



**IDEAM**

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

# **METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”**

**Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental**


	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 2 de 88

INTRODUCCIÓN.....	5
1 DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE NECESIDADES.....	7
1.1 Identificación de usuarios y necesidades de información (Sección 5.1).....	8
1.1.1 Usuarios y necesidades externas nacionales e internacionales .....	8
1.1.2 Usuarios y necesidades internas.....	9
1.1.3 Mecanismos de consulta .....	10
1.1.4 Revisión y actualización de necesidades .....	10
1.2 Análisis de las necesidades recolectadas (Sección 5.2).....	11
1.3 Relevancia de los resultados de la operación estadística para la política pública (Sección 5.3).....	12
1.4 Objetivos de la operación estadística (Sección 5.4) .....	13
1.4.1 Objetivo General .....	13
1.4.2 Objetivos específicos .....	13
1.5 Identificación de conceptos (Sección 5.5).....	13
1.5.1 Conceptos básicos .....	13
1.5.2 Variables estadísticas .....	18
1.5.3 Indicadores estadísticos.....	18
1.6 Comprobación de la disponibilidad de datos (Sección 5.6) .....	19
1.7 Plan General de la operación estadística (Sección 5.7) .....	21
2 DISEÑO (CAPÍTULO 6).....	23
2.1 Verificar las necesidades (Sección 6.1) .....	23
2.2 Confirmar el tipo de fuente de datos (Sección 6.2).....	23
2.3 Diseño temático (Sección 6.3) .....	23
2.3.1 Alcance temático (Título 6.3.1).....	23
2.3.2 Marco de referencia (Título 6.3.2) .....	24
2.3.3 Nomenclaturas y clasificaciones (Título 6.3.3) .....	31
2.3.4 Conceptos estandarizados.....	32
2.3.5 Pertinencia de las variables e indicadores estadísticos .....	33
2.3.6 Pertinencia de la fuente (Título 6.3.6) .....	33
2.3.7 Cobertura geográfica (Título 6.3.7) .....	33
2.3.8 Cuadros de salida (Título 6.3.8) .....	33
2.3.9 Instrumento de recolección (Título 6.3.9).....	36
2.3.10 Desgaste de la fuente (Título 6.3.10) .....	36
2.4 Diseño estadístico (Sección 6.4).....	37
2.4.1 Universo de estudio.....	37

2.4.2	Población objetivo .....	37
2.4.3	Unidades estadísticas .....	38
2.4.4	Periodo de referencia .....	38
2.4.5	Marco estadístico (Título 6.4.2).....	38
2.4.6	Control de sesgo (Título 6.4.4).....	39
2.5	Diseño de la recolección de los datos (Sección 6.5).....	39
2.5.1	Diseño de la recolección de los datos (Título 6.5.1).....	39
2.5.2	Control y supervisión (Título 6.5.2) .....	47
2.5.3	Acopio de datos no estructurados (Título 6.5.4).....	47
2.5.4	Periodo y medio para la conservación de los datos (Título 6.5.6).....	49
2.5.5	Sensibilización (Título 6.5.7) .....	49
2.5.6	Entrenamiento (Título 6.5.8).....	49
2.6	Diseño del procesamiento de los datos (Sección 6.6) .....	50
2.7	Diseño del análisis (Sección 6.7).....	52
2.8	Diseño de la difusión (Sección 6.8).....	53
2.9	Diseño de flujos de trabajo (Sección 6.9) .....	55
2.10	Finalización de archivo de datos (Sección 6.10).....	57
2.11	Diseño de las pruebas (Sección 6.11) .....	58
2.12	Diseño de la evaluación del desempeño (Sección 6.12) .....	58
3	CONSTRUCCIÓN (CAPÍTULO 7) .....	62
3.1	Marco estadístico (Sección 7.1).....	62
3.2	Instrumentos de recolección (Sección 7.2) .....	62
3.3	Desarrollo del software aplicativo de la operación estadística (Sección 7.3).....	63
3.4	Elaboración de materiales para la recolección (Sección 7.5) .....	63
3.5	Construcción de los flujos de trabajo (Sección 7.6) .....	64
3.6	Pruebas (Sección 7.7).....	64
4	RECOLECCIÓN (CAPÍTULO 8) .....	64
4.1	Actividades previas a la recolección (Sección 8.1) .....	64
4.1.1	Entrenamiento (Título 8.1.1).....	64
4.1.2	Sensibilización (Título 8.1.2) .....	65
4.2	Recolección de datos (Sección 8.2).....	65
4.3	Control en la recolección de datos (Sección 8.3).....	65
5	PROCESAMIENTO (CAPÍTULO 9).....	66
5.1	Integración de datos y generación de resultados (Sección 9.1) .....	66

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 4 de 88

5.2	Clasificación y codificación (Sección 9.2) .....	67
5.3	Revisión y validación de datos (Sección 9.3).....	67
5.4	Finalización de los archivos de datos (Sección 9.6) .....	68
6	ANÁLISIS (CAPÍTULO 10) .....	69
6.1	Consistencia y coherencia de los resultados (Sección 10.1 y 10.4) .....	69
6.2	Limitaciones de los resultados (Sección 10.2).....	71
6.3	Cálculo de agregaciones -resultados (Sección 10.3).....	71
6.4	Validar y documentar resultados (Sección 10.5).....	72
6.5	Métodos de análisis (Sección 10.6) .....	72
6.6	Confidencialidad de las fuentes (Sección 10.7) .....	72
6.7	Reuniones con expertos (Sección 10.8) .....	72
7	DIFUSIÓN (CAPÍTULO 11) .....	72
7.1	Productos, canales y medios de difusión (Sección 11.1).....	74
7.2	Metadatos (Sección 11.2) .....	75
7.3	Puntualidad y oportunidad (Sección 11.3) .....	75
7.4	Continuidad de la operación estadística (Sección 11.4) .....	75
7.5	Publicación de medidas de calidad (Sección 11.5).....	76
7.6	Series históricas (Sección 11.6).....	76
7.7	Condiciones de uso de la información estadística (Sección 11.7) .....	76
7.8	Autorización de publicación de información estadística (Sección 11.8).....	76
7.9	Soporte a usuarios de la información estadística (Sección 11.9) .....	77
8	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO (CAPÍTULO 12).....	77
8.1	Evaluaciones de desempeño .....	77
8.2	Revisión al diseño .....	79
8.3	Evaluación final del proceso estadístico .....	79
8.4	Análisis de la evaluación del desempeño (Sección 12.4) .....	80
8.5	Auditoría interna (Sección 12.5).....	80
9	MEJORA (CAPÍTULO 13).....	80
9.1	Generalidades (Sección 13.1).....	80
9.2	No conformidad y acción correctiva (Sección 13.2).....	80
9.3	Mejora continua (Sección 13.3) .....	81
	DOCUMENTOS RELACIONADOS .....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	82

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales <b>IDEAM</b>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 5 de 88

## INTRODUCCIÓN

La determinación del Área y Cambio de Cobertura Glaciar es una estadística oficial única en todo el país y de importancia mundial, que está bajo la responsabilidad del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. Representa el estado actual y la tendencia histórica de la superficie continental colombiana que se encuentra cubierta por hielo glaciar.


El IDEAM es un establecimiento público de carácter nacional, con autonomía administrativa y adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. La misión del IDEAM es generar conocimiento y producir información confiable, consistente y oportuna sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general (IDEAM, 2020 A). Fue creado bajo la ley 99 de 1993, se organizó y estableció a través del decreto 1277 de 1994 y se adoptaron los estatutos bajo el decreto 2241 de 1995. Las funciones que el Instituto ha desempeñado desde el inicio de sus labores se encuentran compiladas en el decreto 1076 de 2015. Según el Artículo 17 de la ley 99 de 1993, es la entidad encargada 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 ordenamiento del territorio” (Ley 99, 1993). Adicionalmente, constituye un pilar técnico-científico del Sistema Nacional Ambiental-SINA, al conferir la dirección y coordinación de este (Decreto 1600, 1994).

En segunda instancia, en aras del desarrollo de estadísticas oficiales para Colombia, se define al Departamento Nacional de Estadística - DANE, como ente rector del Sistema Estadístico Nacional (SEN) cuya función principal es definir lineamientos, estándares y normas técnicas para la producción de estadísticas oficiales de todos sus miembros, uno de los cuales es el IDEAM. De esta forma en el año 2020, el DANE expide los Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional versión 2020, cuyo objetivo es orientar a las dependencias del DANE y las entidades del SEN en prácticas estandarizadas dentro de la producción estadística (DANE, 2020 A).

Las operaciones estadísticas del IDEAM se enmarcan en la información producida acerca del estado y uso del recurso hídrico, los recursos forestales, el aire, los suelos y los ecosistemas, así como también lo relacionado con los residuos peligrosos y la información ambiental del sector manufacturero. La operación estadística “Área y cambio de cobertura glaciar”, compete a la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental del IDEAM, toda vez que esta se encarga de presentar la información de los procesos de investigación aplicada en temas como ecosistemas continentales costeros y marinos, estructura ecológica, dinámica de las coberturas de la tierra, monitoreo y seguimiento de los suelos y las tierras e igualmente y de mayor relevancia para este documento, la dinámica de los glaciares del país (IDEAM, 2020 B).

Es así como el IDEAM implementa técnicas que permiten evaluar la dinámica y evolución de los glaciares o nevados nacionales. En primera instancia, el Instituto aplica un método directo en campo en dos zonas glaciares del país (Volcán Nevado Santa Isabel y Sierra Nevada El Cocuy o Güicán) para el cálculo de la operación estadística Balance de Masa Glaciar, lo cual permite conocer una medida volumétrica de las pérdidas o ganancias de masa glaciar para estos glaciares de estudio. No obstante, el método directo refleja el comportamiento particular de estas unidades producto de la observación. Razón por la cual, surge la necesidad de estudiar los actuales nevados colombianos en su totalidad y periódicamente a partir de métodos indirectos, por medio de sensores remotos, para la determinación del cambio de sus áreas, con el fin de cubrir todo el territorio nacional.

Este documento metodológico, así como los demás documentos que forman parte del Sistema de Gestión Integrado-SGI de la entidad respecto a esta temática, describen de manera detallada el proceso estadístico de la **operación**

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales <b>IDEAM</b>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 6 de 88

**estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar (OE ACCG):** *cálculo del área glaciar nacional y para cada una de las zonas glaciares colombianas en un periodo determinado de observación y su cambio en el tiempo, por medio del uso de productos de sensoramiento remoto en formato digital.* Esta operación estadística es única en su tipo y se puede utilizar como indicador de los ecosistemas y de la evolución del clima de la alta montaña de Colombia. Los glaciares son los mejores indicadores naturales de cambio climático, ampliamente reconocidos en el mundo, por lo tanto, el seguimiento de la dinámica de la criósfera<sup>1</sup> terrestre es vital para medir la intensidad del actual cambio climático.


La institucionalización del Área y Cambio de Cobertura Glaciar como una operación estadística del SEN, busca aportar en su objetivo por hacer más eficientes los procesos de producción estadística, contribuyendo al cumplimiento de los Principios Fundamentales de las Estadísticas Oficiales de las Naciones Unidas, el Código Nacional de Buenas Prácticas del Sistema Estadístico Nacional y la Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico (en adelante NTC-PE 1000:2020); así como contribuir a la comparabilidad, la integración y la interoperabilidad de la información estadística y mejorar la capacidad en la toma de decisiones.

La NTC-PE 1000:2020 (ver documentos relacionados al final del documento) contempla los requisitos generales de la entidad (capítulo 4 ‘Requisitos Generales’), los cuales se detallan en el documento “REQUISITOS GENERALES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA DEL PROCESO ESTADÍSTICO (NTC-PE 1000/2017-2020)” vinculado al Sistema de Gestión Integrado de consulta interna, el cual se hace extensivo a todas las operaciones estadísticas que adelanta el IDEAM<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Los componentes del sistema Tierra que están congelados, incluyendo cobertura de nieve, glaciares, casquetes de hielo continental, plataformas de hielo flotantes, icebergs, hielo marino, hielo en lagunas, hielo en ríos, permafrost y suelo congelado estacional (IPCC, 2019).

<sup>2</sup> En adición a este documento y en aras de dar cumplimiento al numeral 4.9 ‘Subcontratación para el desarrollo de la operación estadística’ de la NTC-PE 1000:2020 se aclara que, para esta operación estadística, la entidad productora no subcontrata el desarrollo de una o más fases de este proceso con un operador externo; pero puede adquirir los insumos mediante convenio o proceso de compra. Dichos procesos están amparados en los procesos institucionales correspondientes. Aun así, en el evento de un convenio o proceso de compra, esto no exime la responsabilidad de la producción estadística enteramente al IDEAM.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 7 de 88

## 1 DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE NECESIDADES

Con el fin de realizar una planificación precisa y eficiente de la operación estadística en términos de recursos, estructura y organización, es fundamental y de primer orden reseñar la fase de detección y análisis de necesidades existentes sobre la misma. A partir de este proceso inicial se confirma la necesidad y alta importancia de realizar la operación, así como su viabilidad técnica y económica desde el punto de vista misional del IDEAM.


Esta fase operativa se compone de diferentes etapas en las que primero se identifican, consultan y confirman las necesidades de la operación, posteriormente se definen los objetivos y se identifican los conceptos, se comprueba la disponibilidad de los datos y se explora una metodología para finalmente elaborar un plan general para la operación estadística.

En términos generales, la **OE ACCG** encuentra la principal razón de la necesidad para su desarrollo y viabilidad en la gran importancia nacional e internacional. La necesidad del estudio de los glaciares en todo el planeta es incuestionable, los glaciares son uno de los mejores indicadores naturales de cambio climático, ampliamente reconocidos en el mundo por entidades como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas – IPCC y el órgano de las Naciones Unidas encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. La mayor ventaja de los glaciares como objeto de estudio radica en su sensibilidad climática, los cambios en los glaciares y las capas de hielo proporcionan una de las evidencias más claras del cambio climático y como tal, constituyen variables clave para la identificación de estrategias de observación del clima global.

En el caso de Colombia, el IDEAM tiene esa responsabilidad. A nivel mundial se ha recomendado que los países que posean en su territorio parte de la criósfera terrestre realicen observaciones periódicas, sistemáticas y estandarizadas, para tener comparabilidad y relacionar estos cambios con dinámicas observadas en la atmósfera, hidrósfera e incluso la biósfera terrestre. Sumado a la importancia que cumplen los glaciares como indicadores de alteraciones en el clima terrestre, hay que añadirle las posibles implicaciones para los grupos sociales que mantienen una relación directa con estos sistemas desde los aspectos socioeconómicos y culturales. Los glaciares ecuatoriales, como los de Colombia, son especialmente sensibles a este proceso, pues aun cuando el proceso de reducción glaciar es mundial, es diferencial según la zona geográfica del planeta. Los glaciares tropicales andinos se consideran especialmente sensibles al actual cambio climático (Schoolmeester et al., 2018).

Según el informe especial *El océano y la criósfera en un clima cambiante* del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, se prevé que las regiones donde predominan los glaciares más pequeños -por ejemplo, Europa central, el Cáucaso, Asia septentrional, Escandinavia, los Andes tropicales, México, África oriental e Indonesia- sufrirán la pérdida de más del 80 % de su masa de hielo actual en el año 2100 en el marco de la trayectoria de concentración representativa (RCP 8,5), el modelo más pesimista o la trayectoria con el nivel más elevado de emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2019).

Atendiendo a esta importancia, interpretada como una demanda global de necesidades de información, desde su creación en 1993 y adopción de estatutos en 1995, el IDEAM y específicamente la entonces Subdirección de Geomorfología y Suelos, llevó a cabo en el año 1997 el estudio y la publicación denominada *Geosistemas de la alta montaña*, realizado en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia. Este estudio determinó los datos de las áreas glaciares colombianas para finales de la década de 1990 con los que el país cuenta hasta el día de hoy. Desde aquel entonces, la entidad productora de la operación estadística ha tenido la responsabilidad de ofrecer al país los datos oficiales de la totalidad de los glaciares colombianos, los cuales han sido tenidos en cuenta nacional e internacionalmente.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 8 de 88

## 1.1 Identificación de usuarios y necesidades de información (Sección 5.1)

El primer paso en la consecución del proceso estadístico es identificar la necesidad no solamente dentro del país sino de entidades internacionales, por información del estado de los glaciares colombianos. En este proceso se interactúa con usuarios internos del instituto, así como externos, nacionales e internacionales, quienes son un eslabón fundamental en el posible rediseño de la operación, su planeación efectiva y de igual manera en el desarrollo de la propia operación en fases posteriores. El IDEAM, como entidad productora, ha establecido mecanismos e instrumentos para determinar esta necesidad existente por la obtención de este conocimiento, las cuales justifican su alta relevancia dentro de los indicadores ambientales para Colombia.

El IDEAM ha establecido herramientas de identificación de usuarios y necesidades. Las principales actividades correspondientes a la fase de detección y análisis de necesidades de información glaciológica de los usuarios de la OE ACCG se vislumbran en el *Protocolo para la detección y análisis de necesidades de información de la dinámica glaciar en Colombia*.

A continuación, se desglosan las necesidades por sus características interna y externa.

### 1.1.1 Usuarios y necesidades externas nacionales e internacionales

Desde el ámbito nacional, diferentes entidades han presentado necesidades de información glaciológica, directa o indirectamente dada la representatividad de los datos para la comprensión del medio ambiente y el cambio climático. Tal es el caso del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's), quienes a su vez también usan información registrada en el Estudio Nacional del Agua (ENA) y en el Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IEARNR). Vale la pena destacar a la entidad de orden nacional Parques Nacionales Naturales de Colombia, encargada de la administración y manejo del Sistema de Parques Nacionales Naturales y la coordinación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, como otro usuario de información de glaciología; particularmente en los parques dentro de los cuales hay cobertura glaciar.

A nivel internacional, los datos del IDEAM son la fuente oficial para la información recopilada en la Red terrestre mundial para glaciares (Global Terrestrial Network for Glaciers GTN-G). Esta red es el marco existente para el monitoreo internacional coordinado de glaciares, en apoyo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Es administrada conjuntamente por el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS por sus siglas en inglés), el Centro Nacional de Datos de Nieve e Hielo de EE. UU. (NSIDC por sus siglas en inglés) y la iniciativa de Mediciones Globales de Hielo Terrestre de Iniciativa espacial (GLIMS por sus siglas en inglés). La información general de los nevados colombianos, concerniente a los inventarios de esta red consiste en la actualización de datos generales de los glaciares (World Glacier Inventory) e información geográfica en formato vectorial de los contornos de estos (Randolph Glacier Inventory).

A través de la GTN-G la operación hace parte indirectamente del *Global Climate Observing System-GCOS* y el *Terrestrial Observation Panel for Climate-TOPC*; así como a órganos consultivos como el *Global Environment Outlook* del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (GEO-UNEP), el Programa Hidrológico Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (PHI-UNESCO) o el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC-ONU). De la misma forma, la información glaciológica liderada por el IDEAM hace parte de las actividades regionales en materia de glaciología y nivología en



	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 9 de 88


países latinoamericanos, a cargo del Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos (GTNH) del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe de la UNESCO<sup>3</sup> (PHI-LAC).

### 1.1.2 Usuarios y necesidades internas

Los usuarios internos de la entidad que requieren de la información estadística como otras dependencias que funcionan como usuarias de la información, utilizan canales internos como el correo electrónico institucional, el Sistema de Gestión Documental (ORFEO) o solicitudes formales como memorandos para dichos requerimientos. La información estadística de la operación puede y ha sido usada en diferentes informes y comunicaciones eventuales de la entidad productora. A continuación, se reseñan los principales productos de otras dependencias dentro del IDEAM, que representan necesidades periódicas internas de la información estadística.

- *Estudio Nacional del Agua:*  
Los Estudios Nacionales del Agua (ENA) son documentos misionales del IDEAM, que de manera periódica dan cuenta del estado y dinámica del agua y los recursos hídricos en Colombia, uno de los cuales es el estado de los glaciares del país (IDEAM, 2015). El ENA contribuye aportando y actualizando información y conocimiento sobre la oferta, la demanda, la calidad, el riesgo, las respuestas hidrológicas a la variabilidad climática, las aguas subterráneas y la huella hídrica en Colombia (IDEAM, 2019). En esta publicación, con una periodicidad de cuatro años, se integra la información de la superficie y el Área y Cambio de Cobertura Glaciar como base de información, aportante al enfoque conceptual y la metodología general a partir de la cual se realiza dicho estudio tan relevante para el país. La información de la Operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar ha sido reportada en los ENA 2014 (IDEAM, 2015) y ENA 2018 (IDEAM, 2019) a manera de una síntesis de las características, el estado y la evolución reciente de los glaciares colombianos.
- *Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IEARNR):*  
Este informe, publicado bienalmente y coordinado por el IDEAM, incluye información oficial y un análisis en temas ambientales como aire, ecosistemas, cambio climático, biodiversidad, residuos, meteorología y agua de todo el país. Este documento pone a disposición de la comunidad en general, la información generada por los Institutos de Investigación adscritos y vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en relación con el estado, el comportamiento, la calidad y la cantidad de los recursos naturales renovables del país; en los que se incluye información de los glaciares colombianos y su proceso de derretimiento, como parte integral del capítulo de evidencias y casos territoriales de un clima cambiante (IDEAM et al, 2019). La información de la Operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar ha sido reportada hasta el momento en los Informes del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables de los años 2019-2020, 2017-2018 (IDEAM et.al., 2019), 2016 (IDEAM et.al., 2017), 2014 (IDEAM et.al., 2015), 2011 (IDEAM et.al., 2013) y 2010 (IAvH et.al., 2011).
- *Comunicación Nacional de Cambio Climático:*  
Esta Comunicación Nacional, publicada por el IDEAM, es el principal mecanismo de reporte que tienen los países miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para comunicar los avances en la implementación de la Convención (IDEAM et.al., 2017 B). Hasta la actualidad se han presentado tres versiones (2001, 2010 y 2017) como parte de un proceso de construcción colectiva interinstitucional para la recolección y el análisis de la información relacionada con el cambio climático. La información estadística obtenida por la operación permitió argumentar parte integral del análisis

<sup>3</sup> Esta instancia se constituyó en el año 2003 con el objetivo de promover actividades regionales en materia de glaciología y nivología en los países de la región; los Estados Miembros del GTNH son aquellos países de América Latina que poseen glaciares: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú y Venezuela, o, como en el caso de Brasil, una estación de investigación científica en la Antártica.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 10 de 88

de cambios de coberturas glaciares en Colombia en la segunda comunicación (IDEAM, 2010), así como parte del capítulo de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en el marco de la Articulación de Gestión del riesgo y adaptación al Cambio Climático -UNDGR de la Tercera Comunicación (IDEAM et.al., 2017 B).

- *Mapa de coberturas de la tierra*

Esta publicación actualiza información de los paisajes terrestres colombianos y de las interacciones del hombre sobre estos, lo cual se ve reflejado en el tipo de cubierta que se ve sobre el suelo; información base para calcular la representatividad y conservación de los ecosistemas en Colombia, para cuantificar los gases efecto invernadero, para la construcción de información ambiental de otras temáticas como la degradación de los suelos o el modelamiento de los efectos de eventos climáticos, entre muchos otros usos ([http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/el-ideam-entrego-al-pais-el-mapa-nacional-de-coberturas-de-la-tierra](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/el-ideam-entrego-al-pais-el-mapa-nacional-de-coberturas-de-la-tierra)). Para la última versión de este producto editorial, los resultados de la OE ACCG fueron tenidos en cuenta como un insumo orientador en la definición del mapa, particularmente la capa denominada ‘zonas glaciares y nivales’.

En suma, el IDEAM cuenta con una estrategia de identificación y revisión de las necesidades y usuarios en aras de asegurar la generación de la información estadística requerida; así como para hacer seguimiento en el tiempo y detectar cambios o nuevas necesidades a atender.

### **1.1.3 Mecanismos de consulta**


En la primera iteración del proceso estadístico, el IDEAM recolecta e identifica a los usuarios y las necesidades de información glaciológica, por medio de la “*Encuesta de caracterización de usuarios de información glaciológica*”. Recurso que tiene como objetivo identificar y caracterizar a los usuarios de la información glaciológica mediante el diligenciamiento de un cuestionario tipo formulario de Google, el cual permite caracterizar y confirmar las necesidades de información, el link de acceso se encuentra en el documento *Formato de caracterización de necesidades de información glaciológica*.

A partir de la segunda iteración, el Grupo de Servicio al Ciudadano del Instituto selecciona, depura y caracteriza a los usuarios y las necesidades recibidas a partir de peticiones, quejas, reclamos, sugerencias o denuncias (PQRS). Este proceso es realizado en el marco de la política “un mejor Estado al servicio de los ciudadanos”, con el que el IDEAM cuenta con un Servicio que ofrece a toda la ciudadanía una orientación oportuna, trato amable y respuestas efectivas con respecto a las solicitudes de información (IDEAM, 2020 C). Este mecanismo permite el acceso a la información pública de los ciudadanos, usuarios o grupos de interés a la información producida de la OE ACCG.

Adicionalmente, se cuenta con el documento *Directorio de usuarios de información glaciológica*, que consiste en una lista actualizada de usuarios de información glaciológica en el que se identifica la entidad, los datos de contacto, el sector, la temática de interés, las necesidades específicas de información, así como una caracterización de estos.

### **1.1.4 Revisión y actualización de necesidades**

Los mecanismos de consulta anteriormente descritos, permiten a la entidad revisar y actualizar las necesidades de los usuarios en cada iteración de la operación estadística. Ambos mecanismos, tanto la herramienta de la *Encuesta de caracterización de usuarios de información glaciológica* como el sistema de PQRS, son recursos que permiten la recepción permanente de necesidades. Adicionalmente, una vez terminada cada iteración del proceso estadístico, se revisan y actualizan estas necesidades, en caso de ser necesario, a través de una reunión anual de evaluación descrita en el numeral 1.2 de este documento.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 11 de 88

- El directorio de usuarios se actualizará cada iteración durante los meses de junio a septiembre como se estipula en el Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística superficie y cambio de área glaciar nacional (SCAG).

## 1.2 Análisis de las necesidades recolectadas (Sección 5.2)

El IDEAM, complementario al proceso de identificación de las necesidades, confirma y analiza las mismas teniendo en cuenta la importancia para el país y el fenómeno de estudio. Es de interés para el Instituto que la operación presente información fiable y comparable a nivel mundial. En tal sentido, acorde con el *Protocolo para la detección y análisis de necesidades de información de la dinámica glaciar en Colombia* las necesidades de información se analizan y confirman a través de una reunión anual de evaluación, que tiene como responsables a el(la) Subdirector(a) de Ecosistemas e Información Ambiental, Coordinador(a) grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña y Profesional Especializado (líder temático).

Mediante este mecanismo el IDEAM realiza la identificación, caracterización y análisis de las solicitudes de información y usuarios tanto internas, externas, nacionales o internacionales, que permiten la generación de la información estadística que estos requieren. Las herramientas anteriormente descritas permiten hacer un seguimiento periódico para detectar cambios o nuevas necesidades que atender respecto al alcance temático de la operación. A continuación, se presenta un ejemplo de la caracterización de necesidades y usuarios de información glaciológica en Colombia.

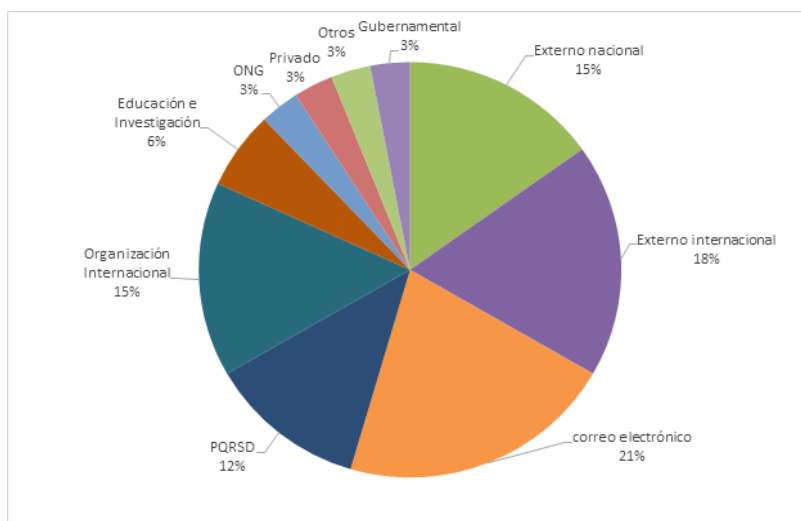


Figura 1. Caracterización por tipo de necesidades satisfechas desde 2014 - 2019.

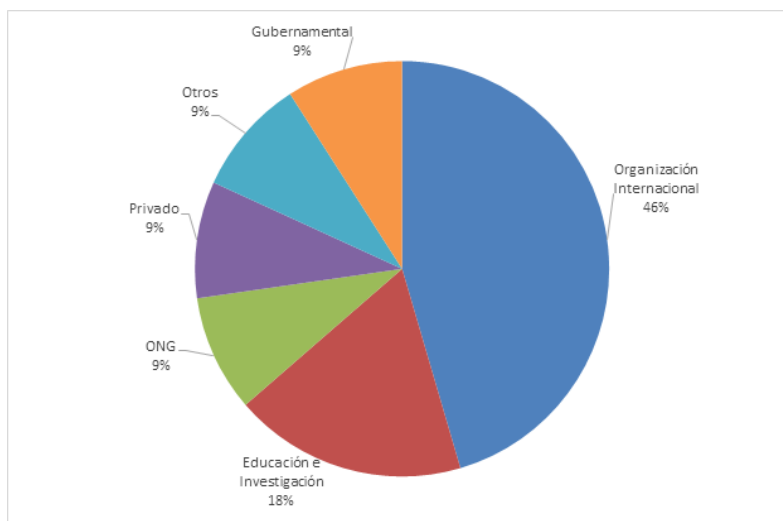


Figura 2. Caracterización por sector de los usuarios que solicitaron información glaciológica desde 2014 - 2019.


### 1.3 Relevancia de los resultados de la operación estadística para la política pública (Sección 5.3)

La información compartida en diferentes productos tales como la Tercera Comunicación Nacional de cambio climático tienen particular relevancia, ya que la OE ACCG ofrece información relevante del estado de los ecosistemas estratégicos en esta publicación y hace parte argumental de las evidencias de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático con que cuenta el país. Esto provoca que la información producida en esta operación sea tenida en cuenta para las comunicaciones oficiales del IDEAM en las que se vislumbran recomendaciones de política pública y acciones de mitigación y adaptación.



Figura 3. Área glaciaria colombiana tenida en cuenta como información de ecosistemas estratégicos entre otra información relevante para el país. Tomado de la tercera comunicación nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático

Las operaciones estadísticas de dinámica glaciaria del IDEAM son únicas para el país. Es así que, la evidente relevancia del seguimiento a la dinámica de los glaciares en el mundo, refleja la importancia de la información estadística generada; los resultados de estas operaciones estadísticas evidencian a su vez un margen amplio para una mayor

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 13 de 88

difusión y conocimiento de los resultados, que puedan ser usados en un futuro para la toma de decisiones en estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático a nivel de políticas nacionales.

#### 1.4 Objetivos de la operación estadística (Sección 5.4)

La definición de objetivos se establece en este documento, así como en el *Plan general para la Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar* y la *Ficha metodológica para la Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*. En dichos documentos se revisa y documenta el objetivo de la operación estadística y se actualiza cuando se requiere algún cambio, asegurando la coherencia entre los elementos de la operación en su conjunto.

##### 1.4.1 Objetivo General

Generar estadísticas del área y el cambio en el tiempo y en el espacio de la cobertura glaciar en Colombia, mediante el uso de imágenes de sensoramiento remoto y la aplicación de Sistemas de Información Geográfica.

##### 1.4.2 Objetivos específicos

- Producir información geoespacial para cada una de las masas glaciares actuales del país producto de la delimitación del área glaciar.
- Estimar el área glaciar de cada una de las masas glaciares actuales del país para un año específico.
- Calcular para cada masa glaciar el cambio de cobertura entre dos periodos de referencia en términos absolutos.
- Estimar el área glaciar de Colombia para un año específico.
- Calcular el cambio de cobertura glaciar de Colombia entre dos periodos de referencia, en términos absolutos.
- Publicar las estadísticas derivadas de la operación estadística en el portal web institucional.


#### 1.5 Identificación de conceptos (Sección 5.5)

Con miras en asegurar la coherencia, la comparabilidad y la transparencia de la estadística producida, es determinante la identificación y la claridad de los conceptos básicos a ser utilizados en esta operación estadística, que se encaminan en dos grandes aspectos: los conceptos glaciológicos (que además incorporan los valores socioculturales para la sociedad humana) y los conceptos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección. Adicionalmente, se presenta la definición de las variables y los indicadores estadísticos.

##### 1.5.1 Conceptos básicos

**Contexto acerca de los glaciares, su interpretación y su importancia:**

Es un consenso que el actual cambio climático, provocado por el ser humano, ha generado una alteración peligrosa y generalizada en el medio ambiente. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), “Los glaciares de los Andes tropicales han perdido, al menos, un 30 % de su superficie desde la década de 1980, con una tendencia de balance de masas negativa de -0,97 m de equivalente en agua al año durante el período de monitoreo de 1990-2020” (OMM, 2022). Es de común acuerdo que “los rápidos cambios en los glaciares de montaña tienen

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 14 de 88

múltiples repercusiones en los sistemas socioecológicos, ya que afectan no sólo a las propiedades biofísicas, como el volumen de escorrentía y los flujos de sedimentos en los ríos alimentados por glaciares, los riesgos relacionados con los glaciares y el nivel global del mar, sino también a los ecosistemas y los medios de subsistencia humanos, las actividades socioeconómicas y sectores como la agricultura y el turismo, así como otros activos intrínsecos, como los valores culturales” (IPCC, 2019).

Los glaciares actuales colombianos, comúnmente llamados Nevados, han sido interpretados por la sociedad colombiana desde diversos marcos de significación. Dicho de otra manera, en el tiempo y en la historia, estos sistemas naturales y considerados patrimonio ambiental de la nación (razón adicional de ser objeto de estudio y del proceso estadístico), han estado presentes en la mente de distintos grupos sociales, algunos interesados en estudiarlos desde la ciencia moderna, otros en recorrerlos y vivirlos como paisajes de aventura o de romanticismo, otros grupos sociales lo interpretan como símbolo de espiritualidad desde una visión cosmogónica. Ese interés subyace en lo notorio de sus formas, en su altitud considerable que las hace sobresalir del contexto y por supuesto su color blanco que resalta inmediatamente en el paisaje, además de ser un referente territorial. Pero también está en el espíritu humano que impulsa empresas destinadas a preguntarse, reconocer y admirar espacios exóticos, fenómenos extremos y lugares escondidos.

Sin embargo y pese a que Colombia es un país que ha incluido en sus tradiciones orales y escritas a la montaña, el interés generalizado por la alta montaña y en especial sus nevados, es un aspecto relativamente nuevo en el inconsciente colectivo de la población colombiana. La resignificación de la naturaleza, consecuencia directa del auge del paradigma ambientalista, y la existencia de discursos como el del cambio climático, han empujado a contingentes de caminantes y escaladores hacia las altas cumbres colombianas. Los científicos colombianos, inmersos en la misma coyuntura, han optado por estudiar las masas glaciares colombianas, tratando de descubrir los procesos que entrañan estos espacios, únicos en el mundo.

Bajo este contexto es que los glaciares, para los científicos primero y luego para la sociedad humana, se han convertido en uno de los indicadores de cambio climático por sus relativamente rápidos y medibles cambios. Los ojos del mundo comúnmente están puestos en los océanos y en la criosfera, por lo tanto, un creciente interés se enfoca en estos sistemas y en particular son llamativos los glaciares por su espectacularidad y en Colombia el fenómeno no ha sido ajeno: es así como la encuesta a los usuarios de la información técnica glaciológica, las solicitudes de información (cifras, estadísticas, informes de estado, mapas, fotografías, videos), asistencia de una variedad de personas en conferencias y eventos en ciudades capitales (Asociaciones, Colegios, Universidades e instituciones públicas) y en cabeceras municipales cercanas a los glaciares (estudiantes, guías de montaña, docentes y campesinos), evidencian que el estudio meramente científico de los glaciares no es suficiente para satisfacer las necesidades de información y conocimiento de la sociedad colombiana y se requiere de una transformación de la comunicación de la ciencia a la ciudadanía. Así, en 2018 surge la necesidad de crear un medio de difusión de la información que va más allá de lo glaciológico y se origina el “Informe del estado de los glaciares colombianos”, publicación anual que reporta su estado y tendencia.

Tal vez este nuevo impulso al redescubrimiento, estudio y goce de los nevados colombianos permita reconocerlos en su debida y justa proporción científica y sociocultural antes de que dejen de existir y por ahora se convierte en una responsabilidad ética institucional para con la sociedad colombiana el construir la historia de los quizás últimos nevados colombianos por medio de este proceso estadístico que deja registros que con el tiempo serán de gran valor para la sociedad.

### Conceptos básicos glaciológicos:

- *Fluctuación glaciar*: Cambios en los glaciares a través del tiempo, relacionados con la longitud, la superficie, grosor, volumen y masa del cuerpo de hielo (Cogley et.al., 2011).
- *Fragmento glaciar*: Porción de un glaciar que, por efecto del proceso de derretimiento o por fracturamiento del hielo causado por su propia dinámica, ha quedado separado de una masa de mayor tamaño, pero sigue haciendo parte del mismo glaciar. Se incluye como fragmento glaciar, el hielo muerto.

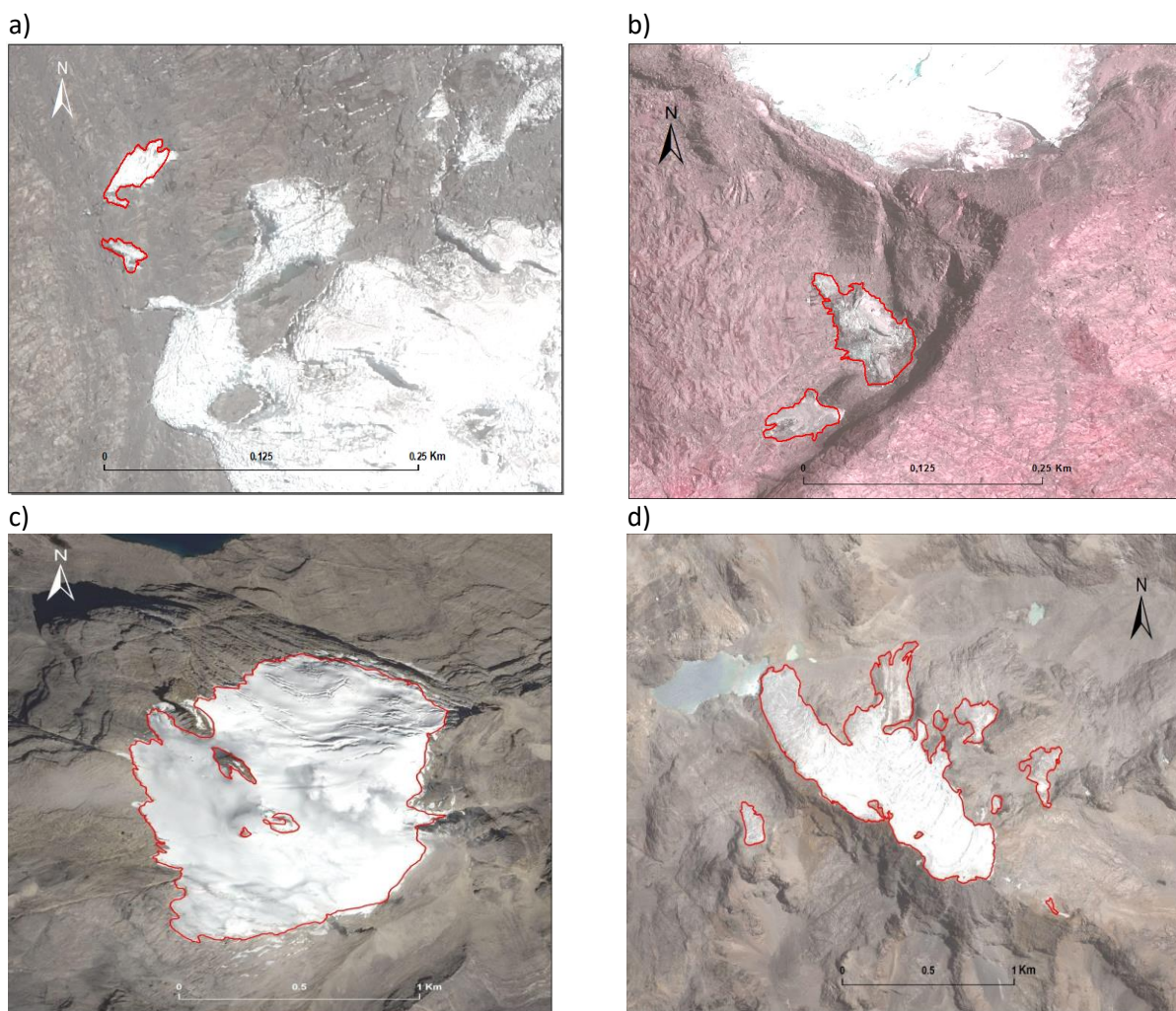


Figura 4. Ejemplos de fragmento glaciar. a), b) y d) Sierra nevada de Santa Marta y c) Sierra nevada El Cocuy o Güicán. Fuente: a), b) y d) IDEAM, imagen de satélite Pleiades, año 2021 y c) IDEAM, imagen de satélite Spot 6, año 2021.

- *Frente glaciar (Terminus)*: extremo altitudinalmente más bajo del glaciar. El término se aplica principalmente a glaciares con lenguas bien definidas y corrientes de hielo (Cogley et.al., 2011).
- *Glaciar*: cuerpo de hielo y nieve que cubre un sector de la superficie del planeta. Se caracteriza por tener una zona de acumulación, una de ablación y una línea de equilibrio (IDEAM, 2012).

- *Glaciología*: el estudio de todas las formas con que el hielo se presenta en la naturaleza – nieves, glaciares, hielo en el mar, en lagos y ríos, en suelos helados, en la atmósfera – y de la acción o influencia del hielo en los elementos que lo rodean: el suelo, las rocas, el agua, el aire. (Marangunic, 2008)
- *Hielo glaciar*: hielo que hace parte de un glaciar y que, a través de la compactación y la recrystalización, sobrevivió al menos una temporada de ablación. Convencionalmente se entiende la densidad de 830 kg m<sup>-3</sup> a la cual se compactan los espacios vacíos, es decir: la neviza se convierte en hielo de glaciar (Cogley et.al., 2011).
- *Hielo muerto*: Para el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS, por sus siglas en inglés), el Hielo muerto o “Dead ice” es cualquier parte de un glaciar que no fluye a una velocidad detectable (Cogley et.al., 2011). El hielo muerto se considera también un fragmento glaciar.

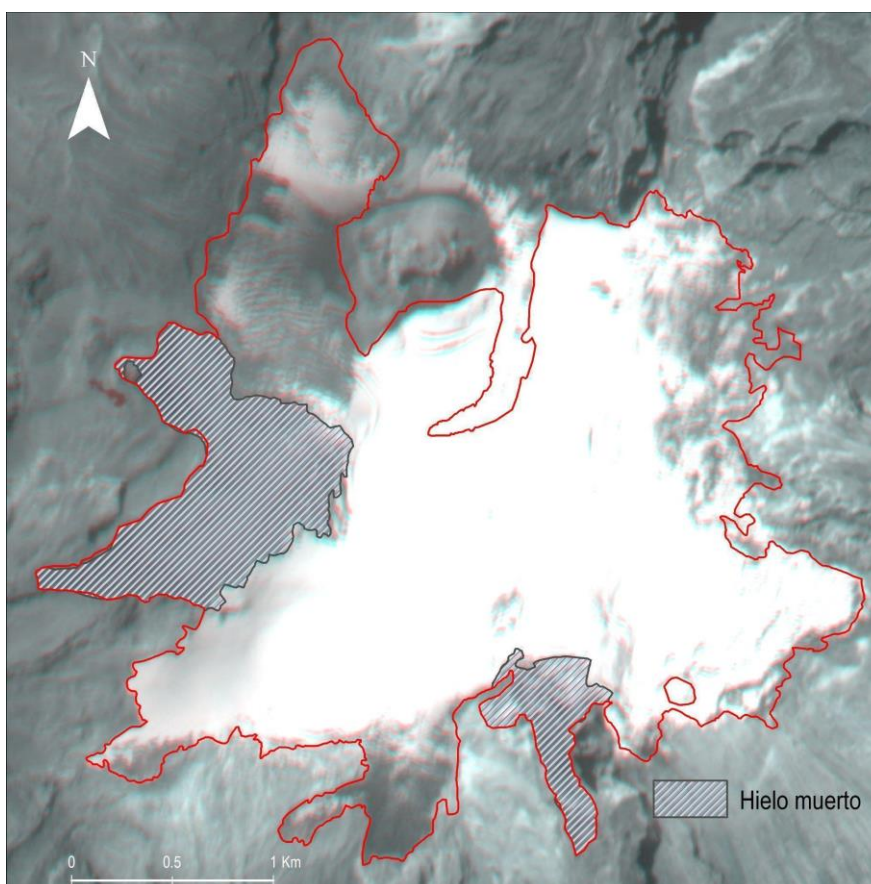



Figura 5. Volcán nevado del Ruíz y sus dos fragmentos de hielo muerto (líneas blancas superpuestas). Fuente IDEAM, imagen de satélite Planet Scope 2021.

- *Límite del glaciar*: línea que separa el glaciar del terreno libre de glaciar (Francou y Pouyaud, 2004).
- *Nieve*: precipitación sólida compuesta de cristales de hielo entrelazados, con espacios ocupados por agua líquida y aire. Convencionalmente se entiende la densidad de la nieve entre 10 y 400 kg m<sup>-3</sup>. (Cogley et.al., 2011).
- *Pequeña Edad de Hielo - PEH (Little Ice Age-LIA)*: Un período de mayor masa y extensión glaciar, en relación con los períodos anteriores y siguientes, que significó un aumento del espesor y la extensión de los glaciares a altitudes más bajas que en la actualidad. En diferentes regiones de la Tierra, en ambos hemisferios, la




 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 17 de 88

Pequeña Edad de Hielo comenzó y terminó en diferentes épocas, comenzando tan temprano como alrededor del año 1300 y terminando tan tarde como alrededor de 1900 (Cogley et.al., 2011).

- *Retroceso glaciar*: disminución de la longitud de una línea de flujo (frente glaciar), medida desde un punto fijo en el terreno. En la práctica, cuando el retroceso es de un glaciar que termina en tierra, este punto fijo o marca de retroceso, suele ser más abajo del frente glaciar, es decir, un área sin glaciar que colinda con el margen del glaciar (Cogley et.al., 2011).

### Conceptos básicos de SIG y teledetección

- *Análisis multitemporal*: Comparación de imágenes satélite obtenidas a determinados intervalos de tiempo, que permite estudiar fenómenos que implican una variación temporal, como por ejemplo el proceso de retroceso de glaciares. (INAIGEM, 2017)
- *Banda espectral*: Término que designa a una selección de longitudes de onda con comportamientos electromagnéticos similares. (INAIGEM, 2017)
- *Coordenadas*: Cualquier sistema donde los puntos son definidos como una dirección o distancia específica de un punto de referencia medido con respecto a ejes definidos (INAIGEM, 2017).
- *Espectro electromagnético*: Organización de bandas de longitudes de onda o frecuencia desde las más cortas a las más largas (INAIGEM, 2017).
- *Fotografía aérea*: La fotografía es un sistema de percepción remota que utiliza la reflexión natural del sol, obtenidas desde un avión o un satélite, y presentan variaciones de tono, textura, forma y patrones que corresponden a diferencias en rasgos y estructuras en la superficie (INAIGEM, 2017).
- *Geodatabase*: Nombre del modelo de base de datos geo-espacial definido por la empresa ESRI® (INAIGEM, 2017).
- *Geoprocesamiento*: Proceso en el que se aplica el análisis geográfico y se modelan los datos espaciales para producir nueva información (INAIGEM, 2017).
- *Imagen de satélite*: Es una representación pictórica de la medición de energía electromagnética registrada por un sensor; y no por medios fotográficos. Archivos ráster, formadas por una matriz regular o rejilla de celdas, a cada una de las cuales, denominada píxel se le asigna un valor digital, que corresponde a la reflectividad recogida por el sensor (INAIGEM, 2017).
- *Imagen multispectral*: Estructura de datos formada por varias imágenes digitales con las mismas propiedades geométricas, cada una de las cuales recoge la reflectancia en un diferente rango de longitudes de onda del espectro electromagnético (INAIGEM, 2017).
- *Píxel*: Picture Element o Elemento de Imagen, es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital. El píxel es el elemento pictórico más pequeño de las imágenes que es susceptible de ser procesado (INAIGEM, 2017).
- *Radiancia*: Total de energía radiada por unidad de superficie y por ángulo sólido de medida (INAIGEM, 2017).
- *Ráster*: Modelo de datos de un SIG basado en las localizaciones espaciales sobre una retícula regular de puntos a los cuales se asigna el valor (por ejemplo: valores de elevación) (INAIGEM, 2017).
- *Reflectancia*: Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie plana (INAIGEM, 2017).
- *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*: Programas informáticos que proporcionan herramientas para el procesamiento, gestión, análisis y representación de datos con un componente cartográfico (INAIGEM, 2017).
- *Teledetección*: Técnica mediante la cual se obtiene información sobre la superficie de la Tierra, a través del análisis de los datos adquiridos por un sensor o dispositivo situado a cierta distancia, apoyándose en medidas de energía electromagnética reflejadas o emitidas. (INAIGEM, 2017)
- *Vector*: Modelo de datos de un SIG basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices (INAIGEM, 2017).

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 18 de 88

### 1.5.2 Variables estadísticas

- *Área del fragmento  $j$  del glaciar  $i$  ( $Afg_{ji}$ ):* Extensión del fragmento  $j$  del glaciar  $i$ , se emplea como unidad espacial de referencia kilómetros cuadrados ( $km^2$ ).
- *Glaciar ( $i$ ):* Cuerpo de hielo y nieve que cubre un sector de la superficie del planeta, que se caracteriza por tener una zona de acumulación, una de ablación y una línea de equilibrio (IDEAM, 2012). Actualmente, Colombia cuenta con 6 glaciares: Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada el Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado Tolima y Volcán Nevado del Huila.

### 1.5.3 Indicadores estadísticos

La operación estadística presenta el indicador ambiental *Área y Cambio de Cobertura glaciar*, el cuál reúne dos indicadores estadísticos:

- *Área glaciar:*  
Permite conocer la extensión de los glaciares del país, presentando desagregación geográfica a nivel nacional y para cada nevado. De esta manera, se obtiene:
  - *Área del glaciar  $i$  ( $AG_{it}$ ):* Extensión del glaciar  $i$  para el año  $t$ , se emplea como unidad espacial de referencia los kilómetros cuadrados ( $km^2$ ). Definida por:

$$AG_{it} = \sum_{j=1}^N Afg_{jit}$$

Donde:

$AG_{it}$ : Área del glaciar  $i$  ( $km^2$ ) en el año  $t$ .

$i$ : Glaciar.

$i \in \{\text{Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada el Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado Tolima, Volcán Nevado del Huila}\}$

$t$ : año de estudio.

$Afg_{jit}$ : Área del fragmento  $j$  ( $km^2$ ) del glaciar  $i$  en el año  $t$ .

$j$ : Número del fragmento del glaciar  $i$ .

$N$ : Cantidad de fragmentos del glaciar  $i$  en el año  $t$ .

- *Área Glaciar Nacional ( $AGN$ ):* El área glaciar para Colombia, está representada por la suma de las áreas de las masas glaciares del país, en kilómetros cuadrados ( $km^2$ ), calculada por:


$$AGN_t = \sum_{i=1}^M AG_{it}$$

En donde:

$AGN_t$ : Área Glaciar Nacional ( $km^2$ ) para el año  $t$ .

$AG_{it}$ : Área del glaciar  $i$  ( $km^2$ ) en el año  $t$ .

$i$ : Glaciar.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 19 de 88

$i \in \{\text{Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada el Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado Tolima, Volcán Nevado del Huila}\}$

$M$ : Cantidad de glaciares en el territorio nacional en el año  $t$ .

$t$ : año de estudio.

- **Variación de la cobertura glaciar:**

Presenta el cambio en el área del glaciar para el año de estudio respecto al periodo anterior. Cuenta con desagregación geográfica a nivel nacional y para cada uno de los nevados del país.

- **Variación de la cobertura del glaciar  $i$  ( $VCG_i$ ):** Permite conocer el cambio en el área del glaciar  $i$  en kilómetros cuadrados ( $km^2$ ), definido como la diferencia del área del glaciar en dos periodos consecutivos de estudio:

$$VCG_{it} = AG_{it} - AG_{i(t-1)}$$

Con:

$VCG_{it}$ : Variación de la cobertura del glaciar  $i$  ( $km^2$ ) en el año  $t$  respecto al periodo anterior.

$AG_{it}$ : Área del glaciar  $i$  ( $km^2$ ) en el año  $t$ .

$AG_{i(t-1)}$ : Área del glaciar  $i$  ( $km^2$ ) en el año o periodo anterior ( $t - 1$ ).

$i$ : Glaciar.

$i \in \{\text{Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada el Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado Tolima, Volcán Nevado del Huila}\}$

$t$ : año de estudio.

- **Variación de la cobertura glaciar Nacional ( $VCGN$ ):** Cambio en el área glaciar a nivel nacional para el año de estudio  $t$  respecto al periodo anterior, en kilómetros cuadrados ( $km^2$ ). Definido como:

$$VCGN_t = AGN_t - AGN_{(t-1)}$$

Con:

$VCGN_t$ : Variación de la cobertura glaciar nacional ( $km^2$ ) en el año  $t$  respecto al periodo anterior.

$AGN_t$ : Área Glaciar Nacional ( $km^2$ ) para el año  $t$ .

$AGN_{(t-1)}$ : Área Glaciar Nacional ( $km^2$ ) para el año o periodo anterior ( $t - 1$ ).


$t$ : año de estudio.

Este indicador puede tomar valores negativos, positivos o iguales a cero, en donde:

- Valores negativos indican una disminución de área o cobertura glaciar para el nevado objeto de cálculo o para el área total nacional, respecto al periodo anterior.
- Valores positivos muestran aumento del área glaciar en el año de referencia respecto al periodo anterior.
- El valor nulo o igual a cero significa que la superficie cubierta por glaciar no cambió en el año de referencia respecto al periodo anterior.

## 1.6 Comprobación de la disponibilidad de datos (Sección 5.6)

En el proceso estadístico, luego de establecer las necesidades de información, formular los objetivos, identificar el alcance temático y definir los conceptos básicos, es pertinente comprobar la disponibilidad de estos datos en otras

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales <b>IDEAM</b>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 20 de 88

fuentes en el país. La comprobación de disponibilidad de datos permite comprobar que el proceso estadístico tiene en cuenta el uso de registros administrativos de otras fuentes potenciales de datos oficiales, además de que confirma la pertinencia de llevar a cabo la operación estadística planteada.


Por la naturaleza de los datos producidos en el proceso estadístico y el fenómeno natural estudiado, actualmente no existen otras operaciones estadísticas en el SEN o en otras entidades de alcance nacional que produzcan información estadística parecida, ni que satisfaga las necesidades identificadas alrededor del *estado y la tendencia del área de todos los glaciares colombianos en el país*. No obstante, respecto al registro histórico de la dinámica glaciar en Colombia y en aras de la claridad de la disponibilidad de datos del país, se reseña lo siguiente.

Respecto al registro histórico de la dinámica glaciar en Colombia, existen algunos antecedentes institucionales. De acuerdo con la Ley 99 de 1993, por medio de la cual se crea el IDEAM, el proyecto “Caracterización de los glaciares en el territorio nacional” provenía de la Subdirección de Geografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), desde la cual se traslada a la entonces Subdirección de Geomorfología y Suelos del IDEAM, la necesidad de continuar con mediciones glaciológicas realizadas por este instituto. El mencionado proyecto contemplaba desde 1986, por medio de un convenio suscrito entre el IGAC y el gobierno alemán a través de la Universidad de Osnabrück - representada por el Profesor Ekkehard Jordan-, cooperar conjuntamente con el fin de caracterizar los glaciares. A finales de 1987, se iniciaron las mediciones de retroceso de lenguas glaciares y un año después, con el patrocinio de la Fundación Volkswagen, se implementó una microcuenca glaciar experimental, sobre la vertiente occidental del Volcán Nevado Santa Isabel para la cuantificación de la ablación glaciar, año en el cual se instaló la primera estación climatológica sobre este glaciar. En 1989, se realizó la instalación de una segunda estación sobre una morrena a 4500 metros de altitud, pero debido a la inestabilidad del terreno, fue necesario reubicar la estación que se encontraba en el hielo sobre una formación estable de lavas volcánicas al borde del glaciar a 4650 metros de altura sobre el nivel del mar.

Las principales tareas en esta época consistieron en: a) marcas y medidas de retroceso glaciar, b) medidas incipientes de ablación glaciar, c) toma de muestras de temperaturas del aire, d) puesta en marcha de estaciones hidrometeorológicas y e) sobrevuelos para observar el estado general de los nevados. Si bien, estos trabajos realizados con el acompañamiento del IGAC e INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano), constituyen las primeras investigaciones y son de enorme importancia para la historia del país, ninguno de ellos realizaba una estimación cuantificable del *Área y Cambio de Cobertura Glaciar para Colombia*.

La continuación de este trabajo y la necesidad por un mayor monitoreo de los glaciares colombianos y su huella en el territorio, se vio reflejada rápidamente. En aquel momento, como parte de las metas de investigación para orientar las políticas de manejo ambiental y de ordenamiento territorial, el IDEAM en su subdirección de Geomorfología y Suelos concibió el proyecto “Geodinámica y Amenazas Naturales en el Territorio Colombiano”. Dentro de este proyecto, el IDEAM contrató con la Universidad Nacional (Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias Humanas) la realización de estudios geomorfológicos, distribución de la población y formas de ocupación del territorio.

Uno de los espacios definidos como crítico fue la “Alta Montaña”, por lo que el IDEAM mediante el convenio 041 de 1997 contrató con la Universidad Nacional los estudios para realizar el proyecto y la publicación denominada *Geosistemas de la alta montaña*. Este estudio determinó los datos de las áreas glaciares colombianas para finales de la década de 1990 con los que el país cuenta hasta el día de hoy y marca el inicio de la información estadística de *Área y Cambio de Cobertura Glaciar* hecha por la entidad productora de la operación. Posteriormente, el IDEAM toma como base esta publicación y reedita en el año 2010 el libro ‘Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano’ (IDEAM, 2010 B). En el año 2012, el IDEAM publicó el libro ‘Glaciares de Colombia: más que montañas con hielo’ (IDEAM, 2012), documento en el que se reafirma mediante la información producida en la operación estadística y de manera oficial, el estado acelerado de retroceso en el que se encuentran las cumbres nevadas del país.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 21 de 88

De esta manera, la operación estadística es de gran importancia e inigualable en su tipo para Colombia, por ello la entidad productora es la única con disponibilidad de datos con este alcance temático. En vista de la exclusividad y carácter único y especial de los datos producidos, la OE ACCG tiene varias características que permiten concluir lo siguiente:

- a) Reconociendo la inexistencia actual de datos oficiales de otras fuentes en el país, el IDEAM está comprometido con la calidad de la producción del registro al ser la única fuente oficial de datos.
- b) Es el único registro existente en el país que puede dar respuesta a solicitudes de información provenientes de requerimientos internacionales por este tipo de información específica. Esta comprobación de disponibilidad de datos permite identificar al IDEAM como la fuente idónea de datos para el plan general de la operación estadística.
- c) En el ámbito mundial, la información estadística de inventarios glaciares nacionales es calculada en países de todos los continentes y en la mayoría bajo la misma metodología general.
- d) Es el único registro que permite responder a necesidades de política pública intersectorial o territorial en dicho tema, por lo tanto, puede ser fuente para algunos de los sistemas de información sectoriales de interés para el país o el territorio en lo referente al estado de los glaciares colombianos.
- e) El indicador ambiental institucional ‘Área y Cambio de Cobertura Glaciar’ ha permitido la construcción de esta operación estadística.


Ahora bien, partiendo de estas características se determina que las coberturas terrestres de los glaciares visualizadas en Imágenes satelitales de sensores remotos, permiten recolectar la información necesaria para el desarrollo de la Operación Estadística, contando con una variedad de imágenes satelitales para los glaciares colombianos en un periodo de un año que permite tener disponibilidad de datos consistentes entre sí, con el objetivo de construir series históricas de acuerdo con el fenómeno estudiado.

### 1.7 Plan General de la operación estadística (Sección 5.7)

El Plan General es el documento que da cuenta de las actividades y los resultados obtenidos en la fase de detección y análisis de necesidades y que corresponde a la propuesta técnico-económica de la operación estadística con el que se justifica su desarrollo. Así mismo, presenta una primera aproximación a los contenidos que son esenciales para presentar ante las instancias directivas y los organismos que financiarán la operación estadística, los cuales serán revisados, analizados y propuestos metodológicamente con rigor técnico en la segunda fase: Diseño (DANE, 2020 B).

Por tanto, se elabora el documento *Plan general para la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*, el cuál puede ser objeto de posibles mejoras o rediseños en las siguientes iteraciones, donde se actualiza la programación de actividades y el presupuesto asignado para cada periodo. En este sentido se establece, documenta y revisa periódicamente el plan general teniendo en cuenta la normatividad y lineamientos vigentes.

El IDEAM asegura la disponibilidad de los recursos humanos, técnicos, tecnológicos, informáticos y presupuestales para el desarrollo y la continuidad de la Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar, como actividad misional de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental en el marco del documento *M-GCI-G003 Guía requisitos generales para el cumplimiento de la norma técnica colombiana del proceso estadístico (NTCPE 1000/2017-2020)*. En el plan de acción anual de la Subdirección y demás documentos pertinentes, se establecen de manera preliminar los requerimientos administrativos, operativos, logísticos, tecnológicos y capital humano para el desarrollo de la operación. El resultado de este plan permite, desde dimensionar la capacidad tecnológica requerida en términos de almacenamiento y procesamiento, hasta definir el presupuesto y las fuentes de financiación necesarias para

 <b>IDEAM</b> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 22 de 88

desarrollar todo el proceso estadístico. De esta forma se define la viabilidad técnica y económica del proyecto en el nivel directivo y se procede a elaborar el *Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*, documento operativo que sirve como insumo principal para la elaboración del mencionado Plan General.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 23 de 88

## 2 DISEÑO (CAPÍTULO 6)

En esta fase de la operación estadística se llevan a cabo los diseños de los métodos, las técnicas, los procedimientos y las estrategias que se aplicarán para reunir, procesar los datos, analizar e interpretar los resultados (DANE, 2020 c). Esta fase describe la estructuración de la operación y en ella se construyen los documentos metodológicos que, teniendo en cuenta los referentes internacionales, son la base del diseño propio del proceso estadístico del área y cambio de la cobertura glaciar.

### 2.1 Verificar las necesidades (Sección 6.1)

Para la verificación de las necesidades se corrobora si en el plan de acción del IDEAM se mantienen vigentes los objetivos y/o actividades correspondientes al monitoreo integral de los ecosistemas de la alta montaña de Colombia, incluyendo los glaciares. Así mismo, se realiza el envío de un correo electrónico o PQRS a diferentes instituciones identificadas en el numeral 1.1 de este documento, en una primera iteración o cuando se requiera un rediseño de la operación estadística.

### 2.2 Confirmar el tipo de fuente de datos (Sección 6.2)

De acuerdo con el objeto de estudio, la operación estadística cuenta con fuentes de información primaria, que corresponden a las coberturas glaciares visualizadas en Imágenes satelitales para el territorio colombiano, constituyendo una fuente idónea para monitorear las variables estadísticas con cobertura nacional. Se contempla como posible apoyo, la utilización de imágenes de radar y fotografías aéreas digitales a gran y baja altura. Las características necesarias de las imágenes satelitales pueden ser consultadas en la sección 2.5.

### 2.3 Diseño temático (Sección 6.3)


Una vez confirmada la fuente, en la sección de diseño temático se verifican los objetivos y se determinan cuáles son los resultados que generará la operación. En esta fase se contextualiza y delimita el fenómeno de estudio desde las aristas teórico-conceptual y normativa. El tema principal al que pertenece el estudio de los glaciares, dentro del IDEAM, es el grupo de operaciones de “calidad y condiciones ambientales”. Se presenta el marco de referencia, así como los fundamentos teóricos, conceptuales y referentes internacionales del estudio de la criósfera terrestre, con énfasis en los glaciares y el *área y cambio de cobertura glaciar*.

#### 2.3.1 Alcance temático (Título 6.3.1)

El área glaciar colombiana está compuesta por los últimos seis nevados del país. Aunque el primer inventario glaciar nacional del que se tiene registro, hace cerca de 130 años<sup>4</sup>, indicaba la existencia por lo menos 14 montañas glaciadas en Colombia, hoy se reconoce la desaparición de 8 glaciares en el transcurso del siglo XX. Esta realidad evidencia el dinamismo y la velocidad del deshielo en las montañas colombianas que, debido a su condición de glaciares tropicales, son particularmente sensibles al clima, lo que hace necesario conocer el estado de la criósfera colombiana en un contexto de mitigación y adaptación al cambio climático.

---

<sup>4</sup> Según el Atlas geográfico e histórico de la República de Colombia, elaborado en 1889 por Agustín Codazzi y editado por Manuel Paz y Felipe Pérez (Paz y Pérez, 1889), los nevados colombianos eran: Sierra nevada de Santa Marta, Huila, Tolima, Herveo, Sierra nevada de Chita o Güicán, Ruiz, Quindío, Santa Isabel, Puracé, Barragán, Cumbal, Cráter del volcán cerca de la Mesa de Herveo, Chiles, Cerro nevado Sumapaz, Coconucos, Sotará y volcán de Pasto (IDEAM, 2012).

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 24 de 88

El alcance de la operación se confirma como el *cálculo del área glaciar nacional, junto con el área para cada una de las zonas glaciares del país en un periodo determinado de observación, así como su cambio en el tiempo, por medio del uso de productos de sensoramiento remoto en formato digital*. Este alcance se relaciona con la generación de información sobre el estado actual y la dinámica de los glaciares en Colombia, lo que permite un mejor conocimiento de este ecosistema estratégico, las consecuencias del cambio climático y su incidencia sobre la población colombiana. A continuación, se profundiza el marco de referencia, así como los fundamentos teóricos, conceptuales y referentes internacionales.

### **2.3.2 Marco de referencia (Título 6.3.2)**

#### **Marco teórico y conceptual**

La preocupación global por el aumento de gases de efecto invernadero y el ascenso de la temperatura en todo el planeta, ha marcado el inicio de investigaciones para entender el cambio del clima y las consecuentes respuestas del sistema terrestre. Un componente importante de este sistema es la criósfera, ya que los mecanismos de retroalimentación relacionados con los glaciares, rigen la respuesta atmosférica, hidrosférica y litosférica (Bishop et al, 2004). Por tanto, la predicción de los cambios ambientales inducidos por el clima requiere información global, regional y local sobre la distribución de las masas, los volúmenes y las fluctuaciones del hielo (Bishop et al, 2004). El cambio climático está causando cambios en los patrones atmosféricos, como por ejemplo aumento en la temperatura y disminución de la precipitación, lo que genera el deshielo en las regiones de altas latitudes y altitudes.

La mayoría de los glaciares en el planeta se están reduciendo desde el final de la Pequeña Edad de Hielo (siglos XVI a XIX), con tasas particularmente crecientes de pérdidas desde principios de la década de 1980 (IPCC, 2019). Los perfiles verticales de temperatura, medidos a través de todo el espesor de los glaciares de montaña o a través de capas de hielo, proporcionan una clara evidencia de un clima más cálido en las últimas décadas (IPCC, 2019), lo que deja ver que el deterioro de los glaciares es un proceso global. A continuación, se presentan algunos de los conceptos más relevantes.

- **Glaciares**

Un glaciar es definido como un cuerpo de hielo y nieve que cubre un sector de la superficie del planeta y se caracteriza por tener una zona de acumulación, una de ablación y una línea de equilibrio (IDEAM, 2012). Para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, es entendido como una masa perenne de hielo y posiblemente neviza y nieve, originada en la superficie terrestre por acumulación y compactación de la nieve, que evidencia un flujo en el pasado o en el presente (IPCC, 2019). Los glaciares así definidos, reflejan que hay muchos tipos: pueden adquirir numerosas formas, desde glaciares que producen témpanos en fiordos y lagos como los ubicados en el extremo sur de Sudamérica, hasta los llamados glaciares rocosos, que corresponden a masas de hielo mezcladas con rocas o cubiertos por una capa de detritos (Rivera et.al, 2016).

Comparativamente, según su clasificación a partir de su morfología, los glaciares colombianos no corresponden con grandes plataformas o campos de hielo, tampoco a glaciares de valle (que cubren en gran medida el valle de una montaña); sino que son glaciares de montaña, definidos como glaciares localizados en las partes altas de la cordillera, con formas variables y donde la evacuación desde las zonas de acumulación (más anchas que largas), se dan por medio de lenguas glaciares pequeñas en comparación con un glaciar de valle (Rivera et.al, 2016). Una de las características más importantes de los glaciares es su dinamismo y capacidad de cambio en el tiempo. El glaciar no es estático, inmóvil o inmutable; cambia de forma, se mueve, crece o decrece dependiendo de su relación con los demás componentes del entorno (IDEAM, 2020 D).



	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 25 de 88

A su vez, a partir de un criterio de localización planetaria son considerados glaciares tropicales y más específicamente ecuatoriales, se debe recordar que los Andes tropicales poseen cerca del 99% de los glaciares tropicales del mundo (Rivera et.al, 2016). Finalmente, según la clasificación por temperatura, se consideran glaciares templados, ya que la mayor parte de su masa tiene la temperatura del punto de fusión. La condición “templada” implica la presencia de agua en contacto con hielo, determinando que el derretimiento sea la principal causa de la pérdida de masa (Rivera et.al, 2016).

La mayoría de los glaciares en el planeta se están reduciendo desde el final de la Pequeña Edad de Hielo (siglos XVI a XIX), con tasas particularmente crecientes de pérdidas desde principios de la década de 1980 (IPCC, 2019). Los perfiles verticales de temperatura medidos a través de todo el espesor de los glaciares de montaña, o a través de capas de hielo, proporcionan una clara evidencia de un clima más cálido en las últimas décadas (IPCC, 2019). El deterioro de los glaciares es un proceso global. Los glaciares retroceden en todo el planeta, un proceso atribuido por consenso al actual cambio climático, lo que afecta también la escorrentía y los recursos hídricos aguas abajo. El cambio climático está causando cambios en los patrones atmosféricos como por ejemplo un aumento en la temperatura y disminución de la precipitación lo genera el deshielo en las regiones de altas latitudes y altitudes. La inmensa importancia en su monitoreo y estudio radica en que los glaciares constituyen indicadores excelentes de alteraciones en el clima terrestre y sus posibles implicaciones para los grupos sociales al mantener una relación directa con este fenómeno climático.

Los glaciares como los de Colombia tienen una característica única en el planeta: por su ubicación dentro de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), es decir en la franja ecuatorial, sólo tres regiones en el mundo presentan aún masas de hielo a gran altitud. La primera de ellas se localiza al este de África, en los volcanes Kilimanjaro (Tanzania), el monte Kenia y la cadena montañosa Rwenzori (frontera entre Uganda y la República del Congo). El segundo relicto se sitúa sobre las montañas Irian Jaya (Papúa Nueva Guinea). Por último, se encuentran las masas de hielo ubicadas al norte de Suramérica; repartidas entre Colombia, Ecuador y Venezuela y que conforman los glaciares ecuatoriales más extensos del planeta. En suma, los glaciares ecuatoriales son de enorme importancia debido a su particularidad como ambientes sensibles al cambio climático y excepcionalidad geográfica. La inmensa importancia en su monitoreo y estudio, radica en que los glaciares constituyen indicadores excelentes de alteraciones en el clima terrestre y sus posibles implicaciones para los grupos sociales, al mantener una relación directa con este fenómeno climático.



Figura 6. Distribución global de los glaciares ecuatoriales. Tomado de: <http://www.grid.unep.ch/glaciers/graphics.php>

La posición geográfica de los glaciares colombianos, aproximadamente entre los 3° y 11° de latitud norte, los clasifica como glaciares ecuatoriales; lo cual implica una alta sensibilidad al desplazamiento intraanual de la Zona de Confluencia Intertropical y a fenómenos extremos de variabilidad climática interanuales como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Los nevados colombianos son particularmente sensibles a las condiciones climáticas actuales, la causa

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 26 de 88

principal de su acelerado deshielo se atribuye al desequilibrio con las actuales condiciones climáticas del planeta; no obstante, cada glaciar colombiano tiene una dinámica y evolución propia que responde a las condiciones atmosféricas de escala global, regional y local, además de sus características topográficas, geológicas y geomorfológicas (Ceballos, Ospina & Rojas, 2020).

En Colombia actualmente existen seis masas glaciares:

*Tabla 1. Nevados de Colombia*

<b>NEVADO</b>	<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS DEL PUNTO CENTRAL</b>	<b>ALTITUD MÁXIMA</b>
Sierra nevada El Cocuy o Güicán	6° 30' N; 72° 15' W	5380m
Sierra nevada de Santa Marta	10° 50' N; 73° 41' W	5775m
Volcán nevado del Ruiz	4° 53' N; 75° 19' W	5330m
Volcán nevado Santa Isabel	4° 48' N; 75° 22' W	4968m
Volcán nevado del Tolima	4° 39' N; 75° 19' W	5280m
Volcán nevado del Huila	2° 55' N; 76° 01' W	5364m

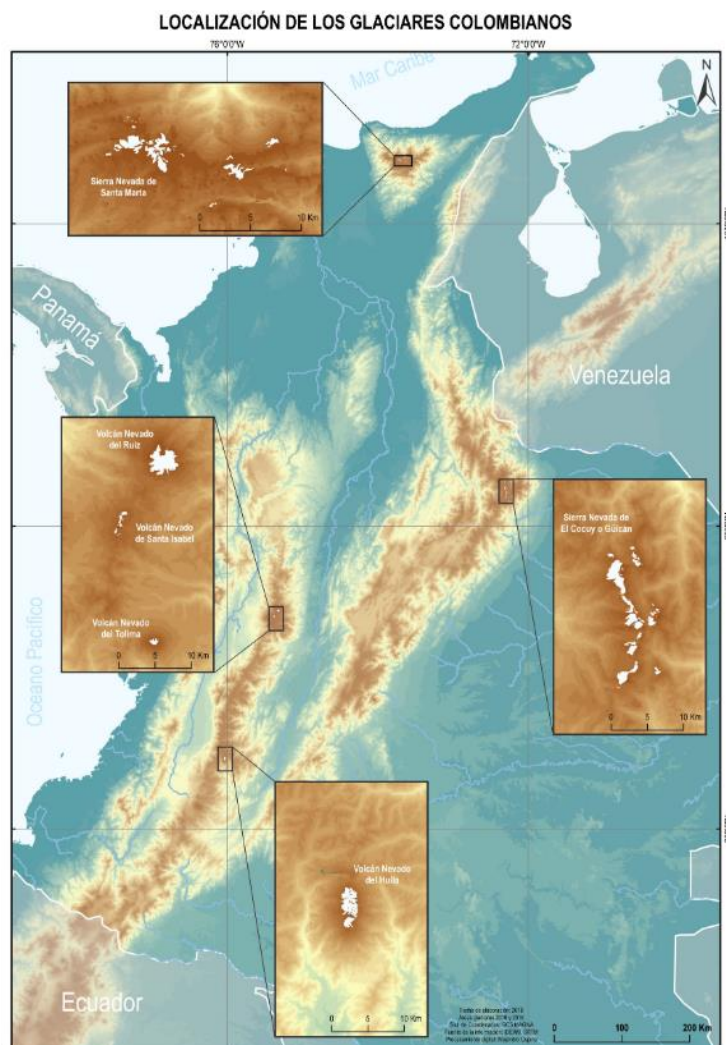


Figura 7. Mapa de localización de los glaciares o nevados en Colombia. IDEAM, 2018.

- **Monitoreo glaciar por sensoramiento remoto**

La cartografía y la evaluación detallada, son necesarias para determinar patrones regionales y globales de las variaciones de la masa de hielo (Bishop et al, 2004). De esta forma, los estudios de teledetección sobre la criósfera terrestre a diferentes escalas, como la generación de información topográfica, análisis espacial y modelización basada en SIG, junto con las investigaciones en campo; son vitales para producir información de referencia sobre los cambios en los glaciares y mejorar la comprensión de los complejos vínculos existentes entre la atmósfera, litósfera y criósfera (Bishop et al, 2004). No obstante, las estimaciones glaciares mediante sensoramiento remoto son relativamente recientes y se han consolidado como el marco de referencia del monitoreo glaciar durante las últimas décadas.

Diferentes estudios de retroceso glaciar se han realizado alrededor del mundo, donde se aplican técnicas para diferenciar los cuerpos de nieve presentes en la superficie terrestre con sensores remotos. En 1987 la investigadora de la NASA Dorothy Hall y algunos colegas, hacen un estudio pionero para la caracterización de cuerpos de hielo y nieve analizando datos de tres glaciares ubicados en Austria y Alaska, por medio de datos obtenidos del satélite

Landsat TM (Thematic Mapper), en el que estudia la reflectancia que emiten estos cuerpos glaciares por medio de la relación de las bandas (Hall et al., 1987). Posteriormente, otros investigadores han determinado aspectos importantes como por ejemplo: las variaciones de facies<sup>5</sup> que puede tener un glaciar (Williams et al., 1991), parámetros para la interpretación retrocesos mediante identificación de superficies de agua, cuerpos rocosos y depósitos superficiales (Jacobs et al., 1997), desarrollo de técnicas especiales como el Índice Normalizado de Nieve NDSI (Fuentes et al., 2008) o el estudio del comportamiento de glaciares tropicales (Medina & Mejía, 2010). Hasta el día de hoy, la producción científica alrededor del tema es muy dinámica, permanentemente los métodos están perfeccionándose con la disponibilidad de nuevos sensores y nuevas tecnologías como *Google Earth Engine*®.

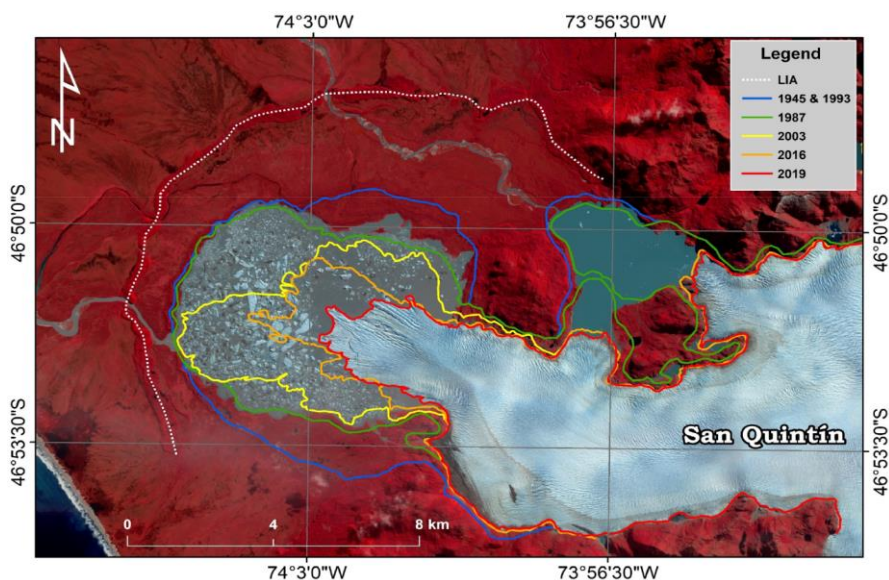



Figura 8. Monitoreo del cambio de área del glaciar San Quintín (Chile) producto de sensoramiento remoto. Masiokas et al., 2020.

En cuanto al estudio de la dinámica glaciar en Colombia, constituyen el principal estado del arte los trabajos de Raasveldt (1957), Herd (1982), Kuhry (1988), Brunnschweiler (1981), Van der Hammen (1985) y Thouret & Van der Hammen (1983). La temática de estos trabajos se centraba principalmente en evidencias geológicas, geomorfológicas o paleobotánicas que permitieran conocer el paleoclima en relación con períodos glaciares e interglaciares en Colombia. Posteriormente, el profesor Antonio Flórez (1992) lideró un estudio de la evolución de las áreas glaciares hecho por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC que representó el inicio del monitoreo glaciar por sensoramiento remoto. Mediante el reconocimiento en campo de los modelados glaciares, así como un análisis por fotointerpretación, se pudo estimar la extensión de los glaciares colombianos hacia el final de la Pequeña Edad de Hielo. Igualmente, se efectuó el cálculo de áreas mediante toma de aerofotografías y su consecuente fotointerpretación.

Hasta el año 1997, la estimación de áreas glaciares siguió los mismos parámetros que la publicación anteriormente reseñada, tomando como fuente principal fotografías aéreas<sup>6</sup>. Para los años 2001, 2002 y 2003 se utilizó para el cálculo de la cobertura glaciar, la interpretación de imágenes satelitales tomadas en su mayoría por los satélites del programa

<sup>5</sup> Concepto referente a litología sedimentaria. Se refiere al conjunto de capas o estratos que en la estructura sedimentaria comparten una característica determinada.

<sup>6</sup> Una fotografía aérea es la imagen de un terreno captada desde un avión o cualquier otra aeronave equipada con cámaras fotográficas especiales para tal fin. Es el registro completo y detallado, en el instante de la toma, de los elementos que conforman el medio ambiente geográfico (Carantón, 1988).

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 29 de 88

estadounidense Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM. En años posteriores, entre el 2006 y el 2009, gracias a la consecución del Proyecto piloto nacional de adaptación al cambio climático (INAP 2006-2011) así como al Proyecto Regional Andino de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA); se utilizaron, complementariamente a las imágenes Landsat ETM, algunas imágenes de la empresa Quickbird, agencia francesa SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) y agencia japonesa ALOS (Advanced Land Observing Satellite) para la estimación de varias áreas glaciares en estos años.

Para el año 2010, utilizando principalmente el sensor AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer) del satélite ALOS, así como imágenes de la empresa RapidEye, el IDEAM realiza la actualización del inventario glaciar nacional con una cobertura geográfica de todo el territorio nacional. En el año 2016, se realiza un nuevo inventario glaciar nacional acorde con la metodología de relación de banda (adquisición de imágenes Sentinel 2 de la Agencia Espacial Europea) e interpretación manual (adquisición de imágenes de alta resolución espacial SPOT 6 y SPOT 7 en el marco del Proyecto Monitoreo De Glaciares Tropicales Andinos En Un Contexto De Cambio Climático: Una Mirada Desde Lo Social y Lo Técnico). Para los años 2020 y 2021 se consolida el marco conceptual del monitoreo de glaciares por teledetección como se resume a continuación.


En términos generales el marco conceptual del monitoreo y obtención de áreas glaciares, en correspondencia con el marco teórico general aplicado en todo el mundo, se lleva a cabo en dos grandes etapas.

Una primera etapa consiste en la técnica de relación de bandas o *band ratio*. Esta técnica --desarrollada entre otros por Hall et al (1987); Jacobs et al (1997) y resumida en Kääb et al (2014) y Rastner et al (2014) -- consiste en obtener el cociente entre dos bandas con información espectral diferente. Para el caso de la delimitación de glaciares, se utiliza generalmente una banda como la del rojo visible (alrededor de 0.65 micras) en la que la respuesta radiométrica de las superficies glaciares tiene alta reflectancia y una banda donde las superficies glaciares tiene muy baja reflectancia, normalmente la longitud de onda del infrarrojo de onda corta (1.60 micras aproximadamente). Esta metodología de relación de bandas realiza una discriminación entre coberturas de hielo, nieve, suelo y roca y también es un método muy útil a la hora de diferenciar las sombras presentes en las superficies glaciares, así como diferenciar las nubes de superficies con nieve.

Posteriormente, con el fin de lograr resultados de mayor precisión se realiza la segunda etapa. Varios autores reseñan que, en ocasiones, es necesario realizar una corrección manual del área glaciar de las imágenes digitales y aerofotografías (Rott & Markl, 1989; Hall, Williams & Bayr, 1992; Williams et al.,1997; Paul, 2002; Andreassen et al.,2008). Debido a condiciones locales de los glaciares colombianos, como su pequeño tamaño o la normal cobertura por roca o ceniza volcánica, es necesario realizar una delineación manual. Se entiende la delineación manual cómo la digitalización en la pantalla de un monitor de aerofotografías o imágenes satelitales, basada en la interpretación visual de áreas cubiertas de nieve o glaciar, por parte de intérpretes y a juicio de expertos, utilizando un conjunto de elementos como: combinación de bandas, textura, tamaño, color, patrón y conocimiento de la zona.

Finalmente, y en aras de aclaración, es pertinente dilucidar por qué la delimitación del borde glaciar y el posterior cálculo matemático del área no se realiza por métodos de levantamiento topográfico en terreno, la razón fundamental de la aplicabilidad del método por sensoramiento remoto es la cobertura geográfica, dado que, por condiciones naturales, los glaciares de montaña en todo el mundo tienen características limitadas de accesibilidad. En el caso de Colombia, es complicado, ya sea por factores de seguridad, presupuestarios o logísticos, visitar en campo los seis glaciares del país, sumado las condiciones particulares de cada zona, tales como alta actividad volcánica, condiciones meteorológicas, problemáticas de orden público o prohibiciones de acceso por decisión y soberanía de la población local.

## Marco Legal o normativo

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales <b>IDEAM</b>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 30 de 88

La operación estadística se produce bajo las siguientes normas o marco jurídico principal:

- **Ley 99 de 1993:** por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente (igualmente el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM), 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.
- Numeral 4, artículo 2 del **Decreto 1277 de 1994:** por el cual se organiza y establece el IDEAM y le son asignadas las funciones de 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.
- Numeral 4, artículo 14 del **Decreto 291 de 2004:** por el cual se modifica la estructura del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y se dictan otras disposiciones. Se le otorgan funciones a la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental.
- Artículo 5, **Resolución IDEAM No. 284 de 2006:** Por la cual se conforman los Grupos Internos de Trabajo adscritos a la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Se le otorgan funciones al Grupo Interno de Trabajo de trabajo Suelos y Tierras.
- Numeral 4 del Artículo 1.2.1.1.1 del **Decreto 1076 de 2015:** Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y se especifican las funciones del IDEAM.
- **Resolución IDEAM No. 1472 de 2020:** Por la cual se crea, conforma y organiza el Grupo Interno de Trabajo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental.

### Referentes internacionales y nacionales

Una de las principales tareas y esfuerzos globales de la investigación en glaciares en las últimas décadas, ha sido consolidar inventarios glaciares nacionales. Hoy en día se evidencia una mejora continua de los inventarios en todo el mundo, ya sean muy generales o detallados, utilizando fotografías aéreas o en la mayoría de los casos, imágenes por satélite. La recopilación de estos datos permite tener una cobertura mundial que sirva para la validación de modelos climáticos (GTN-G, 2021A). Gracias al uso de información digital en los SIG se han facilitado enormemente los procedimientos automatizados de análisis de imágenes, procesamiento de datos y modelización/interpretación de nueva información disponible. La teledetección a varias escalas (imágenes de satélite, aerofotogrametría) y las tecnologías SIG son hoy la base para el análisis espacial y la modelización de la información de glaciares en el mundo (GTN-G, 2021A).

La Red terrestre global para glaciares (Global Terrestrial Network for Glaciers GTN-G) es el marco existente para el monitoreo internacional coordinado de glaciares, en apoyo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Existen también, paralelas a la red terrestre global para glaciares, redes de hidrología (Global Terrestrial Network – Hydrology GTN-H), permafrost (Global Terrestrial Network for Permafrost GTN-P) y descarga fluvial (Global Terrestrial Network for River Discharge GTN-R). Para el caso de la GTN-G, es administrada conjuntamente por el Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS por sus siglas en inglés), el Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo de EE. UU. (NSIDC por sus siglas en inglés) y la iniciativa de Mediciones Globales de Hielo Terrestre desde el espacio (GLIMS por sus siglas en inglés). La difusión a los inventarios de esta red consiste en la actualización de datos generales de los glaciares e información geográfica en formato vectorial de los contornos y características topográficas de estos<sup>7</sup>. El reporte es realizado por la mayoría de países con coberturas glaciares en Norteamérica, Europa, África, Asia y Oceanía.

<sup>7</sup> El principal inventario de glaciares a escala global es el GLIMS Glacier Inventory. Consiste en un conjunto de datos estandarizados y recogidos internacionalmente sobre la distribución de los glaciares, basados principalmente en observaciones

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 31 de 88

A escala de América Latina, el continente cuenta con importantes entidades públicas y privadas que se dedican a la realización de inventarios glaciares nacionales como el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en Ecuador; el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en Perú; la Unidad de Glaciología y Nieves (UGN) de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) en Bolivia.

A continuación, algunos ejemplos de inventarios glaciares en el mundo junto con el acceso electrónico:

- Argentina - Inventario Nacional de Glaciares <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/agua/glaciares/inventario-nacional>
- Bolivia - Inventario de glaciares, cuerpos de agua y bofedales de las cordilleras (no Recuperado en línea)
- Chile – Inventario Público de glaciares  
[https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/Inventario\\_glaciares/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/Inventario_glaciares/Paginas/default.aspx)
- Ecuador - Inventario Nacional de los glaciares del Ecuador (no Recuperado en línea)
- Perú - Inventario nacional de glaciares y lagunas <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/199>
- Suiza <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1657/1938-4246-46.4.933>
- China <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-glaciology/article/second-chinese-glacier-inventory-data-methods-and-results/386DAB512F4869D3335E2DE24B0F43EB>
- Canadá <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709002661>
- Pirineos <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021GL094339>
- Alpes <https://essd.copernicus.org/articles/12/1805/2020/>

### **2.3.3 Nomenclaturas y clasificaciones (Título 6.3.3)**

El IDEAM se ha ajustado a las referencias internacionales encaminadas al esfuerzo mancomunado por la producción de inventarios glaciares nacionales, estableciendo como propias las nomenclaturas y las clasificaciones de los referentes internacionales anteriormente descritos.

Para el desarrollo de la operación estadística, se tiene en cuenta la nomenclatura y la clasificación de los glaciares de forma detallada acorde a lineamientos internacionales establecidos en el manual GLIMS (Rau et al., 2005). Esta clasificación se relaciona con lo expuesto en las recomendaciones para la compilación de datos provenientes de fuentes digitales para inventarios glaciares (Paul et al., 2009), en el que son incluidos parámetros topográficos para la clasificación de estos. A partir de técnicas geoinformáticas modernas, se pueden compilar ciertas características de las coberturas glaciares que hacen alusión a parámetros topográficos obtenidos de un Modelo Digital de Elevación (DEM por sus siglas en inglés) generado igualmente por sensoramiento remoto. Basado en estas características, se establece la nomenclatura usada en todo el mundo para la ingesta de datos en los inventarios glaciares de GLIMS. En la siguiente figura se detalla la nomenclatura utilizada por los referentes internacionales.

---

por satélite. Los datos están organizados como información en tablas que están vinculadas a contornos vectoriales digitales de los glaciares individuales (GTN-G, 2021 B). A su vez, periódicamente se realiza el Randolph Glacier Inventory (RGI), el cual se crea extrayendo la información del GLIMS Glacier Inventory para una versión en particular. En conclusión, GLIMS es una base de datos multitemporal completa de contornos de glaciares de glaciares, mientras que las diferentes versiones de RGI son instantáneas representativas de un momento determinado.

Nombre	Ítem	Símbolo
Código	ID	ID
Coordenadas	x_coord, y_coord	x, y
Data de Adquisición	Fecha	Fecha
Área de Superficie	Area_km2	S
Longitud Max	Longitud	l <sub>max</sub>
Elevación Mínima	Min	h <sub>min</sub>
Elevación Máxima	Max	h <sub>max</sub>
Elevación (Media)	Media	H <sub>mean</sub>
Elevación (Mediana)	Mediana	h <sub>medi</sub>
Pendientes (Media)	Slope_deg	A
Aspecto (Media)	Aspecto_360	Ø <sub>360</sub>
Sector de Aspecto	Aspecto_sec	Ø <sub>sec</sub>

Tabla 2. Nomenclatura y clasificación de los parámetros para zonas glaciares según el inventario glaciar propuesto por GTN-G (adaptado de Paul et al., 2009).

Adicionalmente, para la cartografía oficial del IDEAM se tienen el sistema geográfico GCS\_MAGNA (wkid: 4686) y el sistema de coordenadas planas/proyectadas MAGNA\_Colombia\_Bogotá (wkid: 3116), el cual cubre todos los glaciares del país. Esto en concordancia con el estándar de adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como DATUM oficial de Colombia, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC.

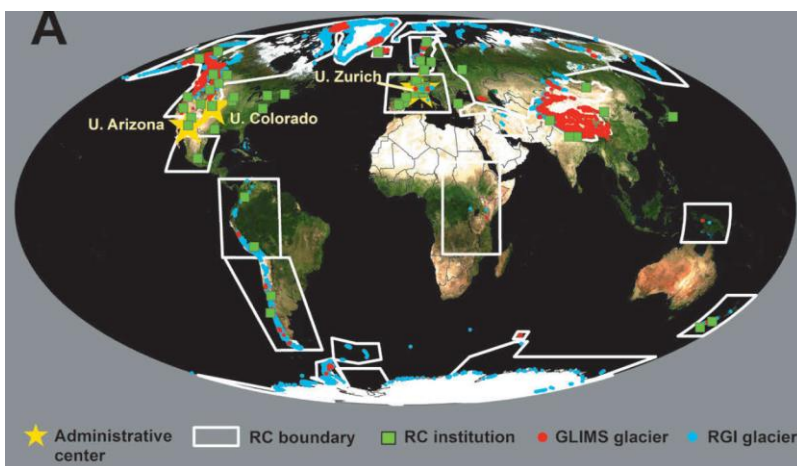



Figura 9. Clasificación mundial de GLIMS por centros regionales. Nomenclatura y clasificación de los países. El centro regional al que pertenece el país es el número 13, denominado 'glaciares tropicales'. El ID o identificador para Colombia es 551

### 2.3.4 Conceptos estandarizados

Los conceptos estandarizados son definiciones unificadas basadas en estándares estadísticos internacionales fundamentales para la armonización estadística, con el fin de proporcionar los elementos necesarios para la construcción y fortalecimiento de los marcos conceptuales (DANE, 2020 C). Debido a que el DANE no dispone de conceptos estandarizados en la temática de glaciares, la entidad productora de la operación estadística usa los conceptos emitidos en esta materia por referentes internacionales. Se confirma el uso de conceptos estandarizados relacionados en el numeral 1.5.1



	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 33 de 88

### 2.3.5 Pertinencia de las variables e indicadores estadísticos

Con base en el objeto de estudio y el marco conceptual, las variables *Glaciar* y *Área del fragmento j del glaciar i*, permiten catalogar y cuantificar las características necesarias para cumplir con los objetivos de la operación estadística, siendo viable su obtención a partir de las fuentes de información referenciadas en el numeral 2.2

A su vez, los dos indicadores estadísticos descritos en el numeral 1.5.3 (Área glaciar y Variación de la cobertura glaciar) posibilitan comprender la dinámica de los glaciares a nivel nacional, como uno de los mejores indicativos naturales de cambio climático, por su sensibilidad a los cambios de temperatura, precipitación y radiación solar. Adicionalmente, el IDEAM es la única entidad gubernamental que por su misionalidad tiene bajo su responsabilidad el estudio de los glaciares colombianos, así como de ofrecer al país los datos oficiales de la totalidad de los glaciares del país, los cuales han sido tenidos en cuenta nacional e internacionalmente.

### 2.3.6 Pertinencia de la fuente (Título 6.3.6)

La identificación y delimitación de los glaciares nacionales por medio de la interpretación visual de imágenes satelitales, así como de imágenes de radar y fotografías aéreas digitales a gran y baja altura, son la mejor fuente de datos a partir de la cual es posible estimar las áreas glaciares nacionales, siendo una fuente confiable y de calidad, con un cubrimiento nacional y periódico, que permite consolidar información de las variables de interés para el cumplimiento de los objetivos de la operación estadística. Vale la pena anotar que, la estimación de áreas e inventarios de glaciares a través de la teledetección es la técnica de mayor uso en todo el mundo y se encuentra en constante mejoría e investigación.

### 2.3.7 Cobertura geográfica (Título 6.3.7)


La extensión territorial sobre la que se ejecuta la Operación estadística es todo el territorio continental nacional. No obstante, se priorizan las áreas que, por conocimiento histórico, presentan masas glaciares. La Tabla 2 recoge los rangos latitudinales y longitudinales de los nevados colombianos.

Tabla 3. Rangos latitudinales y longitudinales de los glaciares presentes en Colombia.

Glaciar	Rango latitudinal	Rango longitudinal
Sierra nevada de Santa Marta	10° 55' N - 10° 45' N	73° 46' W - 73° 32' W
Sierra nevada El Cocuy o Güicán	6° 20' N - 6° 35' N	72° 20' W - 72° 17' W
Volcán nevado del Ruiz	4° 51' N - 4° 56' N	75° 21' W - 75° 17' W
Volcán nevado Santa Isabel	4° 47' N - 4° 50' N	75° 23' W - 75° 21' W
Volcán nevado del Tolima	4° 39' N - 4° 41' N	75° 20' W - 75° 18' W
Volcán nevado del Huila	2° 53' N - 2° 58' N	76° 3' W - 76° 00' W

### 2.3.8 Cuadros de salida (Título 6.3.8)



Conforme con los objetivos, las variables y los indicadores estadísticos propuestos, se vislumbran 7 cuadros de salida correspondientes a los datos de área y variación de cobertura para cada glaciar colombiano y uno para el total nacional. Se separan los cuadros de salida de los 6 nevados, debido al seguimiento histórico de los glaciares en años dispares. Por ejemplo, para los datos de la década de 1950 se cuenta con datos para los años de 1954, 1955, 1958 y 1959, pero no todos los glaciares presentan información en estos años.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 34 de 88

La estructura y las características técnicas de los cuadros de salida para cada uno de los glaciares colombianos actuales es la misma. Por otro lado, el cuadro de salida que representa la totalidad del país presenta únicamente los años para los cuales se cuenta información del área glaciar para todos los nevados. A continuación, se presentan los dos tipos de cuadros de salida, junto con las tablas y gráficas para el indicador ambiental *Área y cambio de cobertura glaciar*.

- Cuadro de salida Área y variación de cobertura glaciar *i*

Para cada zona glaciar se genera una tabla de salida, que describe en las columnas el año, el área glaciar (kilómetros cuadrados) y el cambio de cobertura glaciar con respecto al dato anterior; en las filas se registran los años observados y la información asociada a cada uno de las variables establecidas en las columnas. De igual manera, un componente importante de la tabla son la fuente y las notas explicativas como anexo a la misma.

**Colombia. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán. Área y Cambio de Cobertura Glaciar<sup>1</sup>. 1850<sup>2</sup> - 2020**


Año	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )
1850	148.7	
1955	38.9	-109.8
1985	35.7	-3.2
1994	23.7	-12.0
2003	19.8	-3.9
2007	18.6	-1.2
2008	17.7	-0.9
2009	17.4	-0.3
2010	16.50	-0.9
2016	14.35	-2.2
2017	13.75	-0.6
2019	13.47	-0.3
2020	13.19	-0.3

Figura 10. Ejemplo de cuadro de salida para la Sierra Nevada El Cocuy.

Ejemplo de fuente en el cuadro de salida: *Los datos entre 1850 y 1997 son tomados a partir de las publicaciones "Los nevados de Colombia: glaciales y glaciaciones", editado y publicado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 1992, y el estudio realizado mediante convenio 041/1997 entre el IDEAM y la Universidad Nacional de Colombia (Departamento de Geografía) titulado "Geosistemas de la alta montaña". A partir del año 2001, son calculados mediante interpretación y análisis de sensores remotos y producidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña. 2021.*

Ejemplo de Notas en el cuadro de salida:

1. *El cambio de cobertura glaciar respecto al dato anterior con valores negativos indica una disminución de área glaciar, iguales a cero señalan que la superficie cubierta por glaciar no cambió y positivos indican un*

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR"</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 35 de 88

aumento de área glaciar. Algunos datos de área glaciar y cambio en la cobertura de área glaciar, fueron recalculados en el año 2021. Los datos pueden estar sujetos a ajustes según la disponibilidad de nueva información y los avances tecnológicos tales como la resolución espacial de las imágenes satelitales utilizadas como insumo principal.

- El área glaciar para 1850 corresponde aproximadamente al final de la Pequeña Edad de Hielo (PEH), evento climático de condiciones frías mundialmente reconocido. Esta área aproximada es estimada mediante la interpretación visual de depósitos morrénicos dejados por los glaciares en aquella época, con base en fotografías aéreas e imágenes de satélite.
- Cuadro de salida área y variación de cobertura glaciar nacional

Para el área glaciar nacional se genera otra tabla de salida que describe en las columnas el año; el área glaciar (kilómetros cuadrados) y el cambio de cobertura glaciar con respecto al dato anterior de cada uno de los seis nevados y adicionalmente el dato de los indicadores estadísticos Área Glaciar Nacional (AGN) y Variación de la cobertura glaciar Nacional (VCGN). De la misma manera, un componente importante de la tabla son la fuente y las notas explicativas como anexo a la misma.

Año	Sierra Nevada de Santa Marta		Sierra Nevada El Cocuy o Guicán		Volcán Nevado del Ruiz		Volcán Nevado Santa Isabel		Volcán Nevado del Tolima		Volcán Nevado del Huila		Total	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )	Periodo de cambio (años)
	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km <sup>2</sup> )			
1850 <sup>2</sup>	82.6	n/a	148.7	n/a	47.5	n/a	27.8	n/a	8.60	n/a	33.7	n/a	348.9	n/a	n/a
2007	7.70	-74.9	18.6	-130.1	10.0	-37.5	2.60	-25.2	0.93	-7.67	10.8	-22.9	50.7	-288.2	157
2010	8.17	0.47	16.5	-2.10	10.3	0.28	1.91	-0.69	0.75	-0.18	9.70	-1.10	47.35	-3.32	3
2016	7.10	-1.07	14.35	-2.15	9.26	-1.06	1.00	-0.91	0.63	-0.12	7.72	-1.98	40.06	-7.29	6
2017	6.54	-0.56	13.75	-0.60	8.88	-0.38	0.65	-0.35	0.59	-0.04	7.37	-0.35	37.78	-2.28	1
2019	6.22	-0.32	13.47	-0.28	8.39	-0.49	0.52	-0.13	0.55	-0.04	7.13	-0.24	36.28	-1.50	2
2020	6.81	-0.41	13.19	-0.28	8.14	-0.25	0.45	-0.07	0.52	-0.03	6.74	-0.39	34.85	-1.43	1

Figura 11. Ejemplo de cuadro de salida para el Área Glaciar Nacional (AGN) y la Variación de la cobertura glaciar Nacional (VCGN)

Ejemplo de fuente en el cuadro de salida: Los datos entre 1850 y 1997 son tomados a partir de las publicaciones "Los nevados de Colombia: glaciares y glaciaciones", editado y publicado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 1992, y el estudio realizado mediante convenio 041/1997 entre el IDEAM y la Universidad Nacional de Colombia (Departamento de Geografía) titulado "Geosistemas de la alta montaña". A partir del año 2001, son calculados mediante interpretación y análisis de sensores remotos y producidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña. 2021.

Ejemplo de Notas en el cuadro de salida:

- Diferencia numérica del área glaciar entre dos momentos de tiempo diferentes (t2-t1). Valores negativos indican una disminución de área glaciar, iguales a cero señalan que la superficie cubierta por glaciar no cambió y positivos indican un aumento de área glaciar. Algunos datos de área glaciar y cambio en la cobertura de área glaciar fueron recalculados en el año 2021. Los datos pueden estar sujetos a ajustes según la disponibilidad de nueva información y los avances tecnológicos tales como la resolución espacial de las imágenes satelitales utilizadas como insumo principal.
- El área glaciar para 1850 corresponde aproximadamente al final de la Pequeña Edad de Hielo (PEH), evento climático de condiciones frías mundialmente reconocido. Esta área aproximada es estimada mediante la interpretación visual de depósitos morrénicos dejados por los glaciares en aquella época, con base en fotografías aéreas e imágenes de satélite.

Complementariamente, los requerimientos funcionales para los cuadros de salida dependen del funcionamiento de la oficina central equipada del IDEAM, conforme a la disponibilidad de un software de aplicación informática de ofimática

básica, basado en un sistema de celdas verticales y horizontales que conforman entre sí filas y columnas, usualmente conocido como hoja de cálculo, la aplicación más común de este tipo de programa es Microsoft Excel ®.

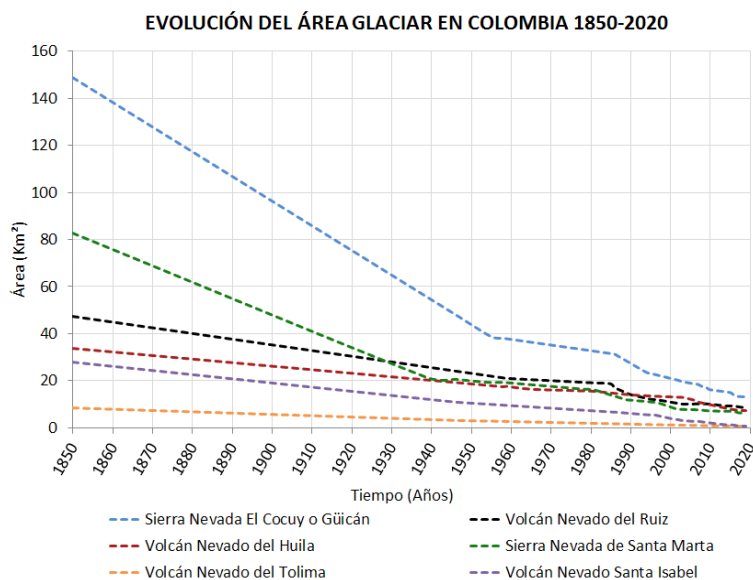


Figura 12. Ejemplo de gráfica del cuadro de salida, sobre Área glaciar


### 2.3.9 Instrumento de recolección (Título 6.3.9)

La recolección de información para la medición de las variables parte de la interpretación al momento de la escogencia de las imágenes que representan las unidades de observación. Esta primera interpretación que permite la recolección de datos se vislumbra mediante el diligenciamiento del *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*. La toma de las imágenes satelitales es generada por un equipo electrónico de recolección automática (satélites y sensores remotos), los cuales son propiedad de terceros, a partir de sensores puestos en órbita por otros países o empresas privadas. En la actualidad, Colombia no cuenta con un programa espacial ni posee en órbita satélites artificiales dedicados a la observación terrestre.

Adicionalmente, la entidad define los elementos temáticos y características mínimas, con los que deben contar los insumos y realiza un control, ya sea en procesos de compra o cooperación, para la adquisición de las imágenes teniendo en cuenta las características descritas en el numeral 2.5.3 de este documento. Así mismo, la entidad mantendrá disponible la trazabilidad de cualquier actualización en los mecanismos utilizados para la recolección de los datos, aunque no puede asegurar la disponibilidad de satélites en órbita ya que no depende de la nación, como tampoco su mantenimiento y calibración. No obstante, el IDEAM prevé en un futuro cercano gestionar y lograr mecanismos de cooperación para la obtención de fotografías aéreas con la Fuerza Aérea Colombiana, entidad pública de carácter nacional que cuenta con los equipos necesarios para la recolección de las imágenes adecuadas.

### 2.3.10 Desgaste de la fuente (Título 6.3.10)

Los glaciares al ser un elemento geofísico no sufren desgaste por motivo de levantamiento de información.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 37 de 88

## 2.4 Diseño estadístico (Sección 6.4)

Teniendo como referencia que esta operación estadística se desarrolla por censo, se presentan los componentes del diseño estadístico: universo de estudio, población objetivo, unidades estadísticas, período de referencia, marco estadístico y control del sesgo.

### 2.4.1 Universo de estudio

El universo de estudio lo conforma la cobertura glaciaria del territorio colombiano.

### 2.4.2 Población objetivo

La población objetivo de esta operación estadística la constituyen los glaciares del territorio nacional, medidos a partir de los fragmentos glaciares, conforme a la identificación de conceptos realizada en el numeral 1.5 del presente documento. Colombia actualmente cuenta con seis nevados ubicados sobre seis entidades geográficas identificados como:

Sierra Nevada de Santa Marta

Sierra Nevada El Cocuy

Volcán Nevado del Ruíz


Volcán Nevado Santa Isabel

Volcán Nevado del Tolima

Volcán Nevado del Huila.

Una entidad geográfica se entiende como un “elemento del paisaje técnicamente establecido que está sujeto a ser nombrado y localizado. Ejemplo: cerro, río, municipio” (IGAC, 2023a).). A continuación, se dispone el marco de lista, conformado por todas las entidades geográficas objeto de estudio, las cuales se describen de manera detallada:

- Sierra Nevada de Santa Marta:** Macizo montañoso periférico, localizado en el norte del país entre los departamentos del Magdalena, Cesar y La Guajira. Sus características generales son: su forma piramidal, longitud 150 km, base de 80 km<sup>2</sup>, superficie de 17.000 km<sup>2</sup> aproximadamente. El rasgo más notable de la orografía de la Sierra Nevada de Santa Marta son sus picos nevados, en los que se pueden distinguir dos sectores, el de Bolívar-Colón y el de Ojeda-Nevaditos-Codazzi; en el primero se encuentran las máximas alturas del país que son los picos Simón Bolívar y Cristóbal Colón (5.775 m), a los cuales se ha denominado La Horqueta debido a la cercanía en que se encuentran entre sí; en este grupo también está el Simons (5.560 m). En el segundo sector están los picos Ojeda (5.490 m), Nevaditos (5.375 m), Codazzi (5.150 m) y Guardián (5.235 metros sobre el nivel del mar). En lo referente a glaciares, estos se concentran alrededor de las crestas más altas. Las terminaciones de los glaciares o de las lenguas por lo general no alcanzan abajo de los 4.500 m. Los indígenas designan a la Sierra Nevada de Santa Marta con el nombre de Gonawindua y Chinundúa (IGAC, 2023b).
- Sierra Nevada Cocuy:** Sierra Nevada de la cordillera Oriental, entre los municipios de El Cocuy, Güicán de la Sierra, Chita, La Salina y Tame, departamentos de Boyacá, Casanare y Arauca. Se localiza entre los 06° 21' y 06° 34' de latitud norte y 72° 15' y 72° 20' de longitud oeste. Constituye la única altura nevada de la cordillera Oriental, ya que sobrepasa los 5.000 metros sobre el nivel del mar. El punto más prominente, y también de la cordillera Oriental, es el alto Ritacuba Blanco, con 5.380 metros sobre el nivel del mar. Entre los 25 picos nevados de la sierra nevada del Cocuy se destacan el Pan de Azúcar (5.100 m), El Toti (4.900

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 38 de 88

m), El Pulpito del Diablo (5.000 m), el Concavito (5.100 m), San Pablín Sur (5.180 m), San Pablín Norte (5.200 m), El Castillo (5.100 m), Ritacuba Negro (5.350 m) y Ritacuba Norte (5.200 m). (IGAC, 2023c).

- **Volcán Nevado del Ruiz:** Volcán Nevado de la cordillera Central, entre los municipios de Villamaría, Casabianca, Villahermosa y Murillo, departamentos de Caldas y Tolima, localizado a los 04°54' de latitud norte y 75°19' de longitud oeste. Presenta una altura de 5.310 metros sobre el nivel del mar. (IGAC, 2023d).
- **Volcán Nevado Santa Isabel:** Nevado de la cordillera Central, entre los municipios de Villamaría, Murillo, Santa Isabel, Pereira y Santa Rosa de Cabal, departamentos de Caldas, Tolima y Risaralda. Localizado a los 04° 47' de latitud norte y 75° 24' de longitud oeste, tiene una altura aproximada de 4.965 metros sobre el nivel del mar. (IGAC, 2023e).
- **Volcán Nevado del Tolima:** Nevado de la cordillera Central, entre los municipios de Ibagué y Anzoátegui, departamento del Tolima. Tiene una altura aproximada de 5.321 metros sobre el nivel del mar y una altitud mínima de glaciar de 4.650 metros sobre el nivel del mar. Está localizado a los 04° 39' de latitud norte y 75° 22' de longitud. (IGAC, 2023f).
- **Volcán Nevado del Huila:** Volcán Nevado de la cordillera Central, perteneciente al conjunto de los nevados y glaciares de Colombia. Está localizado 2° 55' de latitud norte y a los 76° 03' de longitud oeste, en el límite de los departamentos del Huila, Cauca y Tolima. Geológicamente. El nevado del Huila representa la máxima altura del sistema andino colombiano; sus puntos más altos de sur a norte están a 5.469 m, 5.631 m y 5.516 m. (IGAC, 2023g).

#### 2.4.3 Unidades estadísticas

- **Unidad de observación:** Corresponde a los fragmentos glaciares (ver numeral 1.5.1) con una unidad mínima cartografiable de 100 metros cuadrados ( $m^2$ ). Estos fragmentos glaciares pueden aumentar o disminuir en número en el tiempo como consecuencia de la dinámica glaciar.
- **Unidad de análisis:** La unidad de análisis de esta operación estadística, corresponde a cada uno de los glaciares colombianos.


#### 2.4.4 Periodo de referencia

Se contempla como período de referencia un año calendario específico; el periodo de recolección se detalla en el numeral 2.5.3. Adicionalmente, la operación estadística tiene una periodicidad bienal (cada dos años), la cual depende de la disposición y el cumplimiento de los criterios técnicos de los insumos tales como: disponibilidad de imágenes satelitales o fotografías aéreas y calidad de la resolución espacial, espectral y temporal.

Las razones fundamentales para la bienalidad de la operación son razones técnicas; al transcurrir este tiempo, el dato obtenido es más significativo al evidenciarse un mayor cambio debido al ritmo natural del derretimiento de los glaciares; esto permite que baje el nivel de incertidumbre al manifestarse mayor cambio sobre la superficie y a su vez, contar con mayor disponibilidad de imágenes satelitales. Finalmente, aun cuando la operación estadística está diseñada para ser presentada bienalmente es una recomendación, siendo posible por condiciones coyunturales, la presentación de resultados durante dos años de manera seguida o que los años transcurridos entre los datos proveídos varíen irregularmente, por ende, la temporalidad de la operación no exige un mínimo de años de distancia entre los datos.

#### 2.4.5 Marco estadístico (Título 6.4.2)

El marco estadístico para la operación “Área y Cambio de Cobertura Glaciar” corresponde a un marco censal, conformado por las masas glaciares actuales del territorio colombiano: Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada

 <b>IDEAM</b> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 39 de 88

el Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado Tolima y Volcán Nevado del Huila, los cuales se describen detalladamente en el numeral 2.4.2. La naturaleza y conformación de este marco estadístico permite establecer completitud (todas las unidades del marco o nevados disponen de datos), actualización (no puede haber sobre o subcobertura al haber plena seguridad que se tiene en cuenta todos los nevados colombianos), cobertura geográfica y la no existencia de duplicidades (las unidades que componen el marco están incluidas una sola vez).

#### **2.4.6 Control de sesgo (Título 6.4.4)**

Se definen los siguientes mecanismos para disminuir el sesgo en aras de asegurar completitud y veracidad de la información calculada:

1. Se garantizará la adquisición de imágenes satelitales de alta resolución espectral y espacial, según sea el caso, las cuales deben tener un cubrimiento continental del cien por ciento a nivel nacional de las zonas geográficas donde se ubican las masas glaciares.
2. Se contratará y entrenará a personal con experiencia en interpretación de imágenes satelitales, quienes con ayuda de un software especializado calcularán con exactitud las áreas de los glaciares colombianos.
3. Para el cálculo del área glaciar se requiere como mínimo una imagen para cada nevado, pero se procurará adquirir dos tipos de imágenes que sean de mutuo apoyo para el cálculo del área (fecha de toma durante el mismo periodo estacional o climático). No obstante, si alguna de las unidades de análisis no cuenta con ninguna de las imágenes en el periodo requerido, no se realiza la operación estadística en ese periodo.
4. Una estrategia para disminuir la no respuesta, es el tiempo de oportunidad en la adquisición de las imágenes referido en el numeral 2.5.3

### **2.5 Diseño de la recolección de los datos (Sección 6.5)**

El diseño de la recolección se refiere a la estructura operativa requerida para la obtención de los datos necesarios en la operación estadística. En este capítulo se especifican las condiciones necesarias para la recolección de imágenes de sensores remotos y la delimitación de áreas glaciares, identificando las herramientas tecnológicas y las especificaciones técnicas para la búsqueda, organización y acopio de esta información.


#### **2.5.1 Diseño de la recolección de los datos (Título 6.5.1)**

La recolección de datos depende directamente del método de búsqueda, selección e interpretación de las imágenes. El componente central del diseño de la recolección radica en definir el esquema operativo que permite la adecuada escogencia y acopio de estas. Así como de la interpretación y la digitalización de estas imágenes, mediante la aplicación de una metodología de cálculo de áreas glaciares.

##### **a) Estructura tecnológica**

En lo relativo a la estructura tecnológica requerida se especifica:

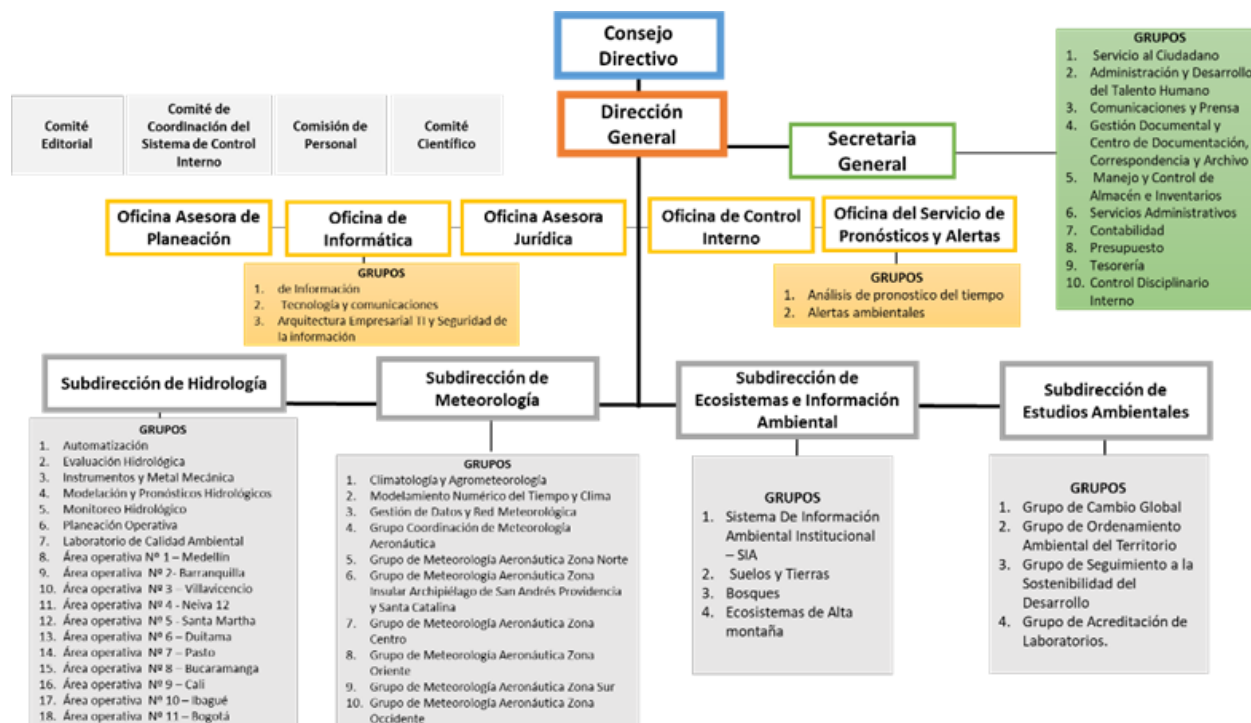
- ✓ Capacidad informática y ofimática básica:
  - Ordenadores o computadores con Memoria instalada (RAM) de 4.00 GB y CPU o procesador de 2,2 Gigahercios (GHz).
  - Sistema de enlace con conexión a Internet de 100 Megabits por segundo (Mbps).
  - Capacidad de almacenamiento de 200 Gigabytes (GB) en entornos locales o en la nube.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 40 de 88

- Software de aplicación informática de ofimática básica, basado en un sistema de celdas verticales y horizontales que conforman entre sí filas y columnas, usualmente conocido como hoja de cálculo. La aplicación más común de este tipo de programa es Microsoft Excel ®.
- ✓ Programas computacionales especializados para el procesamiento de imágenes de satélite tales como los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis, Erdas, Qgis, etc.).

**b) Estructura Operativa**


De acuerdo a lo anterior se relaciona el organigrama que se ha diseñado para la institución con las funciones de cada una de sus áreas desglosadas en el link <http://www.ideam.gov.co/documents/24189/683828/FUNCIONES+DE+TODOS+LOS+EQUIPOS+DE+TRABAJO+DEL+ID+EAM+-+4+DE+MAYO+DE+2020.pptx/b24e12fd-7016-4a46-bc1f-a81b1df98cf6>, de esta manera se expresa la estructura organizacional en la figura x.



**Figura x.** Estructura orgánica del IDEAM

Fuente: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/ley-de-transparencia>



	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 41 de 88

A partir de la estructura orgánica del IDEAM, se desglosa la estructura operativa de la Operación Estadística de Área y Cambio de Cobertura Glaciar, la cual permite identificar las actividades y funciones de cada rol para la toma de decisiones y las actuaciones concretas dentro para su desarrollo.

Esta estructura tiene que ver en la manera como se organiza OE ACCG a nivel nacional, involucra tanto a funcionarios del Estado como a contratistas de orden nacional en las actividades de diseño y planeación, preparación y logística, implementación y ejecución y procesamiento y publicación de los resultados (Figura x).

**Figura x.** Estructura operativa de la Operación Estadística de Área y Cambio de Cobertura Glaciar




Fuente. Profesionales de apoyo y Líder Temático.

### **Dirección General y Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental**

Son los que orientan y revisan las decisiones y lineamientos técnicos y administrativos para el desarrollo de la OE ACCG. En este sentido el o la subdirector@ de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, se encargará de servir de enlace entre los grupos de comunicaciones, comité científico, gestión jurídica y contractual, aprobar o gestionar la suscripción de convenios para la adquisición de imágenes, agilizar los procesos que la operación estadística necesita para su avance. A su vez solicitará aprobaciones ante la Dirección General.

### **Grupo de alta Montaña (Área temática)**

Está conformada por un líder temático, quién es el encargado coordinar la operación estadística, aprobar la consistencia y completitud de los datos, aprobar y gestionar la publicación del indicador ante la subdirectora y la profesional del grupo SIA, es el responsable de sustentar ante el comité científico el informe de estado de los glaciares colombianos que es el

 <b>IDEAM</b> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 42 de 88

producto establecido en el calendario de difusión, es quien está en permanente contacto con los aliados de suministro de información, recepción y gestión de PQRS, envío de información a inventarios glaciares de la Red terrestre mundial para glaciares.

También está conformado por profesionales de apoyo, quienes serán funcionarios o contratistas del IDEAM, que apoyarán en las actividades logísticas, procesamiento y análisis de la información necesaria para la correcta ejecución del OE ACCG, interacción constante con el líder temático para la verificación de consistencia y completitud de los datos.

### **Grupo de Servicio al ciudadano**

Es el grupo encargado de recibir, tramitar y resolver las peticiones, quejas, reclamos, sugerencias y denuncias que los ciudadanos formulen, conforme a los términos legales establecidos y Llevar un registro automatizado y actualizado de todas las peticiones, quejas, reclamos, sugerencias y denuncias para efectuar un seguimiento y análisis de la información, conforme a los parámetros institucionales adoptados.

La gestión que realizan es clave como mecanismos de consulta en donde a partir de la segunda iteración, selecciona, depura y caracteriza a los usuarios y las necesidades recibidas a partir de peticiones, quejas, reclamos, sugerencias o denuncias (PQRS). Este proceso es realizado en el marco de la política "un mejor Estado al servicio de los ciudadanos", con el que el IDEAM cuenta con un Servicio que ofrece a toda la ciudadanía una orientación oportuna, trato amable y respuestas efectivas con respecto a las solicitudes de información (IDEAM, 2020 C). Este mecanismo permite el acceso a la información pública de los ciudadanos, usuarios o grupos de interés a la información producida de la OE ACCG.

### **Oficina Asesora de Planeación**

Es la que se encarga de definir directrices para la identificación y control de riesgos asociados a la gestión de la operación estadística a prevenir su materialización mediante el seguimiento a la ejecución de los controles y planes de acción.

También de realizar Auditorías Internas con el fin de hacer seguimiento y medición de la operación estadística en su integralidad, dentro de la cual se evalúa la adecuada implementación y ejecución de cada una de las fases definidas por la NTC PE 1000/versión actual, siendo estas: 1) detección y análisis de necesidades, 2) diseño, 3) construcción, 4) recolección o acopio, 5) procesamiento, 6) análisis, 7) difusión, y 8) evaluación.


Como resultado de las auditorías internas desarrolladas, la Oficina Asesora de Planeación genera un informe de auditoría, y según las no conformidades y/o hallazgos identificados, se debe formular un Plan de mejora para la operación estadística que evidencie la mejora para la siguiente iteración.

### **Oficina Asesora Jurídica**

Son los encargados de gestionar oportunamente la contratación de o los profesionales que requiere la operación estadística para su adecuada ejecución, impartir lineamientos para correcta ejecución de los contratos y convenios suscritos para la gestión de la operación estadística.

### **Comité Científico**

Está conformado por Subdirectores, Asesores y Dirección General que se encargan mediante los comités de evaluar y aprobar los documentos publicados y divulgados, entre ellos el Informe de Estado de los Glaciares Colombianos.

 <p><b>IDEAM</b> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p><b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b></p>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 43 de 88

### **Aliados Nacionales e Internacionales.**

Son entidades públicas y privadas nacionales o extranjeras que actúan como proveedoras de imágenes satelitales o fotografías aéreas, mediante convenios de cooperación, donación o compra suministran este material.

Así mismo, actúan como divulgadores de conocimiento al convocar a cursos, talleres, charlas y capacitaciones que enriquecen la operación estadística.

Adicionalmente, algunos pueden intervenir para la consulta de expertos que tiene como fin obtener un mayor grado de confiabilidad en los resultados del numeral 6.7

### **Grupo Sistema de Información Ambiental.**

Este grupo es el encargado de orientar y realizar el seguimiento a los procesos de gestión de la calidad de la información estadística (operaciones estadísticas e indicadores) ambiental producida por el IDEAM, desde la planeación hasta su difusión y uso.

Dentro del grupo interno de trabajo, se encuentra una profesional especializada, encargada de revisar y aprobar los indicadores ambientales para ser publicados en la sección de operaciones estadísticas.

### **Grupo de Comunicaciones y Prensa**

Es el grupo encargado de coordinar la edición y publicación del material a divulgar a través de distintos medios y del material que requiera impresión y edición especial para su entrega, con el objetivo de desarrollar y mantener la imagen institucional y garantizar estándares de calidad en las presentaciones propias de cada medio. Es decir, realizar la estructura y el diseño de los informes del estado de los glaciares colombianos para su publicación en página web del IDEAM.

### **Grupo de Manejo y Control de Almacén e Inventarios**


Son los encargados de recibir las imágenes de satélite adquiridas por la subdirección e incluirlas dentro del inventario de bienes de la entidad y salvaguardarlas.

### **Oficina de Informática**

Contribuir al diseño, construcción, uso y mejoramiento de los submódulos y aplicativos de la base de datos en cada dependencia e integrarlos al Sistema de Información Ambiental Central del IDEAM, aplicando las metodologías propias de la ingeniería de software, Coordinar el mantenimiento y actualización de las aplicaciones sistematizadas de acuerdo con las necesidades y políticas de la entidad.

En este sentido para la operación estadística salvaguardan las imágenes de satélite, proporcionar y hacer mantenimiento al software y hardware en donde se analizan estas imágenes y se procesan los datos.

### **DANE**

 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 44 de 88

Es la entidad certificadora de las operaciones estadísticas en donde actúa como ente de control mediante la realización de auditorías para el correcto cumplimiento de las fases del proceso estadístico y en pro de la mejora continua.

### c) Roles y perfiles del personal

Respecto al personal encargado de la obtención de los datos, el diseño del plan de entrenamiento tiene en cuenta los perfiles determinados por el Grupo de Administración y Desarrollo del Talento Humano, así como el esquema de contratación del recurso humano requerido para el proceso estadístico, con especial atención en la etapa de recolección. Los parámetros para la vinculación del personal se encuentran consignados en el manual de contrataciones de la entidad. A su vez, los requisitos del personal y la verificación de la idoneidad se establecen por medio de la *Guía de entrenamiento para el cálculo del área y cambio de cobertura glaciar*, para el caso de contratistas, estos requisitos están previstos en los Estudios Previos.

Los profesionales que ingresan al equipo humano que hace parte del monitoreo glaciar institucional debe reunir el siguiente perfil:

- Profesionales en cualquier tipo o modo de vinculación con la institución responsable de la operación estadística (OPS, convenios interinstitucionales, docentes universitarios)

- Profesional en áreas de ciencias de la Tierra (Geografía, Geología, Ingeniería Geográfica o Ingeniería ambiental, Ecología o afines) con conocimientos básicos de inglés.
- Experiencia mínima de un (1) año en procesamiento de imágenes de satélite mediante manejo de sistemas de información geográfica - SIG.
- Conocimientos básicos en ofimática como el manejo de hoja de cálculo y procesador de textos. Las aplicaciones más comunes de este tipo de programas son Microsoft Excel ® y Microsoft Word ®.
- Conocimientos básicos en áreas ambientales, ecosistemas de alta montaña, particularmente glaciares.

- Profesionales vinculados mediante carrera administrativa (en encargo o, provisional)


- Profesional Especializado con Cargo igual o superior al Grado 13 en áreas de ciencias de la Tierra (Geografía, Geología, Ingeniería Geográfica o Ingeniería ambiental, Ecología o afines) con conocimientos básicos de inglés.

- Experiencia mínima de un (1) año en procesamiento de imágenes de satélite mediante manejo de sistemas de información geográfica - SIG.
- Conocimientos básicos en ofimática como el manejo de hoja de cálculo y procesador de textos. Las aplicaciones más comunes de este tipo de programas son Microsoft Excel ® y Microsoft Word ®.
- Conocimientos básicos en áreas ambientales, ecosistemas de alta montaña, particularmente glaciares.

### d) Cargas de trabajo

De acuerdo a los perfiles y roles descritos en el literal anterior, a continuación se definen la totalidad de las actividades y responsabilidades que se asumen para el adecuado desarrollo de la operación estadística y que el personal no cuente con sobrecarga de trabajo.

<b>LÍDER TEMÁTICO PROFESIONAL ESPECIALIZADO</b>	<b>PROFESIONAL DE APOYO 1</b>	<b>PROFESIONAL DE APOYO 2</b>
Revisar la documentación que se actualice o se genere en pro de mejora continua de la operación estadística.	Actualizar el Formato M-GCI-E-F015 Caracterización de necesidades de información del ACCG, según los mecanismos implementados.	Revisar y actualizar (si es pertinente) el plan de la operación estadística
Realizar las gestiones necesarias para la adquisiciones de imágenes satelitales o fotografías aéreas		Apoyar técnicamente la adquisición de las imágenes de imágenes de sensoramiento remoto
Realizar el re entrenamiento a los profesionales que van apoyar la operación estadística	Realizar la selección de por lo menos 6 imágenes de sensoramiento remoto en formato digital de acuerdo a los lineamientos de la guía de cálculo de área glaciar.	Realizar la selección de por lo menos 6 imágenes de sensoramiento remoto en formato digital de acuerdo a los lineamientos de la guía de cálculo de área glaciar.
Realizar la revisión de la selección y delimitación de las imágenes de sensoramiento remoto en formato digital que estén acordes con la guía de cálculo de área glaciar.	Realizar la delimitación de por lo menos 3 imágenes de sensoramiento remoto en formato digital de acuerdo a los lineamientos de la guía de cálculo de área glaciar.	Realizar la delimitación de por lo menos 3 imágenes de sensoramiento remoto en formato digital de acuerdo a los lineamientos de la guía de cálculo de área glaciar.
Asistir a reuniones técnicas y hacer la consulta a expertos para tener la certeza de que la delimitación es adecuada.	Asistir a reuniones técnicas y hacer la consulta a expertos para tener la certeza de que la delimitación es adecuada.	Asistir a reuniones técnicas y hacer la consulta a expertos para tener la certeza de que la delimitación es adecuada.
Revisar el indicador ambiental de la operación estadística con el fin de que sea publicado en la sección de las operaciones estadísticas de la página del IDEAM.	Analizar los datos y actualizar el indicador ambiental en cada iteración.	
	Mantener la tabla de atributos de cada uno de los objetos espaciales y consolidar en la hoja de cálculo de Microsoft Excel llamada tabla oficial de áreas y cambios de cobertura glaciar.	Mantener y depurar base de datos denominada hoja de cálculo de Microsoft Excel ® base de datos de áreas y cambios de cobertura glaciar.
Realizar las gestiones para presentar y aprobar ante el comité Científico institucional el Informe de estado de los glaciares colombianos.	Proyectar el informe de estado de los glaciares colombianos. Acompañar al Grupo de Comunicaciones institucional en el	Proyectar el Informe de estado de los glaciares colombianos. Acompañar al Grupo de Comunicaciones institucional en el

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 46 de 88

	diseño y edición del Informe de estado de los glaciares colombianos	diseño y edición del Informe de estado de los glaciares colombianos
Revisar la evaluación de las fases de la operación estadística con los profesionales de apoyo.	Realizar las gestiones para publicar en la página web sección de estadísticas los indicadores	Realizar las gestiones para publicar en la página web el Informe del estado de los glaciares colombianos.
	Realizar la evaluación de desempeño de las fases Recolección, Procesamiento y Análisis	Realizar la evaluación de desempeño de las fases difusión y evaluación.
	Realizar las actividades y elaborar los documentos necesarios para incorporar el inventario nacional de glaciares en el proyecto de Medición Global del Hielo Terrestre desde el Espacio (GLIMS por sus siglas en inglés).	

#### e) Digitación, transmisión o digitalización de datos


La naturaleza del principal instrumento de recolección, es decir la obtención de datos a través de imágenes digitales tomadas por sensores remotos, evita la toma de datos en campo que puedan ser susceptibles a digitación, transmisión o digitalización de los mismos. No obstante, al ser información recolectada por equipos electrónicos que son propiedad de terceros, el proceso de transmisión de los datos implica el proceso de búsqueda y acopio adecuado de las imágenes seleccionadas, así como de la obtención de áreas glaciares en formato vectorial.

En un primer momento, se diligencia el *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*, documento en el que se deja memoria técnica de la búsqueda y mediante el cual se realiza un chequeo y validación de las imágenes seleccionadas. Finalmente, se realiza la salvaguarda de las imágenes acorde con el numeral 2.5.3

En un segundo momento, se deben llevar a cabo los pasos de digitalización de las áreas glaciares, el cálculo de incertidumbres de estas y la consulta a expertos, los cuales están descritos en la *Guía para el cálculo del área glaciar mediante el uso de productos de sensoramiento remoto*. Todo esto con el fin de obtener objetos espaciales o datos vectoriales en capas, producto de la delimitación de áreas glaciares que permiten el posterior cálculo de agregados en la fase de procesamiento

#### Validación de los datos

La validación de los datos se realiza de acuerdo al control y la supervisión de los datos recolectados (numeral 2.5.2). Adicionalmente, el *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos* cuenta con un espacio de validación por parte del líder temático de la operación. Así mismo, la obtención de datos vectoriales en capas de áreas glaciares incluye la verificación interna de los datos obtenidos mediante reuniones del equipo de trabajo (líder temático y profesionales a cargo del monitoreo glaciar).

 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 47 de 88

### Logística necesaria

La logística requerida para la recolección de imágenes se relaciona con los ítems anteriores, así como con el proceso de acopio de los datos descrito en el numeral 2.5.3

### Entrenamiento al personal

El esquema de entrenamiento del personal encargado de la recolección corresponde con el entrenamiento general descrito en el numeral 2.5.6

### Sensibilización de la fuente

La sensibilización de la fuente corresponde con lo descrito en el numeral 2.5.5 de este documento.

### Manejo de novedades operativas

Finalmente, el diseño de la recolección de los datos de esta operación estadística contempla una serie de causas y contingencias que afectan el flujo operativo de esta fase, constituyendo el riesgo de incumplimiento en la generación de datos e información de la operación estadística. Ante 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-G003 y se encuentran documentadas en el *Formato matriz de riesgos E-SGI-F006* del IDEAM.

#### **2.5.2 Control y supervisión (Título 6.5.2)**

El seguimiento y control a la recolección de los datos se lleva a cabo mediante el *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*, que cuenta con un módulo de control, supervisión y validación por parte del líder temático de la operación.

Adicionalmente, el grupo de trabajo debe mantener control y salvaguardar la información en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.

#### **2.5.3 Acopio de datos no estructurados (Título 6.5.4)**

- *Recolección de imágenes:*

Para el correcto acopio o recolección de imágenes digitales, la entidad productora dispone de la infraestructura tecnológica y el talento humano requerido para la búsqueda, organización y acopio de esta información. Por la naturaleza de los datos, no es necesario el desarrollo de librerías web ni interfaces de programación de aplicaciones. Así mismo, para la búsqueda de imágenes, cada sensor, organización o empresa cuenta con una o varias interfaces de búsqueda para la compra o descarga, en servidores externos.

Para la actividad de búsqueda el IDEAM cuenta la infraestructura descrita en el documento *M-GCI-G003 Guía requisitos generales para el cumplimiento de la norma técnica colombiana del proceso estadístico (NTCPE 1000/2017-2020)*. En cuanto a la organización y acopio de la información, la salvaguarda de las fotografías aéreas e imágenes satelitales anteriores al año 2019 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, la información

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 48 de 88

de área y cambio de cobertura glaciar, se encuentra en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.

Adicionalmente, como herramientas tecnológicas mínimas para la búsqueda y acopio de imágenes, recolección de capas vectoriales, así como lo necesario para su posterior procesamiento, se establecen las mismas características de la estructura operativa y tecnológica para la recolección descrita en el numeral 2.5.1

Respecto a la calidad de la información obtenida, la técnica de verificación se fundamenta en los siguientes criterios mínimos de calidad que deben tener los datos acopiados:

- En imágenes ópticas para metodología de relación de bandas o *band ratio* se requiere: resolución espectral mínima de 4 bandas y resolución radiométrica mínima desde el espectro visible (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$  aproximadamente) hasta una porción de infrarrojo de onda corta o *Short-wave infrared – SWIR* con valores entre 1,56 y 1.65  $\mu\text{m}$ .
- En imágenes utilizadas para metodología de delimitación manual se requiere una resolución espacial mayor o igual a 5 metros.
- Al momento de la adquisición de las imágenes, estas deben tener un nivel de procesamiento realizado por el proveedor o por la interfaz de descarga gratuita, el cual consiste en la ortorectificación o corrección geométrica, corrección atmosférica y corrección radiométrica.
- Baja o nula presencia de nieve estacional.
- Baja o nula presencia de nubes.
- Cobertura geográfica de las zonas glaciares<sup>8</sup>

Es importante añadir que la adquisición de dichas imágenes implica una interpretación climatológica que favorezca la toma de imágenes para la época denominada como 'verano' en la Región Andina, lo cual implica ausencia de lluvias y baja nubosidad. Este tiempo generalmente se da a finales y principios de un año calendario. Con base en este amplio criterio se aclara que no es necesario que las imágenes/fotos tomadas para cada uno de los glaciares colombianos sean exactamente en la misma fecha (hora, día, semana o mes). Por esta razón, el periodo de recolección tiene como criterio principal la fecha de toma de recolección de imágenes desde noviembre del año anterior al periodo de referencia, hasta febrero del año siguiente, coincidiendo con la amplitud del año hidrológico<sup>9</sup>.

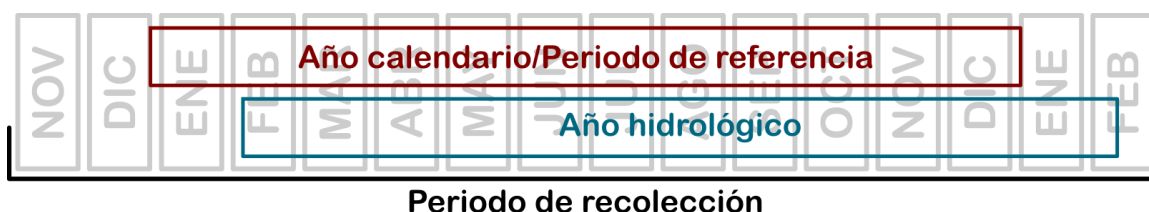



Figura 13. Esquema comparativo de periodos de referencia y recolección.

### Recolección de capas vectoriales de delimitación de área glaciar

<sup>8</sup> Los cuadrantes mínimos en coordenadas geográficas de cobertura de las zonas glaciares son las mismas zonas definidas en el numeral 2.3.7(Cobertura geográfica).

<sup>9</sup> Es un ciclo o periodo de un año dado por la sucesión natural de las estaciones hidrológicas en periodos de precipitación y periodos secos (Cogley et.al., 2011). Para los estudios de glaciología en Colombia se aproxima desde inicios del calendario gregoriano (meses de enero/febrero) hasta enero/febrero del año siguiente.



 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 49 de 88

Como se ha reseñado anteriormente, hace parte integral de la recolección de datos la delimitación de los glaciares producto de la interpretación y digitalización de las imágenes recolectadas. La recolección de datos en esta fase se cumple implementando un conjunto de técnicas orientadas a mejorar la visualización, el procesamiento, el análisis y la obtención de información adecuada para el cálculo del área y el cambio de la cobertura glaciar. Esto se realiza a partir de la interpretación visual de coberturas nivales y glaciares, por medio del uso de imágenes de sensores remotos usadas a nivel mundial.

El procesamiento de las unidades de observación acopiadas, mediante el registro espectral del conjunto de píxeles de las imágenes de sensoramiento remoto proyectadas en el sistema de referencia oficial del país MAGNA SIRGAS, de las cuales se obtiene la información para determinar la cobertura de los glaciares colombianos; se resume en dos grandes etapas: una primera etapa consiste en la técnica de relación de bandas o band ratio, que consiste en obtener el cociente entre dos bandas con información espectral diferente para obtener una discriminación entre coberturas de hielo, nieve, suelo y roca, así como diferenciar las nubes de superficies con nieve.

La segunda etapa consiste en realizar la delineación manual de los glaciares, respondiendo a las condiciones locales como su pequeño tamaño o la normal cobertura por roca o ceniza volcánica. Se entiende la delineación manual cómo la digitalización en la pantalla de un monitor de aerofotografías o imágenes satelitales basada en la interpretación visual de áreas cubiertas de nieve o glaciar, por parte de intérpretes y a juicio de expertos, utilizando un conjunto de elementos como: combinación de bandas, textura, tamaño, color, patrón y conocimiento de la zona. Complementariamente, el proceso debe incluir etapas adicionales como el cálculo de incertidumbres y consulta con expertos externos. Estas subfases de las fases de recolección y procesamiento o cálculo de áreas glaciares se detallan en la *Guía para el cálculo del área glaciar mediante el uso de productos de sensoramiento remoto*.

#### **2.5.4 Periodo y medio para la conservación de los datos (Título 6.5.6)**


La determinación del periodo de tiempo y el medio utilizado para la conservación de los datos obtenidos en el cálculo del área y cambio de cobertura glaciar para los tipos documentales Informes (Informe del estado de los glaciares colombianos) e Indicadores (Indicador ambiental Área y cambio de cobertura glaciar), se encuentra definido en las tablas de retención documental -TRD- del Grupo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña, como instrumento de clasificación documental del IDEAM.

#### **2.5.5 Sensibilización (Título 6.5.7)**

Teniendo en cuenta que la fuente primaria de datos es un elemento geofísico como un glaciar, no se vislumbra necesario realizar un proceso de sensibilización a la fuente. No obstante, el IDEAM, en un proceso paralelo de comunicación activo y creativo, procura promover la transformación o cambio de actitud en el comportamiento de la sociedad respecto al conocimiento de los glaciares, como una actividad complementaria al alcance de la operación estadística. Particularmente esta actividad se desarrolla mediante un trabajo de socializaciones, charlas, talleres o conferencias, con actores sociales relacionados a los glaciares de estudio, tales como: Parques Nacionales Naturales de Colombia, Corporaciones Autónomas, asociaciones de guías o la ciudadanía en general.

#### **2.5.6 Entrenamiento (Título 6.5.8)**

Respecto al personal encargado de la obtención y acopio de los datos, el diseño del plan de entrenamiento tiene en cuenta los perfiles determinados por el Grupo de Administración y Desarrollo del Talento Humano, así como el esquema de contratación del recurso humano requerido para el proceso estadístico, con especial atención en la etapa

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 50 de 88

de procesamiento. Para el desarrollo de toda la operación estadística se requiere de por lo menos dos personas con un nivel académico de pregrado aprobado en Ciencias de la Tierra o afines.

El entrenamiento tiene como objetivo preparar conceptual y técnicamente al personal profesional que hace parte del equipo humano de monitoreo glaciar, para la ejecución de las tareas referidas al cálculo del área y cambio de cobertura glaciar, mediante el uso y procesamiento digital de productos de sensoramiento remoto. Para llevarlo a cabo, se diseña un programa de entrenamiento con una duración de cuatro días en oficina, una intensidad de 2 horas diarias y lecturas adicionales. La inducción a los profesionales responsables de la recolección, salvaguarda y procesamiento de los datos primarios e información resultante, está estipulada en el documento *guía de entrenamiento para el cálculo del área y cambio de cobertura glaciar* y en general está compuesta por las siguientes etapas:

- Manejo de conceptos básicos de glaciología
- Manejo de conceptos básicos de teledetección en glaciares
- Búsqueda y descarga de imágenes de libre distribución de un área glaciar
- Aplicación de método de relación de bandas o *band ratio* en un área glaciar
- Capa vectorial producto de la delimitación del borde glaciar utilizando insumo de relación de bandas e interpretación manual de imagen de alta resolución
- Ejercicio de cálculo numérico de área, cambio de cobertura y cálculo de incertidumbres

Adicionalmente, todo funcionario o contratista que ingrese al IDEAM debe surtir el “Proceso de Inducción y Entrenamiento en el Puesto de Trabajo” el cual está publicado en la Intranet institucional en el apartado del Plan Institucional de Capacitación, que se hace anualmente a cargo Grupo de Administración y Desarrollo del talento Humano.

## 2.6 Diseño del procesamiento de los datos (Sección 6.6)


En este subproceso, tomando como base los criterios temáticos y estadísticos, se explica la manera en que se consolidan e integran los datos, el tratamiento que se les da y los criterios para su edición; todo con el objetivo de disponer de una base de datos de salida.

### Consolidación de archivos de datos

Para la consolidación de un archivo de datos con el fin de realizar el procesamiento de los mismos se tiene en cuenta, en primera instancia, la información primaria recolectada y registrada en el *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*. A partir de la digitalización o interpretación de los límites de área glaciar y mediante el uso de un programa de Sistemas de Información Geográfica -SIG, se obtiene un dato numérico de área en kilómetros cuadrados de cada uno de los vectores, contenido en la tabla de atributos<sup>10</sup> de cada uno de los objetos espaciales, los cuales se consolidan en la *hoja de cálculo de Microsoft Excel* ® *tabla oficial de áreas y cambios de cobertura glaciar*.

Tanto las imágenes seleccionadas como los datos vectoriales de áreas glaciares y el archivo Excel antes mencionado, se consolidan en una carpeta homogénea para su adecuado procesamiento y almacenamiento en nube o servicio de

<sup>10</sup> La tabla de atributos muestra información sobre los elementos de una capa vectorial en particular. Cada fila en la tabla representa un elemento geométrico (para este caso un polígono de delimitación del área glaciar el cual puede ser un fragmento o un nevado), y cada columna contiene una pieza de información particular acerca de ese elemento, una de las cuales se denomina Área y se puede calcular.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 51 de 88

alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.

### **Verificación de la completitud de los datos**

El grado de completitud de la información recolectada y lista para el procesamiento, se verifica teniendo como referente las unidades de análisis o cada uno de los glaciares colombianos. El *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos* cuenta con un espacio de verificación de la completitud y consistencia de los datos por parte del líder temático o algún profesional a cargo del monitoreo glaciar. Adicionalmente, al igual que para la fase de recolección, se realiza una verificación de la completitud mediante reuniones del equipo de trabajo (líder temático y profesionales a cargo del monitoreo glaciar).

### **Especificaciones de rutina para la codificación**

Acorde con la *Guía para el cálculo del área glaciar mediante el uso de productos de sensoramiento remoto*, la información recolectada se codifica según el sistema de referencias oficial para la cartografía oficial del IDEAM, es decir en concordancia con el estándar de adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como DATUM oficial de Colombia.

### **Validación y consistencia de los datos**

La validación de los datos se realiza de acuerdo al control y supervisión de los datos recolectados previsto en el numeral 2.5.2 Adicionalmente, el *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos* cuenta con un espacio de validación de la información por parte del líder temático de la operación.


A su vez, la validación y consistencia de la información alfanumérica y geográfica, se soporta en el cumplimiento de la *Guía para el cálculo del área glaciar mediante el uso de productos de sensoramiento remoto*, en la cual se especifican actividades de procesamiento de información geográfica, rectificación, transformación de coordenadas y sistemas de proyección, entre otros. La validación de los datos procesados se realiza mediante reuniones del equipo de trabajo (líder temático y profesionales a cargo del monitoreo glaciar). Por último, en la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar no se realiza imputación de datos en la fase de procesamiento, en tanto no hay ninguna sustitución de valores que no hayan sido informados.

### **Generación de resultados**

La generación de cuadros de resultados en el marco del procesamiento de los datos se especifica en la *Guía para el cálculo del área glaciar mediante el uso de productos de sensoramiento remoto*; estos son acordes con los resultados esperados especificados en el *Plan general para la Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*. La generación de resultados, se enfoca en realizar el cálculo de agregados en forma de indicadores estadísticos según la definición de variables, indicadores y desagregación geográfica descrita en el numeral 1.5.3

### **Medio de acopio**

Se relaciona con el numeral ‘Consolidación de archivos de datos’ descrito anteriormente y consiste en el mantenimiento y actualización de un archivo denominado *hoja de cálculo de Microsoft Excel ® tabla oficial de áreas y cambios de cobertura glaciar*. La información de área y cambio de cobertura glaciar utilizada en la fase de procesamiento debe salvaguardarse en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 52 de 88

### Infraestructura tecnológica necesaria para el procesamiento (Título 6.6.1)

Para el establecimiento de las herramientas tecnológicas (software y hardware) requeridas para el procesamiento de los datos, es necesaria una infraestructura tecnológica que soporte dicho procesamiento. En tal sentido, el IDEAM asegura la disponibilidad de los recursos técnicos, tecnológicos, informáticos, presupuestales y humanos, para el procesamiento de los datos de la Operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar, por medio de varias dependencias.

El procesamiento informático de los datos se soporta en la infraestructura institucional bajo responsabilidad de la Oficina de Informática, por medio del suministro y la conservación de equipos de cómputo, así como el mantenimiento de licencias de Programas computacionales especializados para el procesamiento de imágenes de satélite, como los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis, Erdas, Qgis, etc.). El Grupos de Manejo y Control de Almacén e Inventarios y Servicios Administrativos, suministra, salvaguarda y mantiene los equipos necesarios para el monitoreo glaciar, esta infraestructura tecnológica está diseñada para evitar la pérdida, modificación o alteración de la información.

Es necesario aclarar que los softwares aplicativos de uso para el procesamiento de datos son softwares de creación de terceros. Por este motivo, el mantenimiento de estos softwares se relaciona con la actualización y vigencia de las licencias, si aplica. Según lo diseñado en este título no se realiza el desarrollo de un software propio, con reglas propias de validación y consistencia, como tampoco se ve necesario desarrollar un algoritmo de búsqueda o script para la clasificación y acopio de imágenes, ni manuales de uso y mantenimiento de dicho software, toda vez este proceso es realizado por personal entrenado y capacitado.

En relación al almacenamiento de imágenes e información procesada, se salvaguarda según lo descrito en el numeral 2.5.3. Adicionalmente, se cuenta con un mecanismo institucional de copias de respaldo a cargo de la Oficina de Informática soportado en el diligenciamiento del *Formato Solicitud de cambio o adición de copias de respaldo*.

## 2.7 Diseño del análisis (Sección 6.7)

En este subproceso se definen los criterios metodológicos para revisar y validar la consistencia de los resultados que arroja el procesamiento del conjunto de datos. La operación estadística en este punto genera los resultados finales, pero además los comprende y explica.

### Metodología de análisis de resultados

Por la naturaleza del fenómeno estudiado, el análisis de los datos implica alta experticia y criterio profesional para la revisión y validación de resultados. La calidad profesional y el talento humano del profesional especializado (líder temático), así como de los profesionales a cargo del monitoreo glaciar, son fundamentales. La metodología para el análisis de los resultados se realiza mediante reuniones del equipo de trabajo, y se desarrolla de la siguiente manera:

- a. Revisión de las delimitaciones: el grupo de trabajo revisa la delimitación de todos los fragmentos glaciares en el software especializado en SIG (ArcGis) y los contrasta con las delimitaciones realizadas en iteraciones anteriores, el resultado final debe ser lógico y coherente de acuerdo a las capas vectoriales históricas de cada glaciar.
- b. Verificación y validación de los resultados: se verifica que los resultados obtenidos se encuentran almacenados correctamente en la Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® tabla oficial de áreas y cambios de

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 53 de 88

cobertura glaciar. Posteriormente se contrastan los datos obtenidos con los resultados esperados de acuerdo al comportamiento histórico de cada cada glaciar y al comportamiento del clima. Se verifica la consistencia de las variables y la completitud de los datos. Para este proceso se revisan fotografías y videos tomadas en campo y la información de las estaciones meteorológicas cercanas.

Una vez se validan los datos en la Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® tabla oficial de áreas y cambios de cobertura glaciar, se grafican los resultados.

- c. Cálculo de incertidumbres: este cálculo se realiza en la Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Cálculo de incertidumbres por cada glaciar y posteriormente se calcula a nivel nacional, teniendo en cuenta los insumos utilizados para las delimitaciones.
- d. Consulta a expertos: los datos obtenidos y analizados por el grupo de profesionales a cargo del monitoreo glaciar, se comparten con expertos, quienes tienen la experiencia, el conocimiento, e información valiosa que ayuda a que el dato final sea lo más cercano a la realidad posible, este proceso se realiza mediante correos electrónicos por parte del líder temático solicitando a cada experto su verificación, la respuesta es plasmada en informes ejecutivos cortos, actas de reuniones, fotografías o videos.

### Herramientas tecnológicas

Las herramientas tecnológicas necesarias son iguales a las descritas en el numeral 2.5.1 tendiente a la estructura operativa y tecnológica para la recolección.

En relación a las variables a anonimizar (según definición en ítem 3.5.1 de la NTCPE 1000 y acorde con título 6.7.4 de la misma), es pertinente aclarar que, dado que no se trata información sensible, no se requiere llevar a cabo un proceso de anonimización de microdatos.

Una explicación más amplia del análisis de información se encuentra en el capítulo 6 (Análisis) de este documento.

## 2.8 Diseño de la difusión (Sección 6.8)


La información producto de la Operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar debe ser de conocimiento público y general. Este subproceso define el diseño de los criterios técnicos para la comunicación, difusión y publicación de los resultados del proceso estadístico, así como las estrategias necesarias para hacerlo.

- ✓ Antes de iniciar con la operación estadística, se debe verificar que los documentos publicados se encuentren en la última versión en el SGI con fin de contar con los últimos lineamientos.

### Cuadros de salida y productos a difundir

Las estrategias principales de difusión (almacenamiento, mantenimiento y actualización) van 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.

Conforme las necesidades de información y el objetivo de la operación estadística, los mecanismos o formas de difusión de la información estadística son múltiples. El área y cambio de cobertura glaciar se difunde a manera de informes, cuadros de salida acordes con los descritos en el numeral 2.3.8 y resultados, gráficos, bases de datos o mapas temáticos. Los principales resultados son documentos escritos tipo informe técnico acorde con las actividades

 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 54 de 88

descritas en el *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*. El principal medio de difusión es la página web institucional

### Calendario de difusión

La OE ACCG cuenta con un *calendario para la difusión de la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar* en aras de asegurar la oportunidad de la difusión de la información. Se utiliza el formato de código M-GCI-F009, en el cual se establecen las fechas límites para los principales productos de difusión.

Las consideraciones para las publicaciones están establecidas en el Calendario de Difusión de la Operación Estadística disponible en el Mapa de Procesos del SGI. (Proceso: Generación de Conocimiento e Investigación /Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar)

### Actividades para la difusión

En línea con las políticas operacionales del documento *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, la información producida que se divulga, socializa y apropia mediante la página web, lo es previa aprobación por parte del Comité Científico del IDEAM. Una vez surtida, los documentos son remitidos al Comité Editorial, los cuales son editados por el grupo de Comunicaciones y Prensa para luego ser socializados y divulgados.

### Forma de presentación de la información

Los principales productos entregados son:

1. Informe periódico del estado de los glaciares colombianos.
2. Indicador ambiental Área y Cambio de Cobertura Glaciar

Estos reportes bienales se socializan y divulgan durante el último trimestre del año en razón a la dificultad en cuanto el cálculo, escritura de informes y aprobación de los mismos. Los documentos con los resultados finales son elaborados teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Utilizar siempre las mismas unidades de medida (km<sup>2</sup>)
- Las gráficas deben tener título claro, concreto y especificar el periodo.
- Estos informes deben contener al menos: presentación, resultado del monitoreo glaciar, descripciones de cada glaciar y conclusiones.

La forma de presentación de los productos es principalmente en formato digital. La información de la OE ACCG utiliza como sistema de salida principal la página web del IDEAM en su componente de glaciares (<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares>). Este sitio web principal contiene las siguientes páginas públicas, cada una con diferente contenido web y documentos y multimedia acorde con el seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia, con información actualizada de la operación estadística.

- *Indicador ambiental área y cambio de cobertura glaciar*: página con la batería de indicadores del IDEAM, por medio de los cuales se establecen los indicadores mínimos que buscan apoyar la generación de conocimiento, y servir como herramienta en la toma de decisiones informadas a través de la generación de información estratégica organizada de forma sintética y producida periódicamente (IDEAM, 2020 E). La difusión del indicador ACCG se compone de una hoja metodológica, datos y gráfica. (<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas1>)

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 55 de 88

- *Documentos de interés:* Se divulgan documentos relacionados con el trabajo y la investigación glaciológica, que incluyen artículos, libros o informes relacionados con la información producida por el proceso estadístico. En este espacio se divulgan los *Informes del estado de los glaciares de estudio* y el *Informe periódico del estado de los glaciares colombianos* (<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/investigacion-publicaciones>)

### Instrucciones para la lectura, interpretación y uso de la información

Las instrucciones para la lectura, interpretación y uso de la información son publicadas en función del producto divulgado. El *Indicador ambiental área y cambio de cobertura glaciar* cuenta con una hoja metodológica con las debidas instrucciones para el usuario en los tres aspectos. A su vez, la información general de glaciares y de cada masa glaciar en la página web institucional está redactada de manera sencilla de fácil comprensión, la cual es un soporte de lectura e interpretación de resultados. Finalmente, productos como el *informe periódico del estado de los glaciares colombianos* cuenta con página legal que especifica el uso de la información. La página web institucional se rige por las condiciones de uso en el marco de una institución de carácter público y miembro del SINA.

### Canales y medios de difusión

Se prevén múltiples mecanismos o formas de difusión de la información estadística. No obstante, el principal canal de difusión es el Internet, por medio de la página web institucional de la entidad. Una explicación más amplia del análisis de información se encuentra en el capítulo 7 (Difusión) de este documento.

### Metadatos de la operación estadística

La estructura documental de la OE ACCG que contiene todos los metadatos de la información es publicada en el mapa de procesos del Sistema de Gestión Integrado del IDEAM. Igualmente, la publicación del *Indicador ambiental área y cambio de cobertura glaciar* cuenta con una hoja metodológica con los debidos metadatos de la información.


### Asesoría a usuarios de la información estadística

La promoción de los productos está a cargo de la Oficina de Comunicaciones. Regularmente la publicación y difusión de información del IDEAM tiene un impacto en la sociedad, a partir de la cual diversos medios de comunicación o prensa, pueden solicitar detalles, aclaraciones o entrevistas. En este caso se sigue el *protocolo para la atención a medios de comunicación* (E-GC-PR001) y el *procedimiento y logística apoyo actividades difusión información* (E-GC-P003).

Las solicitudes de usuarios externos son canalizadas por medio de los instrumentos descritos en la primera fase de la operación: detección y análisis de necesidades. Adicionalmente, frente a cualquier soporte a usuarios se cuenta con lo estipulado en el *procedimiento de servicio al ciudadano* (M-AC-P001).

## 2.9 Diseño de flujos de trabajo (Sección 6.9)

El equipo de trabajo se encuentra conformado por un Profesional Especializado (líder temático), el cual se encarga de la coordinación de los aspectos administrativos, logísticos y de apoyo tanto en oficina como en campo. A su vez, se conforma un equipo de Profesionales a cargo del monitoreo glaciar, los cuales son investigadores de apoyo que

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 56 de 88

proviene de diferentes disciplinas y el número de ellos puede variar dependiendo de los requerimientos de las actividades glaciares y la disponibilidad de recursos por parte de la entidad.

Idealmente son tres profesionales quienes desarrollan en conjunto las actividades de captura e información glaciológica incluyendo el responsable de la operación estadística. Es necesario recalcar que dicho personal responde en su totalidad al *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, por lo cual, cada uno de ellos tiene a su cargo temas específicos y adicionales a la operación estadística como el análisis espacial y el procesamiento de Sistemas de Información Geográfica, investigación y apoyo en diversos temas de ecosistemas de alta montaña, glaciología en general, realización de informes hidrometeorológicos, entre otras actividades.

Adicionalmente, se establece y conserva el siguiente cronograma de actividades, el cual aplica a cualquier iteración de la operación estadística y en el que se vislumbra la longitud de los tiempos requeridos para la consecución de todo el proceso<sup>11</sup>. Los tiempos dispuestos en el cronograma son una guía para el flujo de trabajo, pero no representan fechas obligatorias; esto debido a que usualmente varias de las actividades dependen de otras dependencias o instituciones diferentes al grupo a cargo del monitoreo glaciar.

Cronograma general - OE ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR NACIONAL	
✓ año anterior (n-1)	Disposición de los mecanismos actualizados para la fase de detección y análisis de necesidades. Aplicación de la encuesta a usuarios y elaboración del informe de necesidades.
✓ año anterior (n-1)	Gestión administrativa para la adquisición y salvaguarda de imágenes y contratación de personal. Confirmación del plan general y calendario de difusión.
✓ año anterior (n-1)	Confirmación o actualización (si aplica) de las fases de diseño y construcción, lo cual incluye revisión de la metodología y realización de pruebas. Confirmación del funcionamiento de todo el sistema de producción.
✓ enero-marzo año n	Fase de recolección: toma, adquisición e interpretación de imágenes.
✓ abril - mayo año n	Fase de recolección: procesos de relación de bandas y delimitación de áreas.
✓ junio - septiembre año n	Fases de procesamiento y análisis: generación de indicadores estadísticos.
✓ octubre - noviembre año n	Fase de análisis de la información (consistencia y coherencia), aprobación y socialización interna.
✓ diciembre año n	Cierre de archivo de datos mediante actualización base de datos.
✓ diciembre año n - febrero año n+1	Elaboración de productos: actualización indicador SIA, preparación documentación GLIMS (si aplica), redacción del 'Informe del estado de los glaciares año n'.
✓ marzo - julio año n+1	Difusión de productos: actualización página web glaciares, publicación y lanzamiento del informe, oficialización de cartografía.
✓ agosto - diciembre año n+1	Envío información a usuarios internacionales (si aplica): GLIMS, WGMS.
✓ agosto - diciembre año n+1	Evaluación interna (retroalimentación, indicadores de evaluación a nivel de IDEAM como auditorías internas).

Tabla 4. Esquema de cronograma general.

<sup>11</sup> En el cronograma general, el año denominado n se refiere al año del reporte de los datos del área glaciar nacional.



Finalmente se establecen de manera esquemática las entradas y salidas de cada uno de los procesos y subprocesos desarrollados en la OE ACCG, tal como se aprecia en la gráfica:

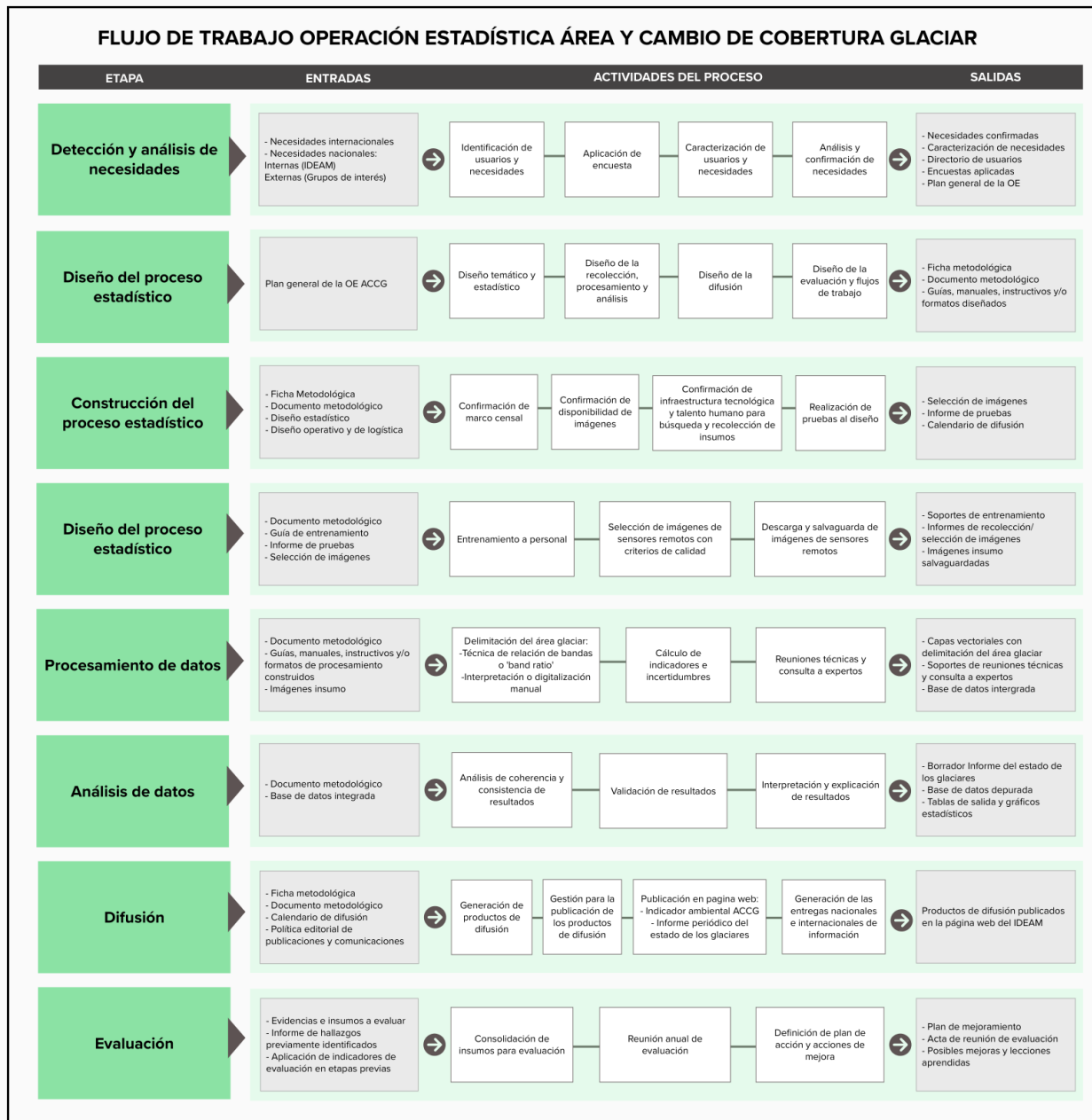



Figura 14. Flujo de trabajo Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar.

## 2.10 Finalización de archivo de datos (Sección 6.10)

El cierre del archivo de datos para las fases de recolección, procesamiento y análisis se da mediante la actualización de la *hoja de cálculo de Microsoft Excel® base de datos de áreas y cambios de cobertura glaciar* al final de la iteración completa de la operación estadística. Los campos y las características de dicha base, deben corresponder a los

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 58 de 88

campos diseñados en la fase de ‘cuadros de salida’ de este documento. Adicionalmente, los productos incluidos en la fase de difusión se consideran finalizados una vez surte la publicación y deben ser salvaguardados en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.

Para el caso de la publicación oficial ‘Informe periódico del estado de los glaciares’, su finalización se lleva a cabo mediante la publicación en el portal web del IDEAM de Publicaciones de toda la entidad, a saber:

<http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/publicaciones-ideam>

## 2.11 Diseño de las pruebas (Sección 6.11)

Se contempla como lugar de aplicación de las pruebas la sede principal del IDEAM- Bogotá, las cuales deben ser realizadas en la primera iteración o cuando se presenten cambios al diseño de la Operación Estadística. Las pruebas deben ser desarrolladas al terminar cada fase contando con recursos físicos, financieros y con la capacidad computacional de la sede central del IDEAM y como recursos humanos con un Profesional del Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña.

Para la aplicación de las pruebas se debe basar en el formato M-GCI-E-F019, que se encuentra en el mapa de procesos dentro del proceso misional generación de conocimiento e investigación y los resultados de las pruebas son consignados en un informe de pruebas bajo la estructura de la “Guía para la elaboración de informes finales de pruebas a los componentes de las operaciones estadísticas” del DANE.


## 2.12 Diseño de la evaluación del desempeño (Sección 6.12)

La OE ACCG hace parte del proceso misional “Generación de conocimiento e investigación”, enmarcado dentro de las actividades ejecutadas en la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. En el Plan de Acción Anual (PAA) del Instituto, para el Grupo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña, adscrito a la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, se contempla la actividad “Fortalecer el monitoreo de los ecosistemas de la alta montaña de Colombia” y para dar cumplimiento a esta, se tiene formulada la acción “Certificar la operación estadística “Área y cambio de cobertura glaciar”. Las acciones de dicho PAA están sujetas a seguimiento por parte de la Oficina Asesora de Planeación-OAP.

Adicionalmente, acorde con la NTC PE: 1000:2020, se contempla la evaluación de las fases de detección y análisis de necesidades, diseño, construcción, procesamiento, análisis, difusión y evaluación final, mediante una lista de indicadores y criterios mínimos de evaluación, mediante los cuales se confirma el cumplimiento y alcance de objetivos, así como eventuales procedimientos o ejecución de acciones que den cuenta de dicha verificación y responsable de la misma.

### Fase 1. Detección y Análisis de Necesidades.

Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Justificación de los usuarios y mecanismos de consulta seleccionados	Decisión	Acta de reunión donde se justifiquen los usuarios y mecanismos de consulta.	Solo se debe evaluar en la 1 iteración o si existe un rediseño y debe ser	Líder temático/ Apoyo temático

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 59 de 88

			evaluada al culminar la fase.	
Mecanismos de consulta implementados	Uso/accesibilidad	Información relevante obtenida al aplicar los mecanismos de consulta.	Solo se debe evaluar en la 1 iteración o si existe un rediseño y debe ser evaluada al culminar la fase.	Líder temático/ Apoyo temático
Caracterización de necesidades de información y de usuarios del ACCG” y necesidades priorizadas.	Decisión	Formato “M-GCI-E-F15 Caracterización de necesidades de información del ACCG” actualizado.	Solo se debe evaluar en la 1 iteración o si existe un rediseño y debe ser evaluada al culminar la fase	Líder temático/ Apoyo temático

**Decisión:** Se refiere a la precisión de seleccionar los usuarios externos e internos y mecanismos de consulta.

**Uso:** Se refiere a que los mecanismos implementados, se han los más usados por los usuarios externos e internos, es decir útiles para la consulta de necesidades.


**Accesibilidad:** Se refiere a que no se presente fallas o se presente algún impedimento para que los usuarios externos e internos accedan a los mecanismos de consulta.

**Decisión:** Se refiere a que se tomen las necesidades de información estadística precisas y se enfoque (en el contexto) la Operación Estadística y a los usuarios externos e internos y mecanismos de consulta.

## Fase 2. Diseño

Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Entrenamientos realizados en ACCG (Número de entrenamientos realizados en ACCG).	Calidad de insumos / Aplicabilidad	Documento Guía de entrenamiento para la operación estadística área y cambio de cobertura glaciar. Actas de reunión y/o entrenamiento (documentos soporte de entrenamiento).	según cambio de personal profesional	Líder temático OE
Planeación de la difusión -ACCG (Cumplimiento en la programación de difusión del ACCG).	Uso Exhaustividad Cumplimiento	Calendario de difusión.	Anual	Profesionales a cargo de la OE ACCG

Tabla 6. Indicadores de evaluación de fase de diseño.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 60 de 88

### Fase 3. Construcción

Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Documentos elaborados y/o actualizados. (No. Documentos elaborados y/o actualizados).	Descripción documental	Manuales, Instructivos, Guías, Procedimientos, Protocolos, Formatos u otros documentos, elaborados y/o actualizados.	Anual	Profesionales a cargo del ACCG
Hoja metodológica y hoja de cálculo Indicador Ambiental ACCG	Uso / Aplicabilidad	Formatos de hoja metodológica y hoja de cálculo Indicador Ambiental ACCG elaborados.	Anual	Profesional Especializado (líder temático) Profesionales a cargo del ACCG

Tabla 7. Indicadores de evaluación de fase de construcción.

### Fase 4. Recolección


Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Adquisición de imágenes digitales. (Compleitud de imágenes digitales adquiridas)	Calidad de insumos	Formato de recolección de imágenes y delimitaciones  Imágenes digitales disponibles y salvaguardadas.	Bienal	Profesionales a cargo del ACCG
Aplicación de Metodología para el cálculo de ACCG	Uso / Aplicabilidad	Informe de cálculo de área glaciar para un año determinado  Delimitaciones bordes glaciares en formato vectorial disponibles y salvaguardadas.	Bienal	Profesionales a cargo del ACCG

Tabla 8. Indicadores de evaluación de fase de recolección.

### Fase 5. Procesamiento

Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Estimación de ACCG nacional y por cada glaciar	Funcionalidad / Aplicabilidad	Tabla oficial y base de datos ACCG completas y diligenciadas	Bienal	Profesionales a cargo del ACCG

Tabla 9. Indicador de evaluación de fase de procesamiento.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 61 de 88

#### Fase 6. Análisis

Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Generación de cuadros de salida ACCG nacional y por cada glaciar	Funcionalidad / Aplicabilidad	Cuadro de salida completo y diligenciado  Gráficas de ACCG elaboradas	Bienal	Profesionales a cargo del ACCG

Tabla 10. Indicador de evaluación de fase de análisis.

#### Fase 7. Difusión

Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Publicaciones bienales de ACCG (No. de documentos publicados sobre ACCG)	Disponibilidad y acceso de información generada a grupos de interés.  Facilidad de acceso	Informe periódico del estado de los glaciares colombianos publicado.  Indicador ambiental ACCG, publicado.	Bienal	Líder temático OE  Profesionales a cargo del ACCG

Tabla 11. Indicador de evaluación de fase de difusión.


#### Fase 8. Evaluación del desempeño

Indicador/ criterio de evaluación	Criterio de calidad	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Cumplimiento de los objetivos de la operación estadística.	Claridad / Exhaustividad	Reunión anual de evaluación (Subdirector (a) - Coordinador(a) - Líder temático).	Anual	Subdirector (a), Coordinador (a), Profesional Especializado (líder temático)

Tabla 12. Indicador de evaluación de fase de evaluación del desempeño

El IDEAM, a través de la oficina asesora de planeación y dando alcance al numeral 6.12.2 de la Norma técnica NTC PE 1000/2020, realiza seguimiento mensual al plan de acción anual, dentro del cual está contemplada la actividad “Monitorear de manera integral los ecosistemas de la alta montaña de Colombia”, asegurando que los mecanismos de evaluación del desempeño del proceso estadístico son consistentes con los mecanismos de seguimiento institucional.

A través de estos mecanismos, se detectan las fortalezas, las debilidades y las oportunidades de mejora en las distintas fases del proceso estadístico para retroalimentar la operación estadística en sus iteraciones posteriores.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 62 de 88

### 3 CONSTRUCCIÓN (CAPÍTULO 7)

#### 3.1 Marco estadístico (Sección 7.1)

Por condiciones geológicas y climáticas, a diferencia de países como España, Venezuela o México, en donde los últimos glaciares de estos países se encuentran en el mismo sistema montañoso -Pirineos, Sierra de Mérida y Eje Volcánico Transversal, respectivamente-, los glaciares colombianos se distribuyen en cuatro zonas de sur a norte del país, en tres sistemas montañosos diferentes y a lo largo de diez departamentos. A pesar de este último punto, los glaciares de montaña se ubican en las zonas de mayor altitud, generalmente en líneas divisorias de aguas y sobre los límites departamentales. Por este motivo y teniendo en cuenta el diseño estadístico, no es necesario ni pertinente el uso de marcos como el de la división político-administrativa de Colombia (Divipola).

El marco estadístico, por tanto, está conformado por las seis masas glaciares actuales del territorio colombiano, las cuales se describen en el numeral 2.4.5 acordes con el siguiente marco geográfico:

*Tabla 13. Marco estadístico*

Nevado	Rango latitudinal	Rango longitudinal
Sierra nevada de Santa Marta	10° 55'N - 10° 45'N	73° 46'W - 73° 32'W
Sierra nevada El Cocuy o Güicán	6° 20'N - 6° 35'N	72° 20'W - 72° 17'W
Volcán nevado del Ruiz	4° 51'N - 4° 56'N	75° 21'W - 75° 17'W
Volcán nevado Santa Isabel	4° 47'N - 4° 50'N	75° 23'W - 75° 21'W
Volcán nevado del Tolima	4° 39'N - 4° 41'N	75° 20'W - 75° 18'W
Volcán nevado del Huila	2° 53'N - 2° 58'N	76° 3'W - 76° 00'W


Este marco se mantiene y actualiza únicamente en la medida de la eventualidad de la desaparición completa de alguna de estas masas de hielo. Finalmente, este marco estadístico, al tratarse de pocas unidades y de común conocimiento, asegura que contiene la totalidad de las unidades que conforman la población.

#### 3.2 Instrumentos de recolección (Sección 7.2)

El principal instrumento de recolección para las imágenes satelitales y las delimitaciones producto de su interpretación es el *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*. El diligenciamiento de este cuestionario permite obtener los datos requeridos para continuar con las siguientes fases del proceso estadístico.

Este instrumento se compone de los siguientes 4 módulos de información:

1. Módulo de búsqueda y selección de imágenes
  - a. Información general.
    - i. Fecha de registro.
    - ii. Responsable.
    - iii. Iteración.
    - iv. Glaciar.
  - b. Búsqueda.
    - i. Función de las imágenes.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 63 de 88

- ii. Número de imágenes seleccionadas.
    - iii. Tipo de insumo.
    - iv. Fuente.
  - c. Selección.
    - i. Fecha de la toma.
    - ii. Vista previa.
    - iii. Chequeo de cumplimiento de criterios técnicos (Complejidad marco geográfico, resoluciones espacial, espectral y radiométrica, nubosidad, nieve estacional).
    - iv. Nivel de procesamiento.
2. Módulo de delimitación.
  - a. Fecha de delimitación.
  - b. Responsable.
3. Módulo de control y supervisión de la información recolectada.
  - a. Fecha de la supervisión.
  - b. Verificación completitud de marco estadístico.
  - c. Verificación de consistencia.
  - d. Verificación calidad general.
4. Módulo de salvaguarda de la información recolectada.
  - a. Nombre de imagen.
  - b. Link de acceso a la imagen.
  - c. Nombre de la capa vectorial
  - d. Link acceso capa vectorial.

Para el caso de la recolección de datos en forma de capas vectoriales, el instrumento necesario se relaciona con la estructura operativa y tecnológica descrita en el numeral 2.5.1, particularmente en lo relativo a los Programas computacionales especializados para el procesamiento de imágenes de satélite tales como los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis, Erdas, Qgis, etc.).


### 3.3 Desarrollo del software aplicativo de la operación estadística (Sección 7.3)

No existe ni se vislumbra necesario el desarrollo de un software aplicativo dentro de la entidad productora. Si bien el IDEAM ha desarrollado el Cubo de Datos de imágenes de satélite para Colombia como un pilar del monitoreo de los recursos naturales en el país, el mismo tiene varias restricciones que provocan que no sea adoptado como software aplicativo. Por las razones expuestas a continuación, la OE ACCG no utiliza el Cubo de Datos para la fase de procesamiento:

- Está basado en algoritmos que no permiten la aplicación de la metodología de relación de bandas diseñada para la OE ACCG.
- Actualmente la plataforma solo usa imágenes Landsat de 15 metros de resolución en el mejor de los casos (el criterio mínimo para imágenes destinadas a delimitación manual es 5 metros).

### 3.4 Elaboración de materiales para la recolección (Sección 7.5)

De acuerdo al diseño de la recolección, los productos cartográficos necesarios, rutas de recolección y áreas de trabajo están relacionados sencillamente con la cobertura geográfica de la operación estadística. La completitud del marco estadístico se soporta mediante la elaboración y diligenciamiento del Formato *de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*. La sensibilización se explica en el numeral 2.5.5 Los materiales

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 64 de 88

necesarios para el entrenamiento se construyen según lo descrito en la *Guía de entrenamiento para la operación estadística área y cambio de cobertura glaciar*.

### 3.5 Construcción de los flujos de trabajo (Sección 7.6)

La configuración de los flujos de trabajo se adecúa a lo descrito en el numeral 2.9. (diseño de los flujos de trabajo) de este documento. Adicionalmente, se reseña la arquitectura general documental de toda la operación:

1. *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia.*
2. *Protocolo para la detección y análisis de necesidades de información de la dinámica glaciar en Colombia.*
3. *Formato de caracterización de necesidades de información glaciológica.*
4. *Formato de directorio de usuarios de información glaciológica.*
5. *Plan general para la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar.*
6. *Ficha metodológica de la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar.*
7. *Guía metodológica para la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar.*
8. *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos.*
9. *Guía para el cálculo del área glaciar mediante el uso de productos de sensoramiento remoto.*
10. *Guía de entrenamiento para el cálculo del área y cambio de cobertura glaciar.*
11. *Formato matriz de riesgo (E-SGI-F006) del IDEAM*
12. *Calendario de difusión para la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar.*

### 3.6 Pruebas (Sección 7.7)

De ser necesario, en esta fase del proceso se realiza la aplicación de las pruebas diseñadas en el numeral 2.11. (Diseño de las pruebas) de este documento. El plan de pruebas está compuesto por la aplicación correcta de las pruebas caracterizadas en dicho numeral. Las conclusiones de las pruebas, así como las acciones necesarias a partir de los resultados son consignadas en un informe final de pruebas. Las evidencias de la realización de estas acciones se salvaguardan en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.

## 4 RECOLECCIÓN (CAPÍTULO 8)


Se procede con la fase de recolección de acuerdo a lo diseñado y construido.

### 4.1 Actividades previas a la recolección (Sección 8.1)

#### 4.1.1 Entrenamiento (Título 8.1.1)

En primer lugar y cuando es necesario, se realiza el entrenamiento del personal involucrado de acuerdo a la *Guía de entrenamiento para la operación estadística área y cambio de cobertura glaciar*; este documento indica las actividades de entrenamiento necesarias. Las evidencias del entrenamiento se conservan en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.



	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 65 de 88

#### 4.1.2 Sensibilización (Título 8.1.2)

Las actividades de sensibilización se detallan en el numeral 2.5.5.

#### 4.2 **Recolección de datos (Sección 8.2)**

La actividad de recolección supone en primer lugar la búsqueda, selección y control y supervisión de imágenes de los glaciares colombianos. En segundo lugar, implica la aplicación del método de cálculo de áreas glaciares y la obtención de vectores en formato de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que suministren el dato del indicador estadístico Área glaciar. En resumen, la obtención de áreas glaciares se lleva a cabo en dos grandes etapas: una primera de aplicación de la técnica de relación de bandas o *band ratio* y posteriormente una delimitación manual. La aplicación de este método es explicada en su totalidad en la *Guía para el cálculo del área glaciar mediante el uso de productos de sensoramiento remoto*.

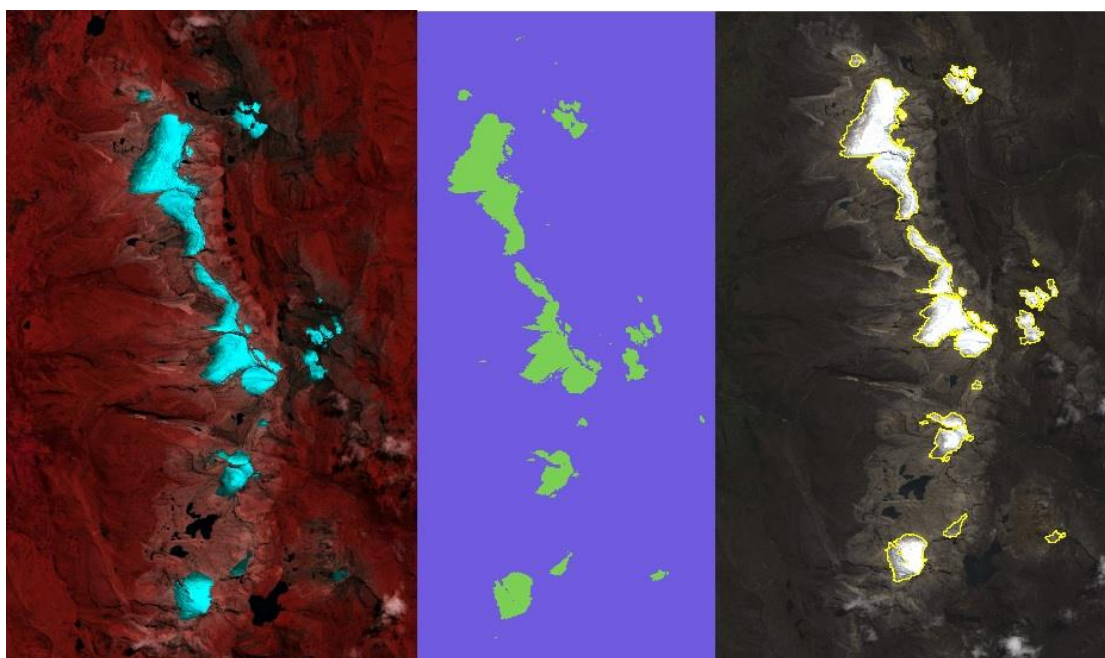



Figura 15. Ejemplo visual sobre la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (2021) de la aplicación del método de cálculo de área glaciar. A la izquierda, imagen satelital óptica seleccionada con combinación de bandas. Al centro, ráster binario producto del método de relación de bandas. A la derecha, vector en amarillo producto de aplicación de método de delimitación manual.

De acuerdo a lo diseñado se realiza el correcto diligenciamiento y salvaguarda del *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*, así como de las capas vectoriales en la nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive ® destinado para este fin.

#### 4.3 **Control en la recolección de datos (Sección 8.3)**

El control en la recolección se realiza mediante el módulo de control y supervisión realizado por el líder temático de la operación estadística en el *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*. Esta revisión y confirmación permite verificar que los datos recolectados son válidos y consistentes para continuar con el procesamiento o cálculo del área glaciar. Finalmente, se consolidan los datos en el formato antes mencionado,

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 66 de 88

incluyendo los enlaces al repositorio donde se encuentran las imágenes salvaguardadas. El control de la información recolectada en forma de datos vectoriales en capas se realiza mediante reuniones del equipo de trabajo (líder temático y profesionales a cargo del monitoreo glaciar) al final de la recolección.

## 5 PROCESAMIENTO (CAPÍTULO 9)

En esta fase se explican las actividades y tareas del procesamiento de las imágenes y de la información para el cálculo del área y cambio de cobertura glaciar.


### 5.1 Integración de datos y generación de resultados (Sección 9.1)

Al final de la etapa de recolección se obtienen capas vectoriales de Área glaciar ( $AG_{it}$ ) para cada uno de los nevados colombianos a partir de los cuales, mediante el uso correcto de Sistemas de Información Geográfica, se obtiene un dato numérico de área en kilómetros cuadrados de cada uno de los vectores, contenido en la tabla de atributos de cada uno de los objetos espaciales, los cuales se consolidan en la hoja de cálculo de Microsoft Excel® tabla oficial de áreas y cambios de cobertura glaciar.

	Volcán-Nevado del Huila		Volcán-Nevado del Tolima		Volcán-Nevado Santa Isabel		Volcán-Nevado del Ruiz		Sierra Nevada El Cocuy o Gúicán		Sierra Nevada de Santa Marta	
1850	1850	33,70	1850	8,60	1850	27,80	1850	47,50	1850	148,70	1850	81,59
40s-70s	1959	17,50	1946	3,10	1946	10,80	1959	21,00	1955	38,90	1939	21,40
	1965	16,30	1958	2,70	1959	9,40	1975	19,60			1954	20,39
	1981	15,40					1985	18,70			1981	16,10
80's			1987	1,60	1987	6,40	1986	17,00	1985	35,70	1989	12,00
	1990	13,90					1990	14,10				
90's	1996	13,30	1997	1,18	1996	5,30	1997	11,76	1994	23,70	1995	12,21
	2001	12,95	2002	1,038	2002	3,33	2002	10,32	2003	19,80	2002	7,94
2000's			2006	0,937	2006	2,69						
	2007	10,8	2007	0,93	2007	2,6	2007	10,04	2007	18,6	2007	7,70
									2008	17,7		
	2009	10,06							2009	17,4	2009	7,40
	2010	9,7	2010	0,75	2010	1,91	2010	10,32	2010	16,5	2010	8,17
					2014	1,14	2014	9,20				
			2015	0,67					2015	15,08	2015	7,12
	2016	7,72	2016	0,63	2016	1	2016	9,26	2016	14,35	2016	7,10
	2017	7,37	2017	0,59	2017	0,65	2017	8,88	2017	13,75	2017	6,54
					2018	0,63						
2019	7,13	2019	0,55	2019	0,51	2019	8,39	2019	13,46	2019	6,22	
2020	6,74	2020	0,52	2020	0,45	2020	8,14	2020	13,19	2020	5,81	
2021	6,52	2021	0,50	2021	0,35	2021	7,96	2021	12,99	2021	5,53	

Figura 16. Hoja de cálculo con datos de Área glaciar ( $AG_{it}$ ) integrados producto de la recolección en las tablas de atributos.

Posteriormente y acorde con lo diseñado, son calculados los indicadores estadísticos: Área glaciar y Variación de la cobertura glaciar. La presentación del indicador Área glaciar incluye el Área glaciar por nevado ( $AG_{it}$ ) y el Área Glaciar Nacional (AGN).

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 67 de 88

Área Glaciar Nacional (AGN)							
Periodo	Sierra nevada de Santa Marta (Chundua)	Sierra nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma)	Volcán nevado del Ruiz (Kumanday)	Volcán nevado Santa Isabel (Poleka Kasue)	Volcán nevado Tolima (Dulima)	Volcán nevado del Huila (Wila)	Total Colombia
	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )
±1850	82,60	148,70	47,50	27,80	8,60	33,70	348,90
50's	19,40	38,90	21,00	9,40	2,70	17,50	108,90
80's	14,05	35,70	17,85	6,40	1,60	15,40	91,00
90's	11,10	23,70	12,93	5,30	1,18	13,60	67,81
2010	8,17	16,50	10,32	1,91	0,75	9,70	47,20
2016	7,10	14,35	9,26	1,00	0,63	7,72	39,54
2017	6,54	13,75	8,88	0,65	0,59	7,37	36,65
2019	6,22	13,46	8,39	0,51	0,55	7,13	36,26
2020	5,81	13,19	8,14	0,45	0,52	6,74	34,85
2021	5,53	12,99	7,96	0,35	0,50	6,52	33,85

Figura 17. Hoja de cálculo con resultados generados de datos de Área Glaciar Nacional (AGN) en la última columna a la derecha.

Igualmente, para el indicador Variación de la cobertura glaciar, se presenta la variación por nevado ( $VCG_i$ ) y el cambio a nivel nacional (VCGN):

Variación de la cobertura glaciar (VCG <sub>i</sub> ) y Variación de la cobertura glaciar Nacional (VCGN) Cambios absoluto (km <sup>2</sup> ) y relativo(%) x glaciar y de Colombia respecto a mediciones anteriores							
	Sierra nevada de Santa Marta (Chundua)	Sierra nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma)	Volcán nevado del Ruiz (Kumanday)	Volcán nevado Santa Isabel (Poleka Kasue)	Volcán nevado Tolima (Dulima)	Volcán nevado del Huila (Wila)	Total Colombia
2016 a 2017	-0,56	-0,60	-0,38	-0,35	-0,04	0,35	2,89
	-7,9%	-4,2%	-4,1%	-35,0%	-6,3%	4,5%	7,3%
2017 a 2019	-0,32	-0,29	-0,49	-0,14	-0,04	0,25	0,39
	-4,9%	-2,1%	-5,5%	-21,5%	-6,8%	3,3%	1,1%
2019 a 2020	-0,41	-0,27	-0,25	-0,06	-0,03	0,39	1,41
	-6,6%	-2,0%	-3,0%	-11,8%	-5,5%	5,4%	3,9%
2020 a 2021	-0,28	-0,20	-0,18	-0,10	-0,02	0,22	1,00
	-4,8%	-1,5%	-2,2%	-22,0%	-4,2%	3,2%	2,9%


Figura 18. Hoja de cálculo con resultados generados de Variación de la cobertura glaciar (VCG<sub>i</sub>) y Variación de la cobertura glaciar Nacional (VCGN)

## 5.2 Clasificación y codificación (Sección 9.2)

La clasificación y codificación es importante para los datos geográficos de las Áreas glaciares de los distintos nevados. Para ello se tiene en cuenta la clasificación y nomenclatura internacional del GLIMS previamente descrita en el numeral 2.3.3, así como el sistema geográfico GCS\_MAGNA (wkid: 4686) y el sistema de coordenadas planas/proyectadas MAGNA\_Colombia\_Bogotá (wkid: 3116), utilizado para la cartografía oficial del IDEAM.

## 5.3 Revisión y validación de datos (Sección 9.3)

La revisión y validación de los datos procesados se realiza acorde con el diseño, según lo expuesto en el numeral 2.6.


	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 68 de 88

#### 5.4 Finalización de los archivos de datos (Sección 9.6)

La información de salida procesada en diferentes tablas de cálculo se consolida en una base de datos depurada denominada *hoja de cálculo de Microsoft Excel® base de datos de áreas y cambios de cobertura glaciar*, que contiene el área glaciar en kilómetros cuadrados y el cambio del área glaciar en kilómetros cuadrados, desagregada por cada uno de los seis glaciares y para Colombia. Esta base de datos depurada permite la identificación de los datos de manera muy sencilla; esto en términos de nombre y descripción de los campos, así como características básicas y reglas de validación de estos campos. Dicha base de datos contiene los siguientes campos y características básicas:

Nombre de la variable o columna	Descripción de la variable	Tipo de dato	Criterio de validación del campo
Cob_Geografica	Cobertura geográfica en forma del nombre geográfico del glaciar medido o unidad de observación, según sea cada zona glaciar o el total para Colombia	Cadena	El campo no debe ser nulo, y solo admiten alguno de los seis nombres de los glaciares
Año	Año en que se realiza la medición y fue tomada la imagen base del cálculo de sensoramiento remoto	Entero	El campo no debe ser nulo. Es un número mayor de 1850 y menor al año en que se está realizando el reporte. Los datos de años venideros deben ser mayores o iguales al último dato registrado
Área_km2	Área del glaciar en Kilómetros cuadrados para cada cobertura geográfica según sea un glaciar en particular o Colombia en su totalidad. Cálculo de la variable área glaciar y el indicador área glaciar nacional.	Numérico	El campo no debe ser nulo, y debe ser un número real mayor a cero y menor de 148,7 (máximo de área glaciar nacional en Pequeña Edad de Hielo-PEH)
Cambio_Cob_km2	Cambio que tuvo cada cobertura geográfica según sea un glaciar en particular o Colombia en su totalidad, entre dos períodos de tiempo, en términos absolutos y respecto a la medida inmediatamente anterior en el tiempo. Cálculo del indicador cambio de cobertura.	Numérico	El campo debe ser un número real.

Tabla 14. Campos y características de la base de datos depurada.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 69 de 88

## 6 ANÁLISIS (CAPÍTULO 10)

El análisis es la fase del proceso estadístico en la que se examina la consistencia y la coherencia de la información consolidada y se generan los productos definidos en el diseño. Siguiendo los criterios metodológicos definidos en el numeral 2.7. (Diseño del análisis) el equipo profesional de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia realiza el análisis de información de Área y Cambio de Cobertura Glaciar teniendo en cuenta los siguientes elementos.

### 6.1 Consistencia y coherencia de los resultados (Sección 10.1 y 10.4)

Para fortalecer el análisis de los resultados en términos de la verificación de consistencia, contraste de resultados y coherencia; se alude a reuniones internas del grupo de trabajo de monitoreo glaciar, el Grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña y la Subdirección de Ecosistemas, según corresponda.

El análisis de la información de áreas y cambios de cobertura incluye análisis de tendencias y contexto de los resultados. Esto se realiza mediante la comparación de los datos obtenidos en relación con los resultados históricos. Se verifica y analiza que el área glaciar colombiana estimada para el año correspondiente marque una tendencia lógica según el comportamiento histórico y del contexto climático del país.

Un aspecto del análisis de la información puede ser, eventualmente, la estimación de variaciones de cobertura glaciar entre periodicidades distintas al de los indicadores estadísticos básicos Variación de la cobertura glaciar ( $VCG_i$ ) y Variación de la cobertura glaciar Nacional (VCGN); así como la generación de gráficas e infografías que permiten una mejor lectura de los datos. Para fortalecer el componente de análisis, el equipo productor de la operación estadística puede aplicar la forma de cálculo del indicador estadístico de cambio de cobertura para temporalidades diferentes a las encontradas en los cuadros de salida, usualmente una diferencia de áreas entre el año  $n$  (presente iteración) y el dato inmediatamente anterior. En otras palabras, se calcula el cambio de cobertura para diferentes épocas como lustros, décadas, etc. Por último y relacionado con este aspecto, el equipo de análisis puede obtener datos de cambio de cobertura no solamente en términos absolutos, sino igualmente en porcentajes o términos relativos.

Complementariamente en la fase de análisis, previa a la difusión, se realiza un análisis de contexto de la información obtenida en la iteración de la operación, así como por series de tiempo, previo a su divulgación lo cual garantiza coherencia y correspondencia entre resultados anteriores de la misma operación. Las gráficas e infografías producidas que reflejan esto son realizadas por el equipo de trabajo y son salvaguardadas generalmente en las versiones 'borrador' o preliminares de los productos de difusión tales como los *Informes del estado de los glaciares colombianos*.

Estas pueden incluir información de series de diferente amplitud temporal y cobertura geográfica, así como datos de cambio de cobertura complementarios a los dispuestos en la base de datos.

Glaciar	Área en 2020 (Km <sup>2</sup> )	Área en 2010 (Km <sup>2</sup> )	Reducción (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje de reducción
Sierra nevada de Santa Marta (Chundua)	5,81	8,17	2,36	29%
Sierra nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma)	13,19	16,50	3,31	20%
Volcán nevado del Ruiz (Kumanday)	8,14	10,32	2,18	21%
Volcán nevado Santa Isabel (Poleka Kasue)	0,45	1,91	1,46	77%
Volcán nevado Tolima (Dulima)	0,52	0,75	0,23	31%
Volcán nevado del Huila (Wila)	6,74	9,70	2,96	31%
<b>Total Colombia</b>	<b>34,85</b>	<b>47,35</b>	<b>12,5</b>	<b>26%</b>

Nombre del glaciar	Altitud (m)	Área (Km <sup>2</sup> )	Superficie relativa con respecto al área glaciar total de Colombia	Año de Actualización	Fuente
Sierra nevada de El Cocuy	5330	16km <sup>2</sup>	35 %	2010	Imagen satel ALOS
Volcán nevado del Huila	5364	9.7 km <sup>2</sup>	22%	2010	Imagen satel ALOS
Volcán nevado del Ruiz	5330	9.7 km <sup>2</sup>	21 %	2010	Imagen satel Spot
Sierra nevada de Santa Marta	5775	7.4 km <sup>2</sup>	16 %	2010	Imagen satel ALOS
Volcán nevado Santa Isabel	5100	1.8 km <sup>2</sup>	4%	2010	Imagen satel Spot
Volcán nevado del Tolima	5280	0.74 km <sup>2</sup>	2 %	2010	Imagen satel Spot

Figura 19. Tablas con valores del indicador de cambio de cobertura a temporalidades diferentes a los indicadores estadísticos y cuadros de salida

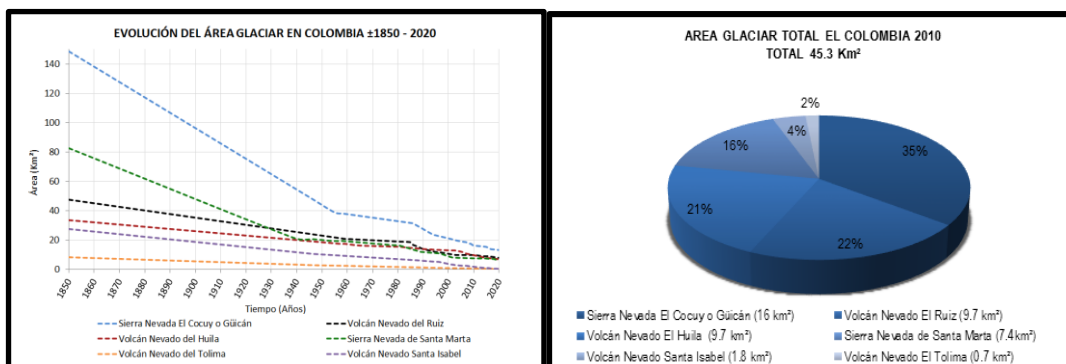


Figura 20. Gráficas de series de tiempo de la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar.

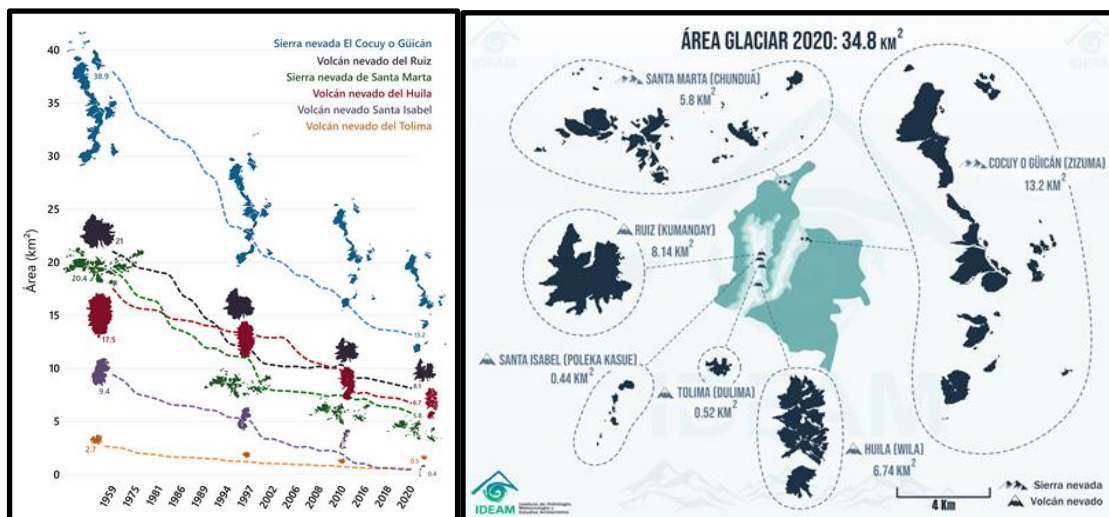


Figura 21. Ejemplo de infografías que permiten análisis de coherencia y consistencia de la información antes de la difusión.

Dando alcance adicional al numeral 10.4 de la NTC-PE 1000:2020, se asegura que este análisis de la información, soportado en la generación del material anteriormente descrito, asegura que los resultados son coherentes con los objetivos específicos descritos en el numeral 1.4.2

Este tipo de análisis permite concluir que en general, los nevados colombianos continúan con una tendencia al derretimiento acelerado debido a su especial sensibilidad tanto a las condiciones climáticas globales y regionales, como a particularidades locales de microclima, altitud, topografía y condiciones volcánicas activas (Ceballos et al., 2020). Los principales documentos en los que se consigna el diseño del análisis son informes anuales, técnicos y analíticos del estado de los glaciares de estudio, responsabilidad de los profesionales a cargo del seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia. Estos informes hacen parte integral de la fase de difusión de la información.

## 6.2 Limitaciones de los resultados (Sección 10.2)

En relación con los mecanismos de control del sesgo especificados en el numeral 2.4.6, el análisis de la información puede verse limitado por la presencia insuficiente de personal con experiencia glaciológica en general. Al igual, el análisis depende de la adquisición de imágenes de alta resolución espectral y espacial, según sea el caso. Para el cálculo del área glaciar se requiere como mínimo una imagen para cada nevado, pero se procurará adquirir dos tipos de imágenes que sean de mutuo apoyo para el cálculo del área, ya que la estimación de resultados con un solo insumo puede aumentar la incertidumbre del resultado.

## 6.3 Cálculo de agregaciones -resultados (Sección 10.3)

Acorde con los resultados esperados especificados en el *Plan general para la Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*, así como los especificados en el numeral 5.1, la generación de resultados se enfoca en obtener capas vectoriales producto de la delimitación de áreas glaciares en programas computacionales especializados para el procesamiento de imágenes de satélite tales como los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis, Erdas, Qgis, etc.), y un cálculo posterior de agregados según la definición de variables e indicadores estadísticos.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 72 de 88

## 6.4 Validar y documentar resultados (Sección 10.5)

La validación e interpretación de los datos finales se lleva a cabo principalmente mediante comparación entre los datos de anteriores iteraciones. Para la obtención de resultados anuales de la operación estadística se realiza un análisis de contexto; teniendo en cuenta el resultado de series de tiempo o información histórica de la evolución del área y cambio de cobertura glaciar, resultados logrados mediante el análisis de información producto del procesamiento de datos relacionados con la *Operación Área y cambio de cobertura glaciar*, producida por el IDEAM.

A su vez, los resultados producto del análisis de los datos, previo a la publicación de los resultados, son evaluados en la reunión anual de evaluación, que tiene como responsables a el(la) Subdirector(a) de Ecosistemas e Información Ambiental, Coordinador(a) grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña y Profesional Especializado (líder temático).

## 6.5 Métodos de análisis (Sección 10.6)

La aplicación de los métodos de análisis de información de Áreas glaciares permite comprobar la correspondencia entre el comportamiento mundial, regional o ecuatorial de los glaciares (resultados esperados) con los resultados obtenidos para los glaciares colombianos, por ende, la coherencia de los mismos.

Es importante recalcar que, en el marco del análisis, dada la naturaleza de la información estadística, particularmente su exclusividad y el hecho que sea única en el país, existe una dificultad obvia en la comparabilidad de los datos de áreas glaciares producidos en la operación. Aun así, en los informes previstos para la fase de difusión se cuenta con un análisis de comparabilidad periódica.

## 6.6 Confidencialidad de las fuentes (Sección 10.7)

Acorde con la fuente de información descrita en el numeral 2.2, al ser los glaciares un elemento geofísico, no se considera necesario mantener su confidencialidad.

## 6.7 Reuniones con expertos (Sección 10.8)

Tal como está dispuesto en el documento *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, la socialización y apropiación de la información producida y analizada que se transmite utilizando los canales oficiales dispuestos por el IDEAM, se realiza con previa aprobación por parte del Comité Científico. Esto es de importancia ya que los profesionales responsables desarrollan el adecuado análisis de los datos de acuerdo con las herramientas tecnológicas adoptadas, incluyendo actividades de verificación y validación de la información, apelando fundamentalmente a su criterio profesional en el conocimiento ambiental integral y glaciológico específico.

Es importante añadir que, por el requerimiento de necesidades a escala internacional, como se ha descrito en la primera fase de la operación, eventualmente se pueden desarrollar conversaciones externas frente a los resultados con expertos internacionales, al igual que con directivos de la entidad productora con el fin de contextualizar, analizar, validar y/o ajustar los resultados, para efectuar su difusión.

# 7 DIFUSIÓN (CAPÍTULO 11)

Las estrategias principales de difusión (almacenamiento, mantenimiento y actualización) van 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.

Es deber de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental poner a disposición de los usuarios la información actualizada del seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia, a través de los medios de divulgación establecidos por el IDEAM. Según la *Política editorial de publicaciones y comunicaciones (E-GC-M004)* 'los contenidos generados por las diferentes dependencias serán publicados, modificados o eliminados, por los usuarios editores designados por la dependencia; quienes serán los responsables de mantener actualizada la información de su competencia'. De ahí que los profesionales a cargo del monitoreo glaciar tienen la función de difusión de la información. No obstante, el mismo documento reza que los contenidos 'contarán con la revisión final de los jefes o coordinadores de los grupos y oficinas de la institución', quienes son los responsables de la información definitiva que se cargue en el portal web.

En tal sentido, la información de la Operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar utiliza como sistema de salida principal la página web. A través de la página web y los canales de atención al ciudadano el IDEAM asegura la comunicación, difusión y publicación de los resultados. La información de la operación alojada en servidores del IDEAM ofrece un excelente lugar de almacenamiento y un buen mecanismo para su mantenimiento y fácil actualización.

