Autónomas Regionales. –hasta la fecha se ha capacitado personal de ocho CARs - y también se realizan presentaciones a nivel regional, especialmente en los principales núcleos de deforestación, y en ellas se detallan los resultados para el área de interés.

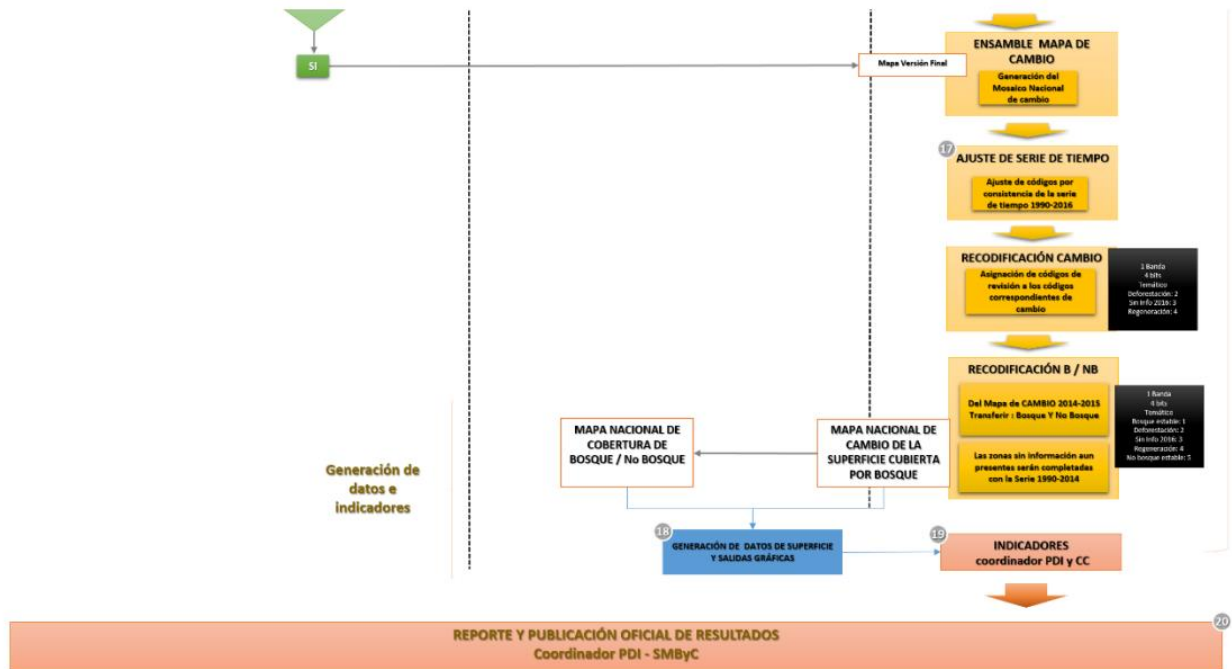
2.7 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y FLUJOS DE TRABAJO

El flujo de trabajo realizado para la operación estadística se enmarca en el siguiente esquema (Figura 24) detallado de cada uno de los pasos del preprocesamiento 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.

Figura 24. Pasos del preprocesamiento y procesamiento de las imágenes de satélite, crítica y controles necesarios para generar la información de superficie y cambio de la superficie de bosque



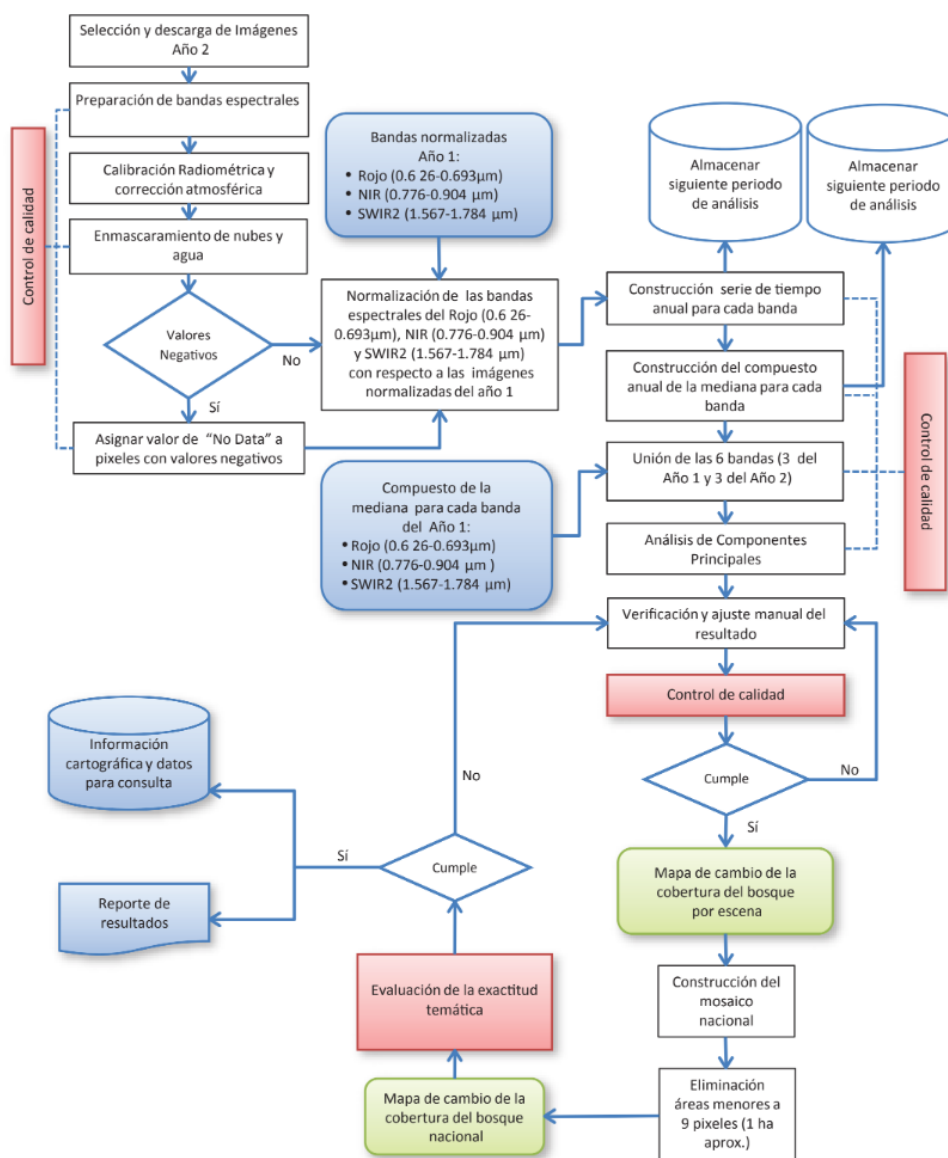




Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Así mismo, la operación estadística cuenta con el diagrama del proceso metodológico establecido en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V. 2 y que presenta los pasos mínimos a seguir para detectar los cambios en el área del Bosque ocurridos entre dos fechas. El procesamiento se realiza a nivel de escenas y una vez se obtiene el mapa de cambio de cobertura del Bosque de cada escena se integran para generar un mosaico de cubrimiento nacional (Figura 25)

Figura 25. Diagrama del Proceso metodológico de la operación estadística



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Este proceso metodológico está diseñado para realizar un seguimiento anual del cambio en la cobertura del Bosque, en este caso cada periodo de análisis incluirá la información de los dos años consecutivos.

Finalización de archivos de datos

El cierre del archivo de datos para las fases de recolección, procesamiento y análisis se da mediante la actualización de los tres formatos de control de calidad (Formato inventario de imágenes adquiridas y preprocesamiento, Formato de control de procesos y Formato de procesos de control de calidad), de acuerdo con el cronograma de ejecución para cada fase y la iteración completa de la operación estadística. A través del proceso de control de calidad, se diligencian y actualizan los formatos para evidenciar el cierre de cada proceso y garantizar su correcta ejecución.

Adicionalmente, los productos incluidos en la fase de difusión se consideran finalizados una vez surte la publicación en el portal web del IDEAM y son salvaguardados en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono.

Identificación de riesgos

Respecto a la identificación de riesgos, estos son identificados en el marco de la herramienta definida por el IDEAM para consignar la información referente a la gestión de riesgos y de corrupción, incluidos los asociados a las operaciones estadísticas según el proceso misional al que pertenezcan. Este debe ser diligenciado y/o actualizado por los líderes del proceso, de conformidad con los lineamientos definidos en la guía GUÍA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO E-SGI-G-003, con la asesoría y revisión de la Oficina Asesora de Planeación, y acompañamiento de la Oficina de Control Interno. Los riesgos son documentados en el Formato matriz de riesgos establecido para tal fin.

2.8 DISEÑO DE LAS PRUEBAS

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 construidos 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. A continuación, se listan y se describen brevemente algunas de las pruebas realizadas en cada una de las fases de la operación estadística:

Fase de Diseño:

- Para la Fase de diseño estadístico, a través del apoyo de una tesis de Msc de la Universidad Nacional, se realizaron pruebas en las que se utilizaron diferentes esquemas de muestreo y tamaños de muestra para evaluar la exactitud temática, las emisiones y la incertidumbre asociada de la deforestación. Esto con el fin de mejorar la calidad de los datos de la operación estadística, así como el desarrollo de nuevos parámetros de cálculo de las emisiones de GEI.
- En la fase de diseño estadístico, también se han realizado pruebas para incorporar nuevos diseños de muestreo en AcATaMa, tal como el diseño aleatorio simple, postestratificación y el muestreo sistemático. También se han hecho pruebas para la incorporación del cálculo de tamaño de muestra para los diseños aleatorio simple y sistemático.
- Para la Fase de diseño de la difusión, se realizaron pruebas para incorporar los resultados de la operación estadística en la página web institucional y en el geoportal del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- En la fase de diseño de la construcción, se incorporó un algoritmo de series de tiempo implementado Google earth engine (CCDC) para ser incorporado en la fase de procesamiento. Con este se mejora la calidad y se incrementan los insumos disponibles para la edición de los datos satelitales.

Fase de Construcción:



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

- A partir de un desarrollo evolutivo, constantemente se hacen actualizaciones a los instrumentos de recolección, acopio de la información y procesamiento y análisis, específicamente a los aplicativos de Qgis de cloudmasking, Thrase y Acatama. Los ajustes se realizan por los cambios de versión de qgis, actualizaciones o reportes reportados por los usuarios. También se incorporan mejoras en los documentos de recolección que facilitan el uso de imágenes satelitales tal como una mejora en la navegación o en la incorporación de nuevas funcionalidades operativas.
- Se realizaron pruebas para mejorar el aplicativo de Cloudmasking de Qgis incorporando nuevos procesos y filtros. También se realizaron pruebas para utilizar de manera efectiva las imágenes Landsat de colección 2.

Fase de recolección

- Se organizaron pruebas con las imágenes Landsat de los sensores 8 y 9 de la colección 2, la cual incluye un co-registro de mayor exactitud, así como la introducción de mejoras en la calibración radiométrica y geométrica de todos los sensores Landsat y ofreciendo productos de reflectancia de superficie (Nivel 2) más precisos que los de la colección 1.

Fase de Procesamiento

- Históricamente el catálogo de información satelital disponible para el monitoreo de las coberturas de la tierra se apoyan las imágenes ópticas gratuitas tal como Landsat y Sentinel 2. Sin embargo, en los últimos años, tanto la Agencia Espacial Europea (Esa) como la NASA han preparado misiones espaciales para ofrecerle al mundo un conjunto de imágenes SAR gratuitas que podrían ser utilizadas para el monitoreo de las coberturas de la tierra y entre ellas, la deforestación. Por esta razón el SMByC ha realizado pruebas de diseño y de procesamiento para incorporar el uso de imágenes SAR dentro de las cadenas de procesamiento del SMByC. Desde el año 2023 se ha construido un proceso junto con grupos de investigación de los Países Bajos para incorporar el uso de SAR en las cadenas de procesamiento del SMByC. Esta evaluación involucra las mejoras tecnológicas y en conocimiento del personal, así como también las transferencias de conocimiento y una estrategia de sostenibilidad de todo el proceso. La incorporación de imágenes SAR en la operación estadística permitiría mejoras en los tiempos de procesamiento y en la calidad de los datos.

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

Fase de Análisis

- Desde el año 2020 se incorpora un análisis de explicación de los resultados en la que se hace el análisis de tamaño de parche y de los núcleos de deforestación. Este ha sido el insumo de muchos procesos asociados con la toma de decisiones y de planificación en el país.
- El seguimiento a la deforestación a nivel subnacional o local permite mejorar la explicación de los resultados. En este sentido se han implementado procesos de seguimiento a nivel predial y también de seguimiento a sectores como el palmero, el cafetero, el forestal. También se han hecho pruebas para su implementación asociado a su aprovechamiento legal o a el consumo de leña.

2.9 DISEÑO DE LA EVALUACIÓN

De acuerdo con lo diseñado, la operación estadística realiza evaluaciones del desempeño al terminar cada una de las fases del proceso estadístico. A continuación, se presentan las actividades implementadas para los aspectos de la evaluación:

Evaluación de las fases de producción y el proceso estadístico

El equipo de trabajo de la operación estadística aplica procesos de autoevaluación en cada una de las fases de producción, con el fin de garantizar la calidad de los resultados publicados. Dichos procesos incluyen:

- Seguimiento al cumplimiento del cronograma establecido.
- Implementación de listas de chequeo para las fases del proceso estadístico, a partir de las cuales se establecen los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas en cada subproceso.
- Revisión y análisis de los avances y resultados de cada subproceso.
- Indicadores de control y seguimiento al desarrollo de las fases del proceso estadístico de la operación estadística.
- Implementación de sugerencias de mejora derivadas de los requerimientos de información de los diferentes usuarios.

Finalmente, dentro del marco normativo vigente de la entidad (NTCPE 1000 del 2020), la operación estadística implementa los lineamientos del proceso



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

estadístico y está alineada con los requerimientos de las evaluaciones de calidad estadística a que haya lugar, de las cuales, se elaborarán las acciones pertinentes para el mejoramiento del proceso de producción estadística, en caso de ser necesario.

Auditoría interna

El IDEAM a través de la Oficina Asesora de Planeación realiza auditorías internas a intervalos planificados de acuerdo con el Plan anual de auditorías para hacer seguimiento y medición del proceso de ejecución de cada una de las fases que deben ser adelantadas en el Marco de la Calidad del Proceso Estadístico, aplicando la NTC PE 1000-2020, de tal manera que se garantice la producción de Estadísticas de Alta Calidad. A través de la Oficina Asesora de Planeación y con el apoyo del proceso de formación de auditores internos que realiza el DANE para Evaluación de la Calidad del Proceso Estadístico y el apoyo del Grupo Sistema de Información Ambiental (SIA), se conforma el grupo de auditores internos del instituto que adelanta el proceso de seguimiento y medición del proceso estadístico, y el análisis de seguimiento y medición anual para las operaciones estadísticas seleccionadas, según los lineamientos del Instituto. A su vez, se asegura la competencia e imparcialidad de las auditorías internas mediante los correspondientes cursos y certificaciones en conocimiento de la NTCPE 1000:2020 del personal auditor. Producto de las auditorías internas, se generan informes de auditoría y en respuesta a ello el respectivo plan de mejora, con el fin de identificar las causas de los hallazgos y subsanarlos con el fin de contribuir a la mejora continua del proceso estadístico. Dicho plan de mejora es sujeto de seguimiento con el fin de verificar el cumplimiento y efectividad de las acciones propuestas.

2.10 MEJORA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA

Con base en los resultados de la evaluación se generan acciones a implementar dentro del proceso estadístico de la siguiente iteración de la operación estadística. Las oportunidades de mejora identificadas en auditorías, evaluaciones anuales, aplicación de indicadores de evaluación y/o interacción con grupos de interés, son ejecutadas con el fin de reducir los efectos no deseados en el proceso estadístico.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

A partir de dichas lecciones aprendidas, se contribuye al mejoramiento del proceso estadístico y se consolidan acciones dentro del plan de mejora de la operación estadística.

No conformidad y acción correctiva

Una vez identificadas las no conformidades dentro de los procesos de auditoría y evaluación del proceso estadístico, se analizan dichos hallazgos a través de la metodología definida por el Instituto, con el fin de determinar la causa raíz y definir las acciones correctivas. La eficacia de estas acciones es objeto de verificación por parte de la Oficina Asesora de Planeación, en el seguimiento respectivo a los planes de mejora de cada operación estadística.

Los resultados y evidencias de las acciones correctivas corresponden a información documentada que se reporta a la Oficina Asesora de Planeación, así como los documentos en versiones posteriores generados en atención de dichos hallazgos.

Mejora continua

El mejoramiento de la eficacia, la eficiencia y la efectividad del proceso estadístico, se garantiza a través de las acciones de seguimiento y evaluación realizadas por parte de la Oficina Asesora de Planeación y la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental.

Oportunidades de mejora aspectos temáticos

Desde los aspectos temáticos de la operación estadística y de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas por el SMByC en el Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V. 2, para el mapa temático de cambio de la superficie de bosque (deforestación) a nivel nacional y regional, como oportunidad de mejora a todos los procesos realizados en la operación estadística, se debe realizar una **Evaluación de la exactitud temática**, con el objetivo de realizar el cálculo y análisis de la exactitud temática de los datos de actividad, estimadores ajustados e incertidumbre.

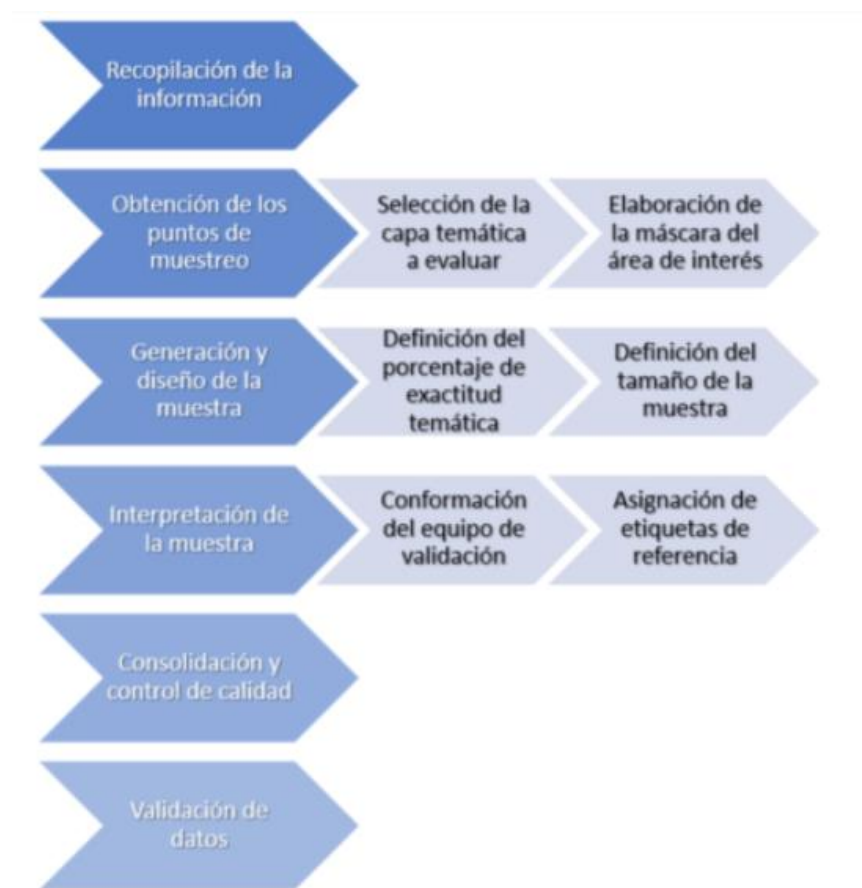
Esta Evaluación, se realiza una vez las cifras del monitoreo de la superficie de bosque natural son difundidas al público. A través de convocatoria, una empresa

consultora es contratada para realizar dicha evaluación, siempre y cuando cumpla con los requisitos establecidos por el SMCyC de IDEAM.

Los resultados de la Evaluación de Exactitud Temática son un insumo relevante para la generación de las siguientes cifras del monitoreo de la superficie de bosque natural; es decir para la siguiente iteración de la operación estadística.

La siguiente figura presenta la metodología implementada en la Evaluación de la exactitud temática, donde se ejecuta la validación de los mapas de cambio de bosque / no bosque para el reporte anual:

Figura 26. Diagrama metodológico para la Evaluación de la exactitud temática



Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Recopilación de la información: el primer paso consiste en la obtención de la información necesaria para realizar la evaluación temática del producto. Para ello se recopila la siguiente información:

- Mapa de cambio para el periodo 2022-2023, el cual contiene la información por las clases de bosque estable, no bosque estable, deforestación, regeneración y sin información.
- Información satelital necesaria para la validación, la cual incluye imágenes de Landsat consolidadas e individuales del periodo de análisis, imágenes Sentinel a 10 metros de resolución, con 4 bandas espectrales, link gratuito de observación de imágenes de alta resolución (Planet Scope) y aquellos insumos satelitales disponibles en páginas web (Google, ESRI, Bing).

Obtención de los puntos de muestreo: las técnicas de validación dependen en gran medida del diseño de muestreo de probabilidad para la obtención de los datos. Por ello, para la validación del mapa de bosque -no bosque - deforestación para los periodos de análisis se sigue la metodología planteada por (Olofsson P. , Foody, Stehman, & Woodcock, 2012), que establece un diseño metodológico a través de una selección de tipo de muestreo considerando la proporción de cada clase que ocupa en el territorio, siendo necesario identificarlas y asignarles un tamaño de muestra lo suficientemente grande como para obtener un error estándar pequeño en la estimación de la exactitud del usuario y la obtención de muestras a través de un muestreo aleatorio estratificado para conseguir los mejores resultados en el proceso de validación. Para la obtención de las muestras a validar se utiliza la herramienta ACATAMA (Accuracy Assessment of Thematic Maps) plugging que trabaja bajo el software de QGIS versión 3.10 en adelante. Esta herramienta fue desarrollada por el equipo del SMByC e incorpora los lineamientos de (Olofsson, Foody, & Herold, 2014).

Seleccionar la capa temática a evaluar: la evaluación se realiza para el mapa el mapa de cambio (bosque – no bosque – deforestación) para el periodo del 2022-2023, el cual se encuentran en el sistema de coordenadas geodésicas WGS84, EPSG 32618, con una resolución espacial de 30 x 30 metros, generado por el Sistema de Monitoreo de Bosque y Carbono - SMByC del IDEAM.

Elaboración de la mascaró de área de interés: el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono – SMByC del IDEAM elabora el mapa de riesgo a partir de los mapas históricos de bosque – no bosque – deforestación de los periodos

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

comprendidos entre el 2012 – 2022 donde se permite identificar aquellas áreas donde está ocurriendo los mayores cambios de pérdida de bosque en el país.

De esta manera, esta mascara permite incrementar los esfuerzos de validación en las superficies donde pueda existir la mayor probabilidad de deforestación y de la misma manera realizar un balance de áreas entre las coberturas de bosque estable y no bosque estable respecto a las de cambio.

El mapa de riesgo a través de una unión de capas se incorpora al mapa de cambio, el cual permite identificar los puntos de validación para el mapa de cambio de superficie del 2022-2023, dividiendo cada cobertura en áreas de alto riesgo y de bajo riesgo para cada una de las categorías de las coberturas de análisis.

Generación y diseño de la muestra: la generación de la muestra se basa en el método aleatorio estratificado por clases, acorde a lo propuesto por Pontius-Oloson y el IDEAM a lo largo de los años. Este método se basa en la proporción que define el número de puntos calculados acorde a la proporción del área y del error. En otras palabras, a aquellas clases que ocupan una pequeña porción del territorio, se les asigna un tamaño de muestra lo suficientemente grande para obtener un error estándar pequeño en la exactitud del usuario. Este mismo procedimiento se realiza para el mapa de bosque no bosque del periodo 2022. Los parámetros iniciales del modelo son:

Definición del porcentaje de exactitud temática en general

El valor inicial preliminar, seleccionado para la definición del porcentaje de exactitud temática de la muestra es el planteado por ACATAMA, acorde a la información proveniente de la capa temática. Este valor sirve de parámetro inicial el cual se va ajustando al definir los parámetros del tamaño de la muestra.

Definición del tamaño de la muestra

El tamaño total de la muestra es determinado a partir de tres componentes acorde a la ecuación propuesta por (Cochran, 1977):



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

$$n = \left[\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{O})} \right]^2 \leftrightarrow$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra,

El primer componente corresponde a la proporción de área mapeada de la clase i $W_i = A_{m,i}/A_{tot}$, donde $A_{m,i}$ es el área mapeada de la clase i y A_{tot} es área total de las clases evaluadas en el mapa y donde Área:

El segundo es el producto entre $U_i * U_i - 1$, donde U_i es la exactitud esperada de cada clase clasificada por el usuario, $U_i - 1$ es el complemento de U_i , y se considera el error máximo esperado o la probabilidad de que el área mínima de mapeo sea asignada a otra clase distinta.

Para las clases de Bosque y No Bosque, se les asignó un valor a del 90% ya que las firmas espectrales tienen un intervalo de confianza de 90%, se espera que la exactitud de cada cobertura este por encima o igual del valor de los intervalos de confianza. La clase no estudio es incluida debido a que se necesita puntos de validación para verificar la clasificación de dicha clase.

El tercer componente es el error estándar general y $S\hat{O}$, que se determina de acuerdo con la exactitud esperada de la validación, así el tamaño total de la muestra es la sumatoria de la multiplicación entre la proporción del área de cada clase (W_i) y el error estándar de cada clase (S_i), dividido entre el error estándar general (S_0). Lo anterior elevado al cuadrado.

Para ajustar la desviación estándar U_i se le asigna un valor teórico de exactitud de usuario sugeridos por el SMByC, los cuales corresponden a 0,9 para las coberturas de bosque estable y no bosque estable, por considerarse que esta clase suele tener una alta exactitud, mientras que, para las clases de deforestación, sin información y regeneración se les asigna 0,8. Estos valores se analizan y ajustan en conjunto con los especialistas del SMByC.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

CLASES	CLASES	Área (Píxeles)	Área (ha)	Wi	Ui	Si
Cambio superficie del Bosque 2022-2023	1 Bosque riesgo bajo	398,448,675	35,860,381	0.31439	0.9	0.3
	2 Bosque riesgo alto	259,344,635	23,341,017	0.20463431	0.9	0.3
	2. Deforestación riesgo bajo	56,747	5,125	0.00004493	0.8	0.4
	2. Deforestación riesgo alto	823,517	74,117	0.00064979	0.8	0.4
	3. Sin información	5,362	483	0.00000423	0.8	0.4
	4. Regeneración	621	56	0.00000049	0.8	0.4
	5. No bosque estable riesgo bajo	350,212,258	31,519,103	0.27633286	0.9	0.3

Fuente: IDEAM, Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural.

Distribución espacial de los sitios de verificación

Los sitios de verificación seleccionados se realizan de manera aleatoria acorde a los siguientes parámetros:

- Distancia entre las muestras: 500 m, este valor se define con el fin de que no se traslapen los píxeles a seleccionar con respecto a la mínima unidad cartográfica que es 1 ha, (9 píxeles dentro de una rejilla de $3 \times 3 = 180$ para que no se traslapen las dos clases). Acorde al protocolo del IDEAM se designa una separación de 500 metros.
- Número de vecinos: 8 puntos alrededor de la clase que va ser evaluada. La evaluación se realiza únicamente para el punto central, no para los vecinos.
- Mínimo número de vecinos de la misma clase: 8 puntos alrededor de nuestra clase sea el mismo. Es decir, si se toma un punto de deforestación, los 4 vecinos del pixel central también tienen que corresponder a puntos de deforestación. Si se elige más de 8 vecinos, aquellas áreas que tienen solamente una hectárea; las cuales tendrían solamente 8 vecinos de la misma clase no serían candidatos a ser seleccionados como muestra perdiéndose gran proporción de la información. Igualmente, esta selección obedece a que se quiere evitar en la medida de lo posible que algunos puntos caigan al borde de cambio entre clases y debido a que ese límite muchas veces no es claro en las imágenes satelitales a evaluar se debe evitar estos límites.
- Número máximo de interacciones: la definición de las interacciones depende de la cantidad de memoria RAM y en nuestro caso se deja de 6000. Se genera una rejilla a todo el país de puntos acorde a los parámetros determinados



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

anteriormente. A definir el número de interacciones, se permite ubicar de la mejor manera los puntos, con el fin de cubrir mejor el área a evaluar.

➤ **Semilla aleatoria:** el valor corresponde a los años de análisis (2022-2023). Este valor se refiere a la generación de números pseudoaleatorios, que tratan de imitar las propiedades de generaciones independientes de una distribución uniforme en intervalo (0,1 bite). De esta manera al hacer esta semilla el generador, puedes predecir (y reproducir) la secuencia.

Una vez se corre el algoritmo de ACATAMA, se revisan los resultados preliminares y se inicia el proceso de ajuste de la exactitud temática en general (0,95%) para alcanzar el valor de los puntos deseados para el muestreo acordado el cual es cercano a cercano a los 10.000 puntos para los mapas de cambio.

Interpretación de la muestra: una vez obtenidos los puntos a validar se inicia el proceso de interpretación de estos los cuales se realizan en los siguientes pasos:

Conformación del equipo de validación

La primera tarea una vez generado los puntos a validar, es la conformación del equipo de validación, acorde a lo establecido por el equipo de trabajo del SMBYC a cargo de la operación estadística.

Asignación de etiquetas de referencia

Inicialmente se hace una reunión del coordinador con su grupo de intérpretes con el fin de considerar los mismos parámetros para la clasificación de los puntos. Posteriormente, cada uno de los intérpretes de manera individual inicia la comprobación de cada uno de los puntos de muestreo obtenidos a partir de la interpretación visual de las imágenes de alta resolución de Planet Scope (<https://www.planet.com/>). Estas imágenes están disponibles para consulta de usuarios mensualmente; los mosaicos de los satélites Landsat7 ETM+, Landsat 8 OLI, y Sentinel generados por el Sistema de monitoreo de Bosques y Carbono SMBYC del IDEAM; la información de las imágenes LANDSAT individuales y las herramientas de apoyo de imágenes disponibles por internet (ESRI, BING, GOOGLE). Para ello, cada uno de los intérpretes realiza la interpretación con ayuda de la herramienta de QGIS ACATAMA, definiendo una escala de referencia de 200, la cual se va modificando acorde a la dificultad de la interpretación y siguiendo los siguientes parámetros:

➤ Para la definición de bosque se toma como referencia el concepto de la FAO como aquella superficie de árboles con altura mínima del dosel de 5 metros que cubren una hectárea en más del 30%. Para ello se excluyen aquellas coberturas



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y mosaicos de cultivos arbóreos.

➤ Se evalúa cada una de las clases que se encuentran inmersas dentro del mapa superficie de cambio (bosque estable, bosque no estable, deforestación, regeneración y sin información).

➤ Las imágenes Planet del 2020 a octubre del 2024 son de soporte para revisar y corroborar la información de los puntos. Se tiene precaución del desplazamiento y revisar el último trimestre de cada año (octubre a diciembre) para tener certeza de que clase se evalúa.

➤ La información de mediana de otros años se utiliza para corroborar las clases (esta información es útil para evaluar regeneración).

➤ Es importante considerar la clase sin información y evaluarla correctamente, si en los compuestos de Mediana y Last no se tiene información, pero en las imágenes Planet Scope si el punto se evalúa dependiendo el tipo de cobertura presente en dichas imágenes.

Las áreas que no se pueda demostrar información con los insumos otorgados en uno de los años evaluados, se categorizara en la clase sin información.

➤ En los casos que los mosaicos LANDSAT media y last no tuvieran información ya sea por efectos como las nubes o sombras o simplemente porque el satélite no capturo información, se realizara la verificación de las imágenes individuales empezando por el último mes del año (diciembre). De no tener información en el mes correspondiente, se verificará el punto con el mes anterior, es decir, que si se estaba verificando un punto en el mes de diciembre y este no tenía información se verificará con el mes de noviembre.

Consolidación y control de calidad: una vez cada interprete termine la fase de validación visual, se realiza la integración de los resultados individuales con el fin de identificar las coincidencias y desacuerdos que existan entre los puntos evaluados. Para ello se genera la matriz de confusión preliminar que permite determinar las clases con mayor confusión, y así realizar el control de calidad y los ajustes necesarios de la interpretación del muestreo. Para ello se toman en cuenta los siguientes parámetros:

➤ Si los tres interpretes coinciden en su interpretación, se deja el valor asignado de referencia por los mismos.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

➤ En caso de existir coincidencia en al menos dos de las tres interpretaciones, se evalúa junto con el líder de la evaluación la diferencia y se llega a un consenso.

➤ En caso de existir diferencias en la interpretación de los tres intérpretes, se realiza una revisión de los puntos junto con el coordinador y se llega a un consenso.

Validación de los datos: una vez llegado al consenso final con todos los puntos se realiza nuevamente una matriz de confusión final. Esta es una matriz cuadrada en la que se compara la clasificación de la capa evaluada obtenida por el grupo evaluador con la elaborada por el productor, en este caso el SMCyB. A través de la matriz de confusión se evalúa la exactitud de la clasificación, situando en las filas las clases o categorías del mapa y en las columnas las mismas clases para la verdad de terreno. Esta matriz presenta una visión general de las asignaciones, tanto de las clasificaciones correctas (elementos de la diagonal) como de las migraciones o fugas (elementos fuera de la diagonal), así mismo, recoge los errores de omisión y de comisión (Errores de comisión: elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella y Errores de omisión: elementos que perteneciendo a esa clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra) (Boca & Rodríguez, 2012).

Respecto a las medidas utilizadas para expresar la exactitud del mapa se emplea:

- I. Exactitud del productor ($\hat{P}_j$) calculada como la razón entre el número de unidades muestreadas que fueron correctamente clasificadas (diagonal) y el número de unidades que pertenecen a esa categoría (campo) O sea que no fueron asignadas en el mapa a la clase correspondiente. Se utiliza para calcular los errores de omisión.
- II. Exactitud del y usuario ($\hat{U}_j$) se calcula como razón entre el número de unidades muestreadas que fueron correctamente clasificadas (diagonal) y el número total de unidades que forman esa clase en el mapa. O sea, el número de clases asignadas a una categoría en el mapa pero que no pertenecen a ella. Se utiliza para calcular los errores de comisión (Boca & Rodríguez, 2012).
- III. Exactitud general del mapa $\hat{O} = \sum_{j=1}^q \hat{p}_{jj}$ donde $\hat{p}$ es un estimador insesgado de la proporción de superficie en la celda i, j , de la matriz de error y se calcula como $\hat{p}_{jj} = \frac{W_{ij}}{n_i}$



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Estas medidas se utilizan teniendo en cuenta la proporción de la superficie de cada clase para la estimación de la matriz de error. Sin embargo, igualmente y como establece (Ramirez, Ramirez, Galindo, & Espejo, 2014), se debe realizar la estimación de las medidas de fiabilidad de manera directa a partir de la matriz tradicional de recuentos.

Conclusiones de la Evaluación de exactitud temática para las cifras 2023¹³

En la verificación de los 10.013 puntos para el periodo 2022-2023 se observó que el mapa tiene una exactitud total del usuario del 80.1% en donde para la clase bosque fue de 98%; deforestación de 93.1%, sin información de 95%, regeneración (15.4%) y no bosque 99%.

Acorde a cada uno de los intérpretes las principales diferencias se asocian a:

- Problemas de radiometría presente en el Last pixel asociados principalmente a sombras y nubes.
- Desplazamiento en algunas imágenes satelitales, en especial el producto Planet.
- Variación por la fenología de algunos bosques secos.
- Falta de información en algunas áreas en especial en los mosaicos de Sentinel 2022.
- Dificultades con falta de imágenes de alta resolución.
- La mayoría de puntos que caen en borde hay una línea muy delgada para su clasificación, para lo cual se accedió a buscar información con más de 6 meses de diferencia anteriores y posteriores para verificar su tendencia.

3 DOCUMENTACIÓN RELACIONADA

El 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. El

¹³ Para más información sobre los resultados de la Evaluación de exactitud temática, puede consultar el anexo del Informe de resultados elaborado por la empresa consultora 4D Elements Consultores.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

protocolo se encuentra disponible para consulta en: [Publicaciones - Google Drive](#)

4 GLOSARIO

Banda: cada uno de los intervalos en los cuales el sensor remoto divide el espectro electromagnético para generar una imagen multispectral. Este concepto es aplicado generalmente a imágenes de tipo óptico.

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".

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.

Cambio en la superficie cubierta por bosque natural: 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 .

Datos de actividad: los datos de actividad (DA) son datos que permiten observar la magnitud de las actividades humanas que dan lugar a las emisiones o absorciones que se producen durante un periodo de tiempo determinado (p. ej. Datos sobre áreas terrestres).

Deforestación: es la conversión directa y/o inducida de la cobertura de Bosque a otro tipo de cobertura de la tierra en un periodo de tiempo determinado (DeFries et al., 2006; GOFC-GOLD, 2009).

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 uno de estos rectángulos corresponde a una escena



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 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.

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 mapas temáticos: grado en el cual el mapa producido concuerda con una clasificación de referencia.

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 le 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 pixel 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,



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

número digital, valor de píxel, etc. Existe una relación lineal entre el ND grabado y la radiancia correspondiente a cada celda de terreno.

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

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.

Proporción de la superficie cubierta por bosque natural: 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 .

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.

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

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

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

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

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

Resolución temporal: es una medida de la frecuencia con la que un satélite es capaz de obtener imágenes de una determinada área. También se denomina



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

periodo de revisita. Es útil cuando se quieren realizar estudios multitemporales o evolutivos.

Respuesta espectral: ver definición 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 definición teledetección.

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

Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBByC): es el conjunto de procesos, metodologías, protocolos y herramientas para la generación periódica de información sobre: i) la superficie de bosques de Colombia y sus cambios en el tiempo; ii) las reservas de carbono almacenadas en los bosques naturales; iii) las causas y agentes de la deforestación y la degradación de los bosques y, iv) las emisiones y absorciones de GEI asociadas a la deforestación y la degradación forestal. (Decreto 1655 de 2017).

Tasa anual de deforestación: variación de la superficie cubierta por bosque natural, en una determinada unidad espacial de referencia j , entre el año inicial t_1 y el año final t_2 .

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 definición formato vectorial.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

5 BIBLIOGRAFÍA

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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, GOFCEGOLD report 26 (p. 23). Roma, Italia.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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., SCHOLLES, R., & ASH, N. 2005. *Ecosystems and Human Well-being : Current State and Trends , Millennium Ecosystem Assessment Series, Volume 1. Ecosystems and Human Wellbeing : 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 920 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de COLOMBIA, IDEAM, PNUD, MADS, DNP. CANCELLERÍA; 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, LandUse Change and Forestry. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, RiittaPipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.

IPCC 2006. Intergubernamental Panel on Climate Change.VOL. 4 Agricultura Silvicultura y Otros Usos de la Tierra. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

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, 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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 d 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 De- foliation. 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



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

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/>.

VERBESSELT, 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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

6 ANEXOS

	GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"	Código: GCI-BN-MO001 Versión: 01 Fecha: 11/12/2025
--	--	--

Anexo 1. Hoja metodológica de los indicadores

República de Colombia
Nombre del indicador
(Hoja metodológica versión X.X)

1. <u>Identificación del indicador</u>	
Contexto nacional o internacional en la que se encuentra	
Tema de referencia	
Unidad de medida	
Periodicidad de la publicación	☐ Anual ☐ Semestral ☐ Trimestral ☐ Mensual ☐ Diario ☐ Otra, cuál: _____
Cobertura geográfica	☐ Nacional ☐ Departamental ☐ Municipal ☐ Otra, cuál: _____
Cobertura temporal	

2. <u>Descripción del indicador</u>	
Definición	



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Pertinencia	
Metas / Estándares	
Marco conceptual	
Fórmula de cálculo	
Metodología de cálculo	
Interpretación	
Restricciones o Limitaciones	
Facilidad de obtención	☐ Fácil ☐ Regular ☐ Difícil ¿Por qué?: _____

3. Responsable del indicador

1	Entidad	
	Subdirección	
	Dependencia	
	Coordinador del grupo	



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	Nombre del funcionario	
	Correo electrónico	
	Teléfono	
	Dirección	

4. Ubicación principal para la consulta del indicador

Física o digital	
URL	

5. Fuente de las variables

V1	Nombre de la variable	
	Tipo de fuente	Registro primario de información ☐ Censo ☐ Muestra ☐ Registro administrativo ☐ Teledetección ☐ Estación de monitoreo ☐ Otro, cual: _____ Registro secundario de información ☐ Registro administrativo ☐ Teledetección ☐ Estación de monitoreo ☐ Estimaciones directas ☐ Estimaciones indirectas ☐ Otro, cual: _____



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

	Frecuencia de medición	☐ Anual ☐ Semestral ☐ Trimestral ☐ Mensual ☐ Diario ☐ Otra, cual: _____
	Ubicación para consulta	
	Medio de consulta	
	Física o digital	
	URL	
	Responsable	
	Entidad	
	Dependencia	
	Correo electrónico	
	Teléfono	
	Dirección	

6. Observaciones generales

7. Referencias



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

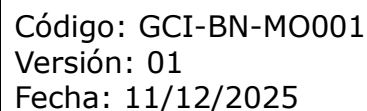
Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

8. Información sobre la Hoja Metodológica

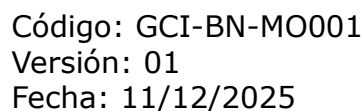
Fecha	Versión	Datos del autor de la versión de la hoja metodológica	Descripción de los cambios en la versión
DD/MM/AAAA	1.0	Nombre funcionario: Cargo: Dependencia: Entidad: Correo electrónico: Teléfono: Dirección: Cítese como:	

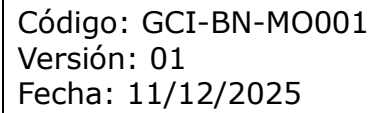
Control de cambios

Versión	Fecha	Descripción
1	09/11/2021	Creación del documento
2	14/02/2025	Actualización del formato de acuerdo con las necesidades de los temáticos y responsables de las operaciones estadísticas e indicadores ambientales.
3	10/07/2025	Se actualiza el Formato de acuerdo con el memorando enviado por la OAP memorando 20251100097283 lineamientos para la actualización documental en el marco de la implementación del aplicativo suite visión. Pasa de M-GCI-F008 a GCI-OE-F002.

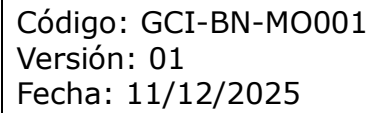


Fecha de actualización: 30 de octubre de 2024

[illegible]



Departamento	Variable/indicador	1990	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
AMAZONAS	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
ANTIOQUIA	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
ARAUCA	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
ATLÁNTICO	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
BOGOTÁ, D.C.	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
BOLÍVAR	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
BOYACÁ	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CALDAS	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CAQUETÁ	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CASANARE	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CAUCA	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CESAR	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CHOCÓ	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CÓRDOBA	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																
CUNDINAMARCA	Superficie cubierta por bosque natural SCBN: (ha)																
	Superficie sin información: (ha)																
	Proporción de la superficie cubierta por bosque natural PSBN (%)																



Indicador cambio en la superficie cubierta por bosque natural



Colombia. Cambio en la superficie cubierta por bosque natural en el territorio continental e insular

Periodos: 1990:2000, 2000:2005, 2005:2010, 2010:2012, 2012:2013, 2013:2014, 2014:2015, 2015:2016, 2016:2017, 2017:2018, 2018:2019, 2019:2020, 2020:2021, 2021:2022, 2022:2023

Periodo <i>t1 : t2</i>	Superficie deforestada <i>SD</i>	Superficie regenerada <i>SR</i>	Superficie sin información ¹	Diferencia neta de la superficie cubierta por bosque periodo <i>t1 : t2</i> ²	Cambio superficie cubierta por bosque naturales <i>CSBN</i>
1990 : 2000					
2000 : 2005					
2005 : 2010					
2010 : 2012					
2012 : 2013					
2013 : 2014					
2014 :2015					
2015 : 2016					
2016 - 2017					
2017 - 2018					
2018 - 2019					
2019 - 2020					
2020 - 2021					
2021 - 2022					
2022 - 2023					

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2024. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques 2024. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

¹Corresponde a la superficie continental e insular sin información en el año *t1*, *t2* 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 (*t1*) y el final (*t2*) 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 (*t1 : t2*) 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 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.

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.



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025



Colombia. Cambio en la superficie cubierta por bosque natural: según Departamento													
Resultados consolidados entre 1990-2023													
Departamento	Hectáreas (ha)												
	1990-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
AMAZONAS													
ANTIOQUIA													
ARAUCA													
ATLÁNTICO													
BOGOTÁ, D.C													
BOLÍVAR													
BOYACÁ													
CALDAS													
CAQUETÁ													
CASANARE													
CAUCA													
CESAR													
CHOCÓ													
CÓRDOBA													
CUNDINAMARCA													
GUAINÍA													
GUAVIARE													
HUILA													
LA GUAJIRA													
MAGDALENA													
META													
NARIÑO													
NORTE DE SANTANDER													
PUTUMAYO													
QUINDÍO													
RISARALDA													
SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA													
SANTANDER													
SUCRE													
TOLIMA													
VALLE DEL CAUCA													
VAUPÉS													
VICHADA													
Total													

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2024. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques 2023. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

1. 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 encuentran al final de la tabla.

La suma Total del cambio en la superficie de bosque natural 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 actualización, Octubre 30 de 2024



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025



Colombia. Cambio en la superficie cubierta por bosque natural según Corporación Autónoma Regional y de Desarrollo Sostenible. 2022-2023					
Hectáreas (ha)					
Corporación Autónoma Regional y de Desarrollo Sostenible	Superficie deforestada SD	Superficie regenerada SR	Superficie sin información:	Diferencia neta de la superficie cubierta por bosque periodo t1 : t2	Cambio superficie cubierta por bosques CSBN
AMVA					
CAM					
CAR					
CARDER					
CARDIQUE					
CARSUCRE					
CAS					
CDA					
CDMB					
CODECHOCÓ					
CORALINA					
CORANTIOQUIA					
CORMACARENA					
CORNARE					
CORPAMAG					
CORPOAMAZONÍA					
CORPOBOYACÁ					
CORPOCALDAS					
CORPOCESAR					
CORPOCHIVOR					
CORPOGUAJIRA					
CORPOGUAVIO					
CORPOMOJANA					
CORPONARIÑO					
CORPONOR					
CORPORINOQUÍA					
CORPOURABÁ					
CORTOLIMA					
CRA					
CRC					
CRQ					
CSB					
CVC					
CVS					
SDA					
Total					

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2024. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

1Corresponde a la superficie continental e insular sin información en el año t1, t2 o en los dos; esta área no se considera en el análisis de cambio.

2Diferencia entre la superficie de bosque natural regenerada y la superficie de bosque natural deforestado entre el año inicio (t1) y el final (t2) del periodo de análisis.

3Diferencia promedio anual entre la superficie de bosque regenerado (ganancia) y la superficie de bosque deforestado (pérdida) entre los años t1 y t2; resulta de dividir la diferencia neta de la superficie cubierta por bosque natural entre el periodo (t1 : t2) 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.

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 actualización. Octubre 30 de 2024

Indicador tasa anual de deforestación





Colombia. Tasa anual de deforestación

Periodos: 1990:2000, 2000:2005, 2005:2010, 2010:2012, 2012:2013, 2013:2014, 2014:2015, 2015:2016, 2016:2017, 2017:2018, 2018:2019, 2019:2020, 2020:2021, 2021:2022, 2022:2023.

Periodo t ₁ : t ₂	Superficie de bosque estable (ha) ₁ SCBE	Superficie deforestada: (ha) SD	Promedio anual de superficie deforestada (ha/año)	Proporción de la superficie sin información: (%)	Tasa anual de deforestación ⁴ (%) TD
1990 : 2000					
2000 : 2005					
2005 : 2010					
2010 : 2012					
2012 : 2013					
2013 : 2014					
2014 : 2015					
2015 : 2016					
2016 : 2017					
2017 : 2018					
2018 : 2019					
2019 : 2020					
2020 : 2021					
2021 : 2022					
2022 : 2023					

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2024. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques 2024. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC). Bogotá, D. C., Colombia.

1 Superficie que permanece cubierta por bosque natural tanto al inicio (t₁) como al final (t₂) del periodo de análisis

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

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

4 Calculada mediante la expresión $TD_{j(t_1:t_2)} = \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \right] * \ln \left[\frac{SCBE_{j(t_1:t_2)}}{(SCBE_{j(t_1:t_2)} + SD_{j(t_1:t_2)})} \right] * 100$. Donde t₁ y t₂ 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 encuentran 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 actualización. Octubre 30 de 2024



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025



Colombia. Tasa anual de deforestación según Departamento. Resultados consolidados entre 1990-2023														Porcentaje (%)	
Departamento	1990-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
AMAZONAS															
ANTIOQUIA															
ARAUCA															
ATLÁNTICO															
BOGOTÁ D.C.															
BOLÍVAR															
BOYACÁ															
CALDAS															
CAQUETÁ															
CASANARE															
CAUCA															
CESAR															
CHOCÓ															
CÓRDOBA															
CUNDINAMARCA															
GUAINÍA															
GUAVIARE															
HUILA															
LA GUAJIRA															
MAGDALENA															
META															
NARIÑO															
NORTE DE SANTANDER															
PUTUMAYO															
QUINDÍO															
RISARALDA															
SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA															
SANTANDER															
SUCRE															
TOLIMA															

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2024. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques 2024. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Bogotá, D. C., Colombia.

* 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:

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.

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 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 encuentral al final de la tabla.

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 actualización, Octubre 30 de 2024



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025



Colombia. Tasa anual de deforestación según Corporación Autónoma Regional y de Desarrollo Sostenible. Resultados consolidados entre 1990-2023															Porcentaje (%)
Corporación Autónoma Regional y de Desarrollo Sostenible	1990-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
AMVA															
CAM															
CAR															
CARDER															
CARDIQUE															
CARSUCRE															
CAS															
CDA															
CDMB															
CODECHOCÓ															
CORALINA															
CORANTIOQUIA															
CORMACARENA															
CORNARE															
CORPAMAG															
CORPOAMAZONÍA															
CORPOBOYACÁ															
CORPOCALDAS															
CORPOCESAR															
CORPOCHEVOR															
CORPOGUAJIRA															
CORPOGUAVIO															
CORPOMOJANA															
CORPONARIÑO															
CORPONOR															
CORPORINOQUIÁ															
CORPOURABA															
CORTOLIMA															
CRA															
CRC															
CRQ															
CSB															
CVC															
CVS															
SDA															

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2022. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Bosques 2022. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Bogotá, D. C., Colombia.

* 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:

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.

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 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.

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.

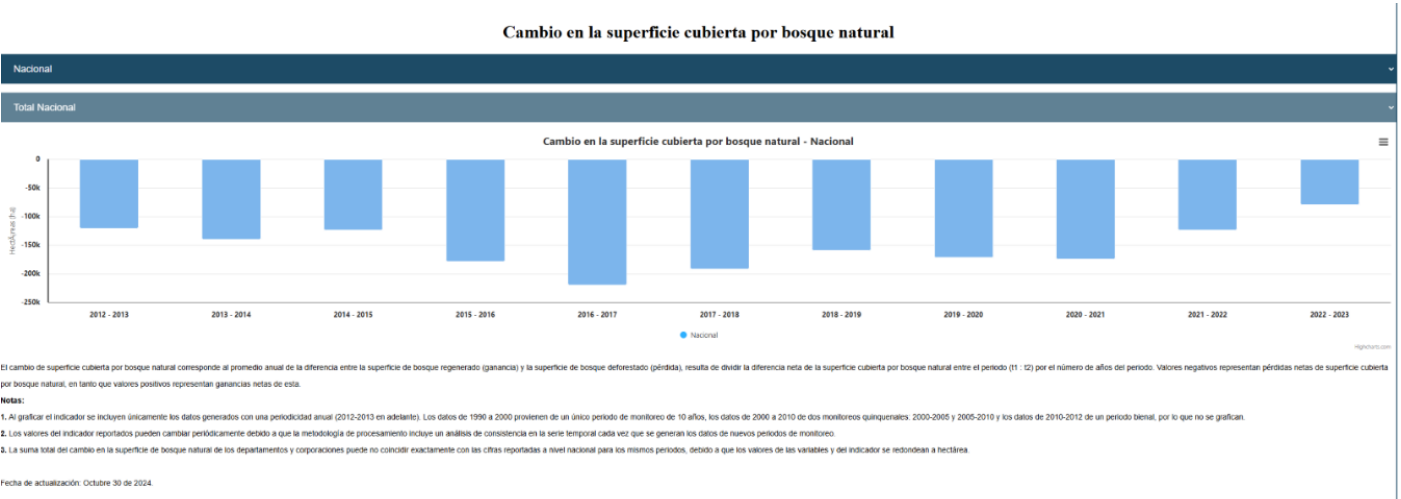
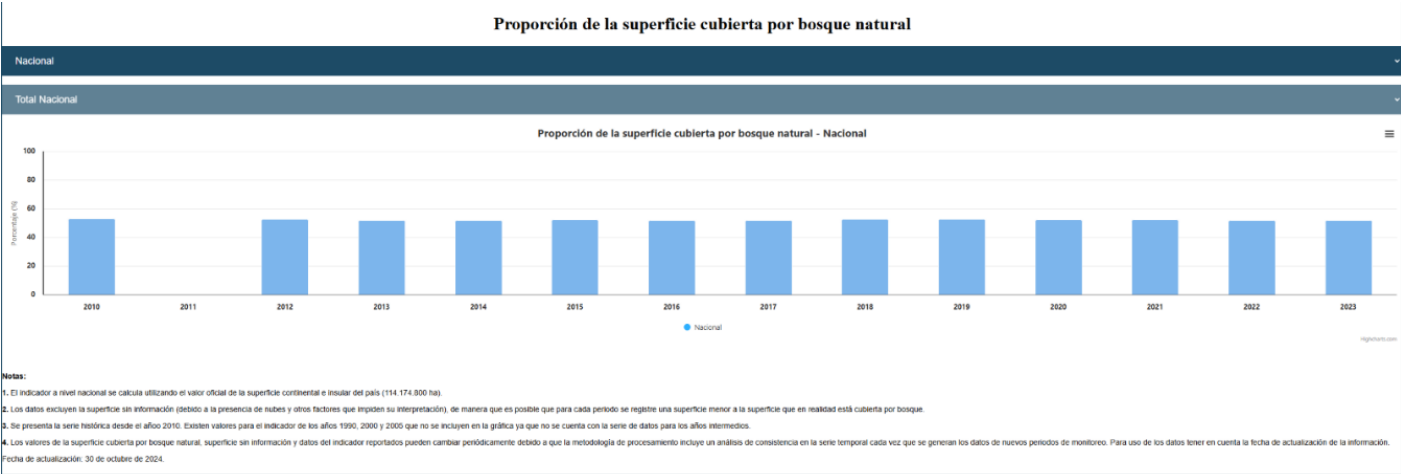
Fecha de actualización. Octubre 30 de 2024



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Anexo 3. Formatos de las gráficas de los indicadores

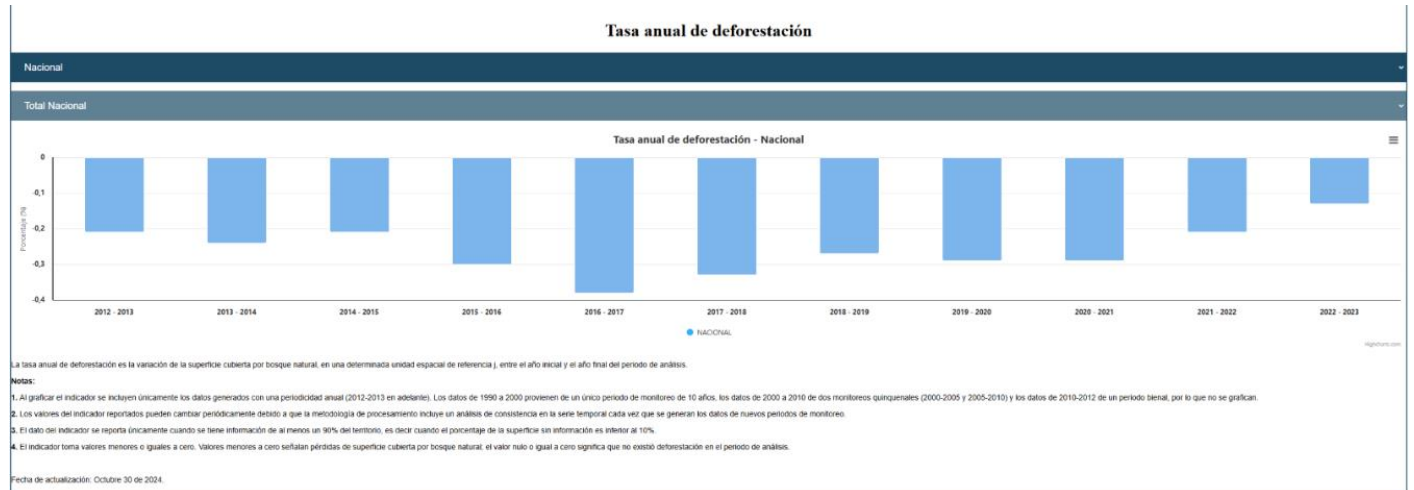




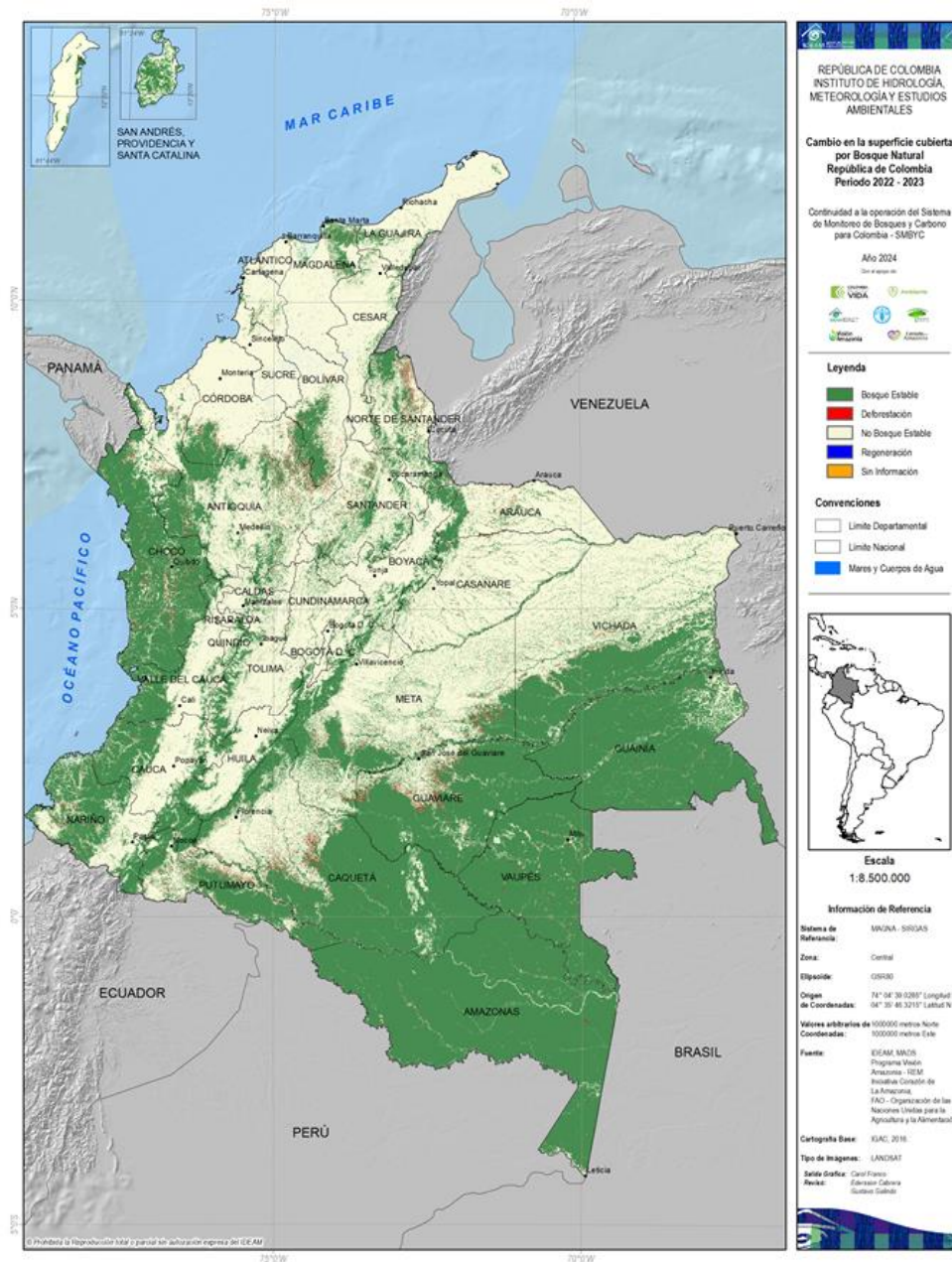
GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN

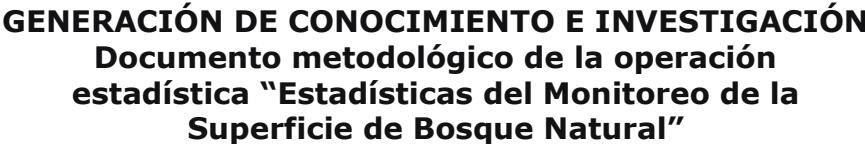
Documento metodológico de la operación estadística "Estadísticas del Monitoreo de la Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025



Anexo 4. Formatos de las salidas gráficas





Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

Anexo 5. Formato de Inventario de imágenes adquiridas y preprocesamiento

[illegible]

Anexo 6. Formato de control de procesos

				Formato Control Preprocesos Deforestación					
								DESCARGA IMÁGENES	
AÑO	ESCENA	REGION	Responsable pre-proceso	# IMÁGENES DESCARGADAS EN INVENTARIO	Consistencia archivos almacenados vs. reportados en el inventario	Imágenes en carpeta Landat_2023\3.Reflectancia\3.1.Reflectancia_comprimida		Descarga de imágenes	Descarga de Imágenes de los últimos meses

Anexo 7. Formato de procesos de control de calidad

[illegible]



GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO E INVESTIGACIÓN
Documento metodológico de la operación
estadística "Estadísticas del Monitoreo de la
Superficie de Bosque Natural"

Código: GCI-BN-MO001
Versión: 01
Fecha: 11/12/2025

CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO METODOLOGICO

Versión	Fecha	Descripción
01	11/12/2025	Creación del documento