

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 1 de 106



IDEAM

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

METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”

Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 2 de 106

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
1. DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE NECESIDADES (CAPÍTULO 5 NTC PE 1000-2020)	8
1.1. Identificación de usuarios y necesidades de información (Sección 5.1)	9
1.1.1. Usuarios y necesidades externas nacionales e internacionales	10
1.1.2. Usuarios y necesidades internas	13
1.2. Análisis de las necesidades recolectadas (Sección 5.2)	14
1.3. Relevancia de los resultados de la operación estadística para la política pública (Sección 5.3)	16
1.4. Objetivos de la operación estadística (Sección 5.4)	16
1.4.1. Objetivo General	16
1.4.2. Objetivos específicos	16
1.5. Identificación de conceptos (Sección 5.5)	17
1.5.1. Conceptos básicos	18
1.5.2. Variables estadísticas	19
1.5.3. Indicadores estadísticos	20
1.6. Comprobación de la disponibilidad de datos (Sección 5.6)	21
1.7. Plan general de la operación estadística (Sección 5.7)	22
2. DISEÑO (CAPÍTULO 6 NTC PE 1000-2020)	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)	23
2.3.3. Nomenclaturas y clasificaciones (Título 6.3.3)	40
2.3.4. Conceptos estandarizados (Título 6.3.4)	40
2.3.5. Pertinencia de las variables e indicadores estadísticos (Título 6.3.5)	41
2.3.6. Pertinencia de la fuente (Título 6.3.6)	41
2.3.7. Cobertura geográfica (Título 6.3.7)	41
2.3.8. Cuadros de salida (Título 6.3.8)	41

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 3 de 106

2.3.9. Instrumento de recolección (Título 6.3.9.)	44
2.3.10. Desgaste de la fuente (Título 6.3.10)	44
2.4. Diseño estadístico (Sección 6.4)	45
2.4.1. Universo de estudio	45
2.4.2. Población objetivo	45
2.4.3. Unidades estadísticas	45
2.4.4. Periodo de referencia	45
2.4.5. Periodo de recolección	46
2.4.6. Diseño muestral (Título 6.4.3)	46
2.4.7. Control de sesgo (Título 6.4.4)	50
2.5. Diseño de la recolección (Sección 6.5)	50
2.5.1. Diseño de la recolección de los datos (Título 6.5.1)	50
2.5.2. Control y supervisión (Título 6.5.2)	54
2.5.3. Sensibilización (Título 6.5.7)	54
2.5.4. Entrenamiento (Título 6.5.8)	54
2.6. Diseño del procesamiento de los datos (Sección 6.6)	55
2.7. Diseño del análisis (Sección 6.7)	57
2.8. Diseño de la difusión (Sección 6.8)	59
2.9. Diseño de flujos de trabajo (Sección 6.9)	61
2.10. Finalización de archivos de datos (Sección 6.10)	64
2.11. Diseño de las pruebas (Sección 6.11)	64
2.12. Diseño de la evaluación del desempeño (Sección 6.12)	65
3. CONSTRUCCIÓN (CAPÍTULO 7 NTC PE 1000-2020)	68
3.1. Instrumentos de recolección (Sección 7.2)	68
3.2. Desarrollo del software aplicativo de la operación estadística (Sección 7.3)	71
3.3. Selección de la muestra (sección 7.4)	71
3.4. Elaboración de materiales para la recolección (sección 7.5)	73
3.5. Configuración de los flujos de trabajo (Sección 7.6)	74
3.6. Pruebas (Sección 7.7)	75
4. RECOLECCIÓN (CAPÍTULO 8 NTC PE 1000-2020)	75

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 4 de 106

4.1. Actividades previas a la recolección (Sección 8.1)	75
4.1.1. Disposición de personal calificado	75
4.1.2. Actividades previas a las campañas de campo	75
4.1.3. Disponibilidad de materiales y equipos de monitoreo glaciar de campo	76
4.1.4. Impresión de documentos	78
4.2. Recolección de datos (Sección 8.2)	79
4.3. Control en la recolección de datos (Sección 8.3)	79
4.3.1. Datos primarios	79
4.3.2. Equipos, formatos y fotografías	79
4.3.3. Administrativos	80
5. PROCESAMIENTO (CAPÍTULO 9 NTC PE 1000-2020)	80
5.1. Integración de datos (Sección 9.1)	80
5.2. Clasificación y codificación (Sección 9.2)	80
5.3. Revisión y validación de datos (Sección 9.3)	81
5.4. Edición e imputación (Sección 9.4)	81
5.5. Cálculo de ponderadores (Sección 9.5)	82
5.6. Finalización de los archivos de datos (Sección 9.6)	83
6. ANÁLISIS (CAPÍTULO 10 NTC PE 1000-2020)	84
6.1. Limitaciones de los resultados (10.2)	84
6.2. Cálculo de agregaciones -resultados (Sección 10.3)	84
6.3. Consistencia y coherencia de resultados (Sección 10.4)	86
6.4. Validar y documentar resultados (Sección 10.5)	88
6.5. Métodos de análisis (10.6)	89
6.6. Reuniones con expertos (10.8)	90
7. DIFUSIÓN (CAPÍTULO 11 NTC PE 1000-2020)	90
7.1. Productos, canales y medios de difusión (Sección 11.1)	90
7.2. Metadatos (Sección 11.2)	92
7.3. Puntualidad y oportunidad (Sección 11.3)	93
7.4. Continuidad de la operación estadística (Sección 11.4)	93
7.5. Publicación de medidas de calidad (Sección 11.5)	93