PRINCIPAL MONITOREO DE BOSQUES Y RECURSO FORESTAL MONITOREO DE SUELOS Y COBERTURAS DE LA TIERRA

MONITOREO DE ECOSISTEMAS GESTIÓN DE INFORMACIÓN AMBIENTAL

Periodo	Sierra nevada de Santa Marta (Chundúa)	Sierra nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma)	Volcán nevado del Ruiz (Kumanday)	Volcán nevado Santa Isabel (Poleka Kasue)	Volcán nevado del Tolima (Dulima)	Volcán nevado del Huila (Wila)	Total Colombia
	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )	Área(Km <sup>2</sup> )
±1850	82,6	148,7	47,5	27,8	8,6	33,7	349
50's	19,4	38,9	21,0	9,4	2,7	17,5	109
80's	14,1	35,7	17,9	6,4	1,6	15,4	91
90's	11,1	23,7	12,9	5,3	1,2	13,6	68
2010	8,2	16,5	10,3	1,9	0,75	9,7	47
2016	7,1	14,4	9,3	1,0	0,63	7,7	40
2017	6,54	13,75	8,88	0,65	0,59	7,37	37
2019	6,22	13,47	8,39	0,52	0,55	7,13	36
2020	5,81	13,19	8,14	0,45	0,52	6,74	34,85

Área de los actuales seis glaciares colombianos desde 1850 a la actualidad. Fuente y elaboración: IDEAM 2021

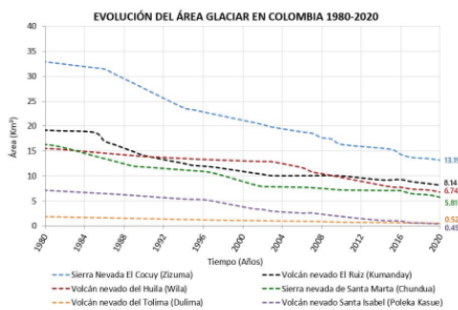


Figura 22. Información divulgada en la página web del IDEAM sobre la Operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar


	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 74 de 88



Figura 23. Portadas de documentos de reporte del estado de los glaciares colombianos



Figura 24. Eventos de difusión de resultados de la operación estadística. IDEAM, 2018.

La gestión de la publicación de los productos finales sigue lo indicado en el *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia* y la *Política editorial de publicaciones y comunicaciones (E-GC-M004)*. Los documentos de difusión se corresponden con el *Manual de identidad visual (E-GC-M002)* del IDEAM.

## 7.1 Productos, canales y medios de difusión (Sección 11.1)

Se prevén múltiples mecanismos o formas de difusión de la información estadística. Por lo cual no se descarta el uso de canales como radio, televisión etcétera ni medios de divulgación impresos o eventos de lanzamiento. No obstante, el principal canal de difusión es el Internet, por medio de la página web institucional de la entidad.

La Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental pone a disposición de los usuarios la información actualizada del seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia, a través de los medios de divulgación establecidos por el IDEAM. Según la *Política editorial de publicaciones y comunicaciones (E-GC-M004)* ‘los contenidos generados por las diferentes dependencias serán publicados, modificados o eliminados, por los usuarios editores designados por la dependencia; quienes serán los responsables de mantener actualizada la información de su competencia’. De ahí que

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 75 de 88

los profesionales a cargo del monitoreo glaciar tienen la función de difusión de la información. No obstante, el mismo documento reza que los contenidos ‘contarán con la revisión final de los jefes o coordinadores de los grupos y oficinas de la institución’, quienes son los responsables de la información definitiva que se cargue en el portal web.

Ahora bien, para la administración del portal web institucional por parte de los profesionales a cargo del monitoreo glaciar, es decir la gestión de usuarios y la publicación de contenidos en los portales, se obedece al *procedimiento de administración portales web institucionales y temáticos E-GI-P003*.

A través de la página web y los canales de atención al ciudadano el IDEAM asegura la comunicación, difusión y publicación de los resultados. La información de la operación alojada en servidores del IDEAM ofrece un excelente lugar de almacenamiento y un buen mecanismo para su mantenimiento y fácil actualización.

## 7.2 Metadatos (Sección 11.2)

La información de recolección de datos primarios, los reportes realizados y la información referente a la Operación Estadística se salvaguarda en el almacenamiento en nube o servicio de alojamiento de archivos, perteneciente al Grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña a través del servicio de Google Drive® destinado para este fin. Adicionalmente, la estructura documental de la OE ACCG que contiene todos los metadatos de la información es publicada en el mapa de procesos del Sistema de Gestión Integrado del IDEAM. Igualmente, la publicación del *Indicador ambiental área y cambio de cobertura glaciar* cuenta con una hoja metodológica con los debidos metadatos de la información.

## 7.3 Puntualidad y oportunidad (Sección 11.3)

La promoción de los productos está a cargo de la Oficina de Comunicaciones. Regularmente la publicación y difusión de información del IDEAM tiene un impacto en la sociedad, a partir de la cual diversos medios de comunicación o prensa, pueden solicitar detalles, aclaraciones o entrevistas. En este caso se sigue el *protocolo para la atención a medios de comunicación (E-GC-PR001)* y el *procedimiento y logística apoyo actividades difusión información (E-GC-P003)*.

Además, la OE ACCG sigue con puntualidad y oportunidad las fechas de publicación establecidas en el *Calendario de difusión para la operación estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*, el cual es publicado en el mapa de procesos del Sistema de Gestión Integrada del IDEAM y es de acceso público

## 7.4 Continuidad de la operación estadística (Sección 11.4)

El seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia cuenta con lineamientos de estructuración, estandarización de la información, que incluye el desarrollo de dos estadísticas oficiales de Colombia dentro del Sistema Estadístico Nacional (SEN) como Operaciones Estadísticas (*Área y Cambio de Cobertura Glaciar* y *Balance de Masa Glaciar*). Los procesos estadísticos *Área y Cambio de Cobertura Glaciar* y *Balance de Masa Glaciar*, están sujetos a procesos de certificación por parte del DANE y son revisados y actualizados, de acuerdo con los planes generales de las Operaciones Estadísticas, por lo cual se prevé la continuidad de los mismos y la salvaguarda de series históricas, metadatos y resultados difundidos.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 76 de 88

## 7.5 Publicación de medidas de calidad (Sección 11.5)

La difusión de los datos está acompañada de cuatro controles del sesgo de la información, de acuerdo a lo señalado en el numeral 2.4.6 La estructura documental de la OE ACCG, la cual incluye este documento, es publicada en el mapa de procesos del Sistema de Gestión Integrado del IDEAM, el cual es de acceso público.

## 7.6 Series históricas (Sección 11.6)

A través de la publicación, continuidad y conservación de los productos difundidos, lo cual incluye las notas explicativas pertinentes, se asegura la difusión de series históricas de información de área y cambio de cobertura glaciar.

## 7.7 Condiciones de uso de la información estadística (Sección 11.7)

Al ser un dato final de un proceso procedente de una institución gubernamental y miembro del SINA, éste es público. La información es obtenida por personas naturales vinculadas al IDEAM, ya sean profesionales de carrera administrativa, provisionales o contratistas que tienen dentro de sus funciones laborales o contractuales el monitoreo glaciar, para lo cual está estipulado claramente los derechos de autor.

Adicionalmente, los siguientes productos de divulgación deben seguir lo indicado en el documento *Manual de identidad visual* (E-GC-M002) del IDEAM y la *Política editorial de publicaciones y comunicaciones* (E-GC-M004):

1. Informe periódico del estado de los glaciares colombianos.
2. Indicador ambiental Área y Cambio de Cobertura glaciar


El *Indicador ambiental área y cambio de cobertura* cuenta con una hoja metodológica con las debidas instrucciones de uso de la información. Finalmente, productos como el *informe periódico del estado de los glaciares colombianos* cuenta con página legal con los debidos derechos de autor que especifica el uso correcto de la información estadística.

## 7.8 Autorización de publicación de información estadística (Sección 11.8)

La gestión de la publicación de los productos finales sigue lo indicado en el *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia* y la *Política editorial de publicaciones y comunicaciones* (E-GC-M004). Los documentos de difusión se corresponden con el *Manual de identidad visual* (E-GC-M002) del IDEAM.

Una vez terminado el producto y en línea con las políticas operacionales del *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, la información producida que se divulga, socializa y apropia mediante la página web, lo es previa aprobación por parte del Comité Científico del IDEAM. Una vez surtida, los documentos son remitidos al Comité Editorial, los cuales son editados por el grupo de Comunicaciones y Prensa para luego ser socializados y divulgados.

Sumado a ello, se presentan los roles y responsabilidades dentro del proceso de difusión de los informes:

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 77 de 88

Rol	Responsable	Evidencia
Elaboración del plan de publicaciones (E-GC-M004)	Subdirección o dependencia	Plan de publicaciones
Elaboración de productos de difusión (M-GCI-E-P003)	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar	Producto elaborado
Proceso de edición (E-GC-M004)	Oficina de comunicaciones	Producto elaborado y editado para publicación
Publicación en página web	Profesional Especializado (líder temático)	Producto publicado acorde con calendario de difusión

Roles y responsabilidades dentro del proceso de difusión del indicador ambiental:

Rol	Responsable	Evidencia
Diligenciar los formatos establecidos para la entrega actualizada y divulgación del indicador (M-GCI-E-P003)	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar	Producto elaborado
Aprobación y publicación en página web	Grupo del Sistema de Información Ambiental–SIA-	Producto publicado acorde con calendario de difusión

## 7.9 Soporte a usuarios de la información estadística (Sección 11.9)

Las solicitudes de usuarios externos son canalizadas por medio de los instrumentos descritos en la primera fase de la operación: detección y análisis de necesidades. Adicionalmente, frente a cualquier soporte a usuarios se cuenta con lo estipulado en el *Procedimiento de servicio al ciudadano (M-AC-P001)*.


## 8 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO (CAPÍTULO 12)

La evaluación es la fase del proceso estadístico en la cual se determina en qué medida se ha logrado el cumplimiento de los objetivos planteados en la operación estadística, en contraste con las necesidades de información de los usuarios y con los resultados obtenidos, de acuerdo con la metodología establecida.

### 8.1 Evaluaciones de desempeño

De acuerdo con lo diseñado previamente en el numeral 2.12., la operación estadística realiza evaluaciones del desempeño al terminar cada una de las fases. A continuación, se presenta una **matriz general** de indicadores de evaluación aplicados en cada etapa del proceso estadístico:

Fase	Indicador/criterio	Objetivo del Indicador/criterio de evaluación.	Documentos y/o registros soporte
<b>Fase 1. Detección y análisis de necesidades</b>	Decisión	Verificar la justificación de los usuarios y mecanismos de consulta seleccionados	Acta en donde se justifique
	Uso/accesibilidad	Verificar que se implementaron los mecanismos de consulta	Información Relevante obtenida al aplicar los mecanismos de información.
	Decisión	Verificar que la caracterización de necesidades de información y de usuarios del ACCG” y necesidades priorizadas.	Formato “M-GCI-E-F015 Caracterización de necesidades de información del ACCG” actualizado.
<b>Fase 2. Diseño</b>	Entrenamientos realizados en ACCG (Número de entrenamientos realizados en ACCG).	Verificar la elaboración de documentos metodológicos y de apoyo para el entrenamiento del personal en ACCG. Verificar la aplicación de dichos documentos.	Documento Guía de entrenamiento para el ACCG. Actas de reunión y/o entrenamiento
	Planeación de la difusión -ACCG (Cumplimiento en la programación de difusión del ACCG).	Verificar el cumplimiento de actividades respecto a la programación de difusión del ACCG	Calendario de difusión
<b>Fase 3. Construcción</b>	Documentos elaborados y/o actualizados. (No. Documentos elaborados y/o actualizados).	Verificar la construcción, desarrollo y/o prueba de los instrumentos y herramientas diseñadas en la etapa anterior.	Documentos: Manuales, Instructivos, Guías, Procedimientos, Protocolos, Formatos u Otros, elaborados y/o actualizados.
	Hoja metodológica y hoja de cálculo Indicador Ambiental ACCG		Hoja metodológica y hoja de cálculo Indicador Ambiental ACCG
<b>Fase 4. Recolección</b>	Adquisición de imágenes digitales. (Número de imágenes digitales adquiridas)	Verificar la ejecución de las acciones planeadas, diseñadas y construidas en las fases anteriores, con el fin de obtener los datos que permitirán generar la información estadística que satisfaga las necesidades identificadas.	Formato de recolección de imágenes y limitaciones diligenciado.  Imágenes digitales disponibles y salvaguardadas.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 79 de 88

	Aplicación de Metodología para el cálculo de ACCG		Informe de cálculo de área glaciar para un año determinado  Delimitaciones bordes glaciares en formato vectorial disponibles y salvaguardadas.
<b>Fase 5. Procesamiento</b>	Estimación de ACCG nacional y por cada glaciar	Verificar el desarrollo y aplicación de la metodología que garantice el adecuado procesamiento de los datos.	Tabla oficial y base de datos ACCG completas y diligenciadas
<b>Fase 6. Análisis</b>	Generación de cuadros de salida ACCG nacional y por cada glaciar	Verificar la coherencia y la consistencia de los resultados con el fin de asegurar su calidad y posibilitar el análisis.	Cuadro de salida completo y diligenciado  Gráficas de ACCG elaboradas
<b>Fase 7. Difusión</b>	Publicaciones bienales de ACCG (No. de documentos publicados sobre ACCG)	Verificar la disposición de la información estadística generada como resultado de la operación estadística, a los usuarios y partes interesadas, a través de los medios de divulgación establecidos.	Informe periódico del estado de los glaciares colombianos publicado.  Indicador ambiental ACCG, publicado.
<b>Fase 8. Evaluación</b>	Evaluación general de la OE ACCG	Verificar el cumplimiento de objetivos de la operación estadística.	Reunión anual de evaluación (Subdirector (a) - Coordinador(a) - Líder temático).


Tabla 15. Matriz de indicadores de evaluación de las fases del proceso estadístico ACCG.

## 8.2 Revisión al diseño

De acuerdo con el *Procedimiento seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, se realiza una revisión en un intervalo planificado consistente en una reunión anual de evaluación, realizada entre los meses de noviembre y diciembre y con la asistencia del(la) Subdirector(a) de Ecosistemas e Información Ambiental, el Coordinador(a) del Grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña y el líder temático de la operación estadística.

## 8.3 Evaluación final del proceso estadístico

La evaluación final del proceso estadístico se realiza a partir de una reunión anual, llevada a cabo entre los meses de enero y febrero, con la asistencia del (la) Subdirector(a) de Ecosistemas e Información Ambiental, Coordinador(a) del Grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña y el líder temático de la operación estadística. En esta se revisa y se decide actualizar (de ser necesario) la metodología de la operación estadística, asegurando la coherencia con el resto de los elementos de la operación en su conjunto.

 <b>IDEAM</b> <small>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</small>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 80 de 88

A través de este mecanismo se detectan las fortalezas, las debilidades y las oportunidades de mejora en las distintas fases del proceso estadístico, para retroalimentar la operación estadística en sus iteraciones posteriores. Se establecen lineamientos que serán insumo para la elaboración del Plan de acción anual (PAA) con la asignación de los recursos respectivos para la implementación de las acciones en la siguiente aplicación de la operación estadística.

#### **8.4 Análisis de la evaluación del desempeño (Sección 12.4)**

Una vez finalizado el ciclo de producción de la operación estadística y con el fin de conocer si los objetivos planteados fueron cumplidos e identificar las posibles oportunidades de mejora, en esta fase se consolidan los insumos en marco de la evaluación de la operación, tales como: opiniones de usuarios, informes parciales de evaluación de fases previas, metadatos, planes de mejora, históricos o informes de autoevaluaciones anteriores o de auditorías.

#### **8.5 Auditoría interna (Sección 12.5)**

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.

## **9 MEJORA (CAPÍTULO 13)**

### **9.1 Generalidades (Sección 13.1)**

Con base en los resultados de la evaluación se generan acciones a implementar dentro del proceso estadístico del siguiente año glaciológico. 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.

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.

### **9.2 No conformidad y acción correctiva (Sección 13.2)**

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



	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 81 de 88

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.

### 9.3 Mejora continua (Sección 13.3)

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.

## DOCUMENTOS RELACIONADOS

Para ampliar cualquier inquietud en el desarrollo de la presente guía, se puede consultar además los siguientes documentos:

Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, versión 1.  
[https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos\\_Proceso\\_Estadistico.pdf](https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estadistico.pdf)

Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico (NTCPE 1000)  
[https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/NTC\\_Proceso\\_Estadistico.pdf](https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/NTC_Proceso_Estadistico.pdf)

Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. *Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, Versión 2.* (2020), Recuperado de  
[https://www.sen.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos\\_Proceso\\_Estad%3%ADstico\\_v2.pdf](https://www.sen.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estad%3%ADstico_v2.pdf) [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].


----- *Guía para la elaboración del documento metodológico de operaciones estadísticas.* (2020), Recuperado de  
[https://www.sen.gov.co/files/sen/lineamientos/Guia\\_Documento\\_Metodol%3%B3gico.pdf](https://www.sen.gov.co/files/sen/lineamientos/Guia_Documento_Metodol%3%B3gico.pdf) [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

----- *Condiciones para la evaluación y certificación de la Calidad Estadística.* (2018), Recuperado de  
<https://www.dane.gov.co/files/sen/calidad/evaluacion/CO-01-condiciones-evaluacion-certificacion.pdf> [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

----- *Manual de uso del marco geoestadístico nacional en el proceso estadístico.* (2018), Recuperado de  
[https://www.sen.gov.co/files/BuenasPracticas/Manual\\_MGN\\_.pdf](https://www.sen.gov.co/files/BuenasPracticas/Manual_MGN_.pdf) [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].


----- *Lineamientos para el proceso estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, versión 1.* (2017), Recuperado de  
[https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos\\_Proceso\\_Estadistico.pdf](https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estadistico.pdf) [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

----- *Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico (NTCPE 1000).* (2017), Recuperado de  
[https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/NTC\\_Proceso\\_Estadistico.pdf](https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/NTC_Proceso_Estadistico.pdf) [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].


 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 82 de 88

## BIBLIOGRAFÍA


- Andreassen, L., Paul, F., Kääb, A., and Hausberg, J. (2008) Landsat-derived glacier inventory for Jotunheimen, Norway, and deduced glacier since the 1930s. *The Cryosphere*, 2, 131–145.
- Bishop, M.P., Barry, R.G., Bush, A.B.G., Copeland, L., Dwyer, J.L., Fountain, A.G., Haeberli, W., Hall, D.K., Kääb, A., Kargel, J.S., Molnia, B.F., Olsenholler, J.A., Paul, F., Raup, B.H., Shroder, J.F., Trabant, D.C., and Wessels, R. (2004). Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS): Remote sensing and GIS investigations of the Earth’s cryosphere. *Geocarto International*, 19 (2), 57-85.
- Brunnschweiler, D. (1981). Glacial and periglacial form systems of the Colombian Quaternary. *Revista CIAF, Memoria del primer seminario sobre el Cuaternario de Colombia*.6 (1-3): 53-76.
- Carantón, D. (1988). Aplicación de las fotografías aéreas en geografía. Instituto Geográfico Agustín Codazzi: Subdirección de Geografía. Bogotá, Colombia. 121p.
- Ceballos J., Ospina J, Rojas F. (2020). Informe del estado de los glaciares colombianos 2019. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.
- Cogley, G., Hock, R., Rasmussen, A., Arendt, A., Bauder, A., Braithwaite, R., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson, L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, COGLEY ET.AL.-IHP. Paris.
- DANE. (2020 A). *Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, Versión 2*. (2020 A), Recuperado de: [https://www.sen.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos\\_Proceso\\_Estad%3%ADstico\\_v2.pdf](https://www.sen.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estad%3%ADstico_v2.pdf) .
- DANE, (2020 B). *Guía Para La Elaboración Del Plan General De Las Operaciones Estadísticas*, Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/lineamientos>
- DANE, (2020 C). *Guía Para La Elaboración Del Documento Metodológico De Operaciones Estadísticas*, Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/lineamientos>.
- DECRETO 1600 DE 1994. Por el cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental -SINA en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental. Diario Oficial No. 41.465, 29 de Julio de 1994
- Francou, B y Pouyaud, B. (2004). Métodos de observación de glaciares en los Andes tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento de datos. *Great Ice*. IRD. Francia.
- Flórez A. (1992). Los nevados de Colombia, glaciares y glaciaciones. Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC

 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 83 de 88


- Fuentes, J., Guillermo, S., Ing, E., Renovables, N., De, F., & Agronómicas, C. (2008). Principales aplicaciones de los sensores Thematic Mapper (TM) y Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) de LandSat para el estudio de glaciares., 1–6.
- Global Terrestrial Network for Glaciers GTN-G. (2021 A). Remote sensing. Recuperado de <https://www.gtn-g.ch/remotesensing/>
- Global Terrestrial Network for Glaciers GTN-G. (2021 B). Global land ice measurements from space (GLIMS) glacier inventory. Recuperado de [https://www.gtn-g.ch/data\\_catalogue\\_glims/](https://www.gtn-g.ch/data_catalogue_glims/)
- Glossary [Weyer, N.M. (ed.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In Press Annex II: IPCC, 2019:
- Hall, D. K., Ormsby, J. P., Bindschadler, R. A., & Siddalingaiah, H. (1987). Characterization of snow and ice reflectance zones on glaciers using Landsat Thematic Mapper data. *Annals of Glaciology*, 9(1), 104-108.
- Hall, D., Williams, R., and Bayr, K. (1992) Glacier recession in Iceland and Austria. *EOS Trans. Am. Geophys. Unión*, 73(12), 129, 135, 141.
- Herd, D. (1982). Glacial and volcanic geology of the Ruiz-Tolima volcanic complex Cordillera Central, Colombia. *Public geol. esp.* 8 Bogotá: INGEOMINAS
- IAvH, IDEAM, IIAP, INVEMAR, SINCHI (2011). Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 384 p 2011.
- IDEAM (2010) Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. Editorial Scripto Ltda. Bogotá D.C.
- IDEAM (2010 B). Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 252 p., 2 anexos, 26 planchas en DVD
- IDEAM (2012) Glaciares de Colombia: más que montañas con hielo. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 344 p.
- IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2020 A). Página web del IDEAM - acerca de la entidad. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>
- IDEAM. (2020 B). Página web del IDEAM - Ecosistemas. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas>

 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 84 de 88


- IDEAM. (2020 C). Página web del IDEAM – Atención y participación ciudadana. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana>
- IDEAM. (2020 D). Página web del IDEAM – Glaciares. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares>
- IDEAM. (2020 E). Página web del IDEAM – Indicadores ambientales. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>
- IDEAM y Universidad Nacional de Colombia. 1997. Geosistemas de la Alta Montaña. IDEAM, Subdirección de Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- IDEAM, IAvH, INVEMAR, SINCHI e IIAP. (2013). Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2011. Tomo 1: Impacto del clima en Colombia y Cambio climático Global. Bogotá, D. C., 2013. 164 pág.
- IDEAM, IAvH, INVEMAR, SINCHI e IIAP. (2015) Informe del estado del ambiente y los recursos naturales renovables 2014. Tomo 1: Colombia afectada por El Niño y la Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años. Bogotá, D. C., 2015. 100 pg.
- IDEAM, IAvH, INVEMAR, SINCHI e IIAP. (2017). Informe del Estado del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2016. Bogotá D.C.
- IDEAM, IAvH, INVEMAR, SINCHI e IIAP. (2019). Informe del estado del ambiente y los recursos naturales renovables, 2017-2018. Bogotá: IDEAM, 276 pp. ISSN: 2346-1586
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2017 B). 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
- IGAC. (2023 A). Página web del IGAC - Recuperado de: <https://www.igac.gov.co/es/contenido/glosario#:~:text=Entidad%20Geogr%C3%A1fica%20%2F%20Geograp%20Entity,%3A%20cerro%2C%20r%C3%ADo%2C%20municipio.>
- IGAC. (2023 B). Diccionario Geográfico de Colombia. Recuperado de: <https://diccionario.igac.gov.co/?termino=480233>
- IGAC. (2023 C). Diccionario Geográfico de Colombia. Recuperado de: <https://diccionario.igac.gov.co/?termino=480373>
- IGAC. (2023 D). Diccionario Geográfico de Colombia. Recuperado de: <https://diccionario.igac.gov.co/?termino=480387>
- IGAC. (2023 E). Diccionario Geográfico de Colombia. Recuperado de: <https://diccionario.igac.gov.co/?termino=480237>

 <p> <b>IDEAM</b>          Instituto de Hidrología,          Meteorología y          Estudios Ambientales       </p>	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA          “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 85 de 88

- IGAC. (2023 F). Diccionario Geográfico de Colombia. Recuperado de: <https://diccionario.igac.gov.co/? termino=480238>
- IGAC. (2023 G). Diccionario Geográfico de Colombia. Recuperado de: <https://diccionario.igac.gov.co/? termino=480386>
- INAIGEM. (2017). Manual metodológico de inventario nacional de glaciares. Instituto Nacional de investigación en glaciares y ecosistemas de montaña - INAIGEM. Huaraz, Perú. 126p.
- IPCC. (2019). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Jacobs, J. D., Simms, É. L., & Simms, A. (1997). Recession of the southern part of Barnes Ice Cap, Baffin Island, Canada, between 1961 and 1993, determined from digital mapping of Landsat TM. *Journal of Glaciology*, 43(143), 98-102.
- Kääb, A., Bolch, T., Casey, K., Heid, T., Kargel, J., Leonard, G., Raup, B. (2014). Glacier Mapping and Monitoring Using Multispectral Data. <https://doi.org/10.5167/uzh-102068>
- Kaser, G., Fountain, A., & Jansson, P. (2003). A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers. IHP-VI- Technical documents in hydrology.
- Kuhry, P. (1988). Paleobotanical - Palaeoecological studies of tropical high Andean peatbog sections (Cordillera Oriental, Colombia). Tesis Univ. Amsterdam, 241pp. También publicado en: *Dissertationes Botanicae*, Band 116, J. Cramer, Berlin-Stuttgart, y en *El Cuaternario de Colombia*, Vol. 14, Amsterdam (T. van der Hammen, editor).
- 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. Diario Oficial No. 41.146, 22 de diciembre de 1993
- Masiokas MH, Rabatel A, Rivera A, Ruiz L, Pitte P, Ceballos JL, Barcaza G, Soruco A, Bown F, Berthier E, Dussailant I and MacDonell S (2020) A Review of the Current State and Recent Changes of the Andean Cryosphere. *Front. Earth Sci.* 8:99. doi: 10.3389/feart.2020.00099
- Marangunic, C. (2008). Manual de Glaciología. Volumen 2. Geoestudios LTDA, Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile. Santiago
- Medina, G., & Mejía, A. (2010). El Niño y La Niña en el comportamiento de glaciares tropicales en Perú.
- NSIDC-National Snow and Ice Data Center. 2020 'Cryosphere Glossary' Recuperado de: <https://nsidc.org/cryosphere/glossary/all>
- Organización Meteorológica Mundial. (2022) El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021 (OMM-Nº 1295). Recuperado de: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11271](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11271)

 <p><b>IDEAM</b> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p><b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA</b> <b>“ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b></p>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 86 de 88

- Paul, F. (2002) Changes in glacier area in Tyrol, Austria, between 1969 and 1992 derived from Landsat 5 Thematic Mapper and Austrian glacier inventory data. *International Journal of Remote Sensing*, 23(4), 787–799.
- Paul, F., Barry, R. G., Cogley, J. G., Frey, H., Haeberli, W., Ohmura, A., ... & Zemp, M. (2009). Recommendations for the compilation of glacier inventory data from digital sources. *Annals of Glaciology*, 50(53), 119-126.
- Paul, F., Winsvold, S. H., Kääh, A., Nagler, T., & Schwaizer, G. (2016). Glacier Remote Sensing Using Sentinel-2. Part II: Mapping Glacier Extents and Surface Facies, and Comparison to Landsat 8. *Remote Sensing*, 8(7), 575p.
- Paz, M. y Pérez, F. (1889). *Atlas geográfico e histórico de la República de Colombia (Antigua Nueva Granada)*. Imprenta A. Lahure. París, Francia.
- Raasveldt, H.C. (1957). Las Glaciaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. En: *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fís. Nat.*, 9, 38: 469-482.
- Rastner, P., Bolch, T., Notarnicola, C., & Paul, F. (2014). A comparison of pixel-and object-based glacier classification with optical satellite images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(3), 853-862.
- Rau, F., Mauz, F., Vogt, S., Khalsa, J.S., and Raup B. (2005): Illustrated GLIMS glacier classification manual. Glacier classification guidance for the GLIMS inventory. NSIDC: 36 pp. Disponible en: [https://www.wgms.ch/downloads/Rau\\_etal\\_GLIMSGlacierClassificationManual\\_2005.pdf](https://www.wgms.ch/downloads/Rau_etal_GLIMSGlacierClassificationManual_2005.pdf)
- Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, C., Muñoz, C., Vuille, M. (2016). Balance de masa glaciar. Ediciones CECs. Valdivia, Chile
- Rott, H., and Markl, G. (1989) Improved snow and glacier monitoring by the Landsat Thematic Mapper. Workshop on Landsat Thematic Mapper Applications (Technical Report SP-1102), ESA, Noordwijk, The Netherlands
- Schoolmeester, T., Johansen, K.S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M., y Verbist, K., 2018. Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. UNESCO y GRID-Arendal.
- Thouret, J. C., & Van der Hammen, T. (1983). La secuencia holocénica y tardiglacial en el Parque Natural Nacional de los Nevados. En: *La Cordillera Central colombiana Transecto Parque de los Nevados (Introducción y datos iniciales), estudios de ecosistemas Tropandinos (1)*. Van der Hammen, Thomas; Pérez Preciado, Alfonso Y Pinto, Polidoro eds., Vaduz: J. Cramer. Pp. 262-276.
- Van der Hammen, T. (1985). The Plio-Pleistocene climatic record of the tropical Andes. *J. Geol. Soc. Lond.*, 142: 483-489.

	<b>METODOLOGÍA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”</b>	Código: M-GCI-G001
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 87 de 88

- Williams, J., Richard, S., Hall, D. K., & Benson, C. S. (1991). Analysis of glacier facies using satellite techniques. *Journal of Glaciology*, 37(125), 120-128.
- Williams, R., Hall, D., Sigurdsson, O., and Chien, J. (1997) Comparison of satellite-derived with ground based measurements of the fluctuations of the margins of Vatnajökull, Iceland, 1973–92. *Annals of Glaciology*, 24, 72–80.

<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Descripción</b>
1.0	01/08/2022	Creación del documento metodológico.
2.0	06/06/2023	Cambios en los numerales 1.5.1. Conceptos básicos), 2.4.2 (población objetivo) y, 2.4.3. (Unidades estadísticas)
3.0	21/12/2023	Ajuste general al documento metodológico

<p><b><u>ELABORÓ:</u></b></p> <p><b>Yina Paola Nocua Ruge</b></p> <p>Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental</p> <p><b>John Jairo Rodríguez Castro</b></p> <p>Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental</p>	<p><b><u>REVISÓ:</u></b></p> <p><b>Jorge Luis Ceballos Liévano</b></p> <p>Profesional Especializado Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental</p>	<p><b><u>APROBÓ:</u></b></p> <p><b>Lina María Caballero Villalobos</b></p> <p>Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental</p>
---	---	---