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 5 de 106

7.6. Series históricas (Sección 11.6)	93
7.7. Condiciones de uso de la información estadística (Sección 11.7)	94
7.8. Autorización de publicación de información estadística (Sección 11.8)	94
7.9. Soporte a usuarios de la información estadística (Sección 11.9)	95
8. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO (CAPÍTULO 12 NTC PE 1000-2020)	95
8.1. Evaluaciones de desempeño	95
8.2. Revisión al diseño	97
8.3. Evaluación final del proceso estadístico	97
8.4. Análisis de la evaluación del desempeño (Sección 12.4)	97
8.5. Auditoría interna (Sección 12.5)	98
9. MEJORA (CAPÍTULO 13 NTC PE 1000-2020)	98
9.1. Generalidades (Sección 13.1)	98
9.2. No conformidad y acción correctiva (Sección 13.2)	98
9.3. Mejora continua (Sección 13.3)	99
DOCUMENTOS RELACIONADOS	100
BIBLIOGRAFÍA	101
RELACIÓN DE AUTORES Y VERSIÓN DE LA GUÍA	105

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 6 de 106

INTRODUCCIÓN

El Balance de Masa Glaciar es una estadística oficial única en todo el país y de importancia mundial, y está bajo la responsabilidad del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. Representa una cuantificación de ganancias o pérdidas de masa de un glaciar durante un lapso de tiempo determinado.

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 éste (Decreto 1600, 1994).

En segunda instancia, en aras de la implementación por el desarrollo de un modelo estandarizado de las estadísticas oficiales de 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 el 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 referida 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 de estudio glaciológico como el balance de masa glaciar, que permiten evaluar la dinámica y evolución de los glaciares o nevados nacionales. Los actuales nevados colombianos son estudiados periódicamente por métodos indirectos, por medio de imágenes de satélite, para la determinación del cambio de sus áreas; pero igualmente el IDEAM aplica el método directo en campo, con el fin de determinar de manera más detallada y mediante técnicas cuantitativas las pérdidas o ganancias de masa glaciar de la criósfera¹ colombiana.

¹ 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).

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 7 de 106

En este último sentido, a inicios del presente siglo, el IDEAM adoptó una de las técnicas glaciológicas de mayor uso en el ámbito mundial en dos zonas glaciares del país (Volcán Nevado Santa Isabel y Sierra Nevada El Cocuy o Güicán): el cálculo del Balance de Masa Glaciar por el método glaciológico directo.

Este documento metodológico, así como los demás documentos que forman parte del Sistema Integrado de Gestión-SGI de la entidad, responden a dichos lineamientos y describen de manera detallada el proceso estadístico de la **operación estadística Balance de Masa Glaciar (OE BMG)**, una *medida que permite estimar los cambios de masa (nieve y hielo) de la superficie de los glaciares objeto de estudio a partir de cálculos periódicos que cuantifican las pérdidas y ganancias de masa durante un lapso de tiempo determinado*. 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 terrestre es vital para medir la intensidad del actual cambio climático y en este sentido el balance de masa representa la mejor variable.

La institucionalización del Balance de Masa 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 NTCPE:1000; 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 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 (NTCPE 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 IDEAM². El capítulo 5 (Detección y análisis de necesidades) se soporta principalmente en la elaboración del *Plan General de la operación estadística*. Por su parte, los capítulos 7 (Construcción), 8 (Recolección o acopio), 9 (Procesamiento), 10 (Análisis), 11 (Difusión) 12 (Evaluación del desempeño) y 13 (Mejora) de la OE BMG son sustentados a través del cumplimiento de lo descrito en esta metodología y mediante la salvaguarda de evidencias de tipo registro (en donde se evidencia la realización de las actividades por parte de la entidad productora).

² 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.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 8 de 106

1. DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE NECESIDADES (CAPÍTULO 5 NTC PE 1000-2020)

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 BMG** 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 particular 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 socioeconómico y cultural. Los glaciares ecuatoriales, como los de Colombia, son especialmente sensibles a este proceso, pues aun cuando el proceso de reducción glaciario 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 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, el IDEAM ha conformado desde el año 2006 una red de monitoreo glaciológico e hidrometeorológico en la alta montaña para comprender su funcionamiento y la relación con el clima de manera directa. Dos nevados o complejos glaciares de estudio se han instrumentado para observarlos directamente en campo: el volcán nevado Santa Isabel (cordillera Central, departamentos de Caldas, Tolima y Risaralda) y la sierra nevada El Cocuy o Güicán (cordillera Oriental, departamentos de Boyacá y Arauca). Gracias a este monitoreo en terreno, el primero de estos nevados ha sido incluido desde 2009 como un glaciar representativo con información detallada en los boletines de cambio glaciario global de la

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 9 de 106

principal red de datos glaciológicos en el planeta y usuario de la información: el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (*World Glacier Monitoring Service -WGMS-*) con sede en la Universidad de Zúrich en Suiza (<https://wgms.ch/>).

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, en el contexto del cambio climático, 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 BMG se vislumbran en el documento *M-GCI-E-PC008 Protocolo para la detección y análisis de necesidades de información de la dinámica glaciar en Colombia*.

Este reconocimiento y caracterización inicia por medio del Grupo de Servicio al Ciudadano, que en un proceso interno selecciona, depura y caracteriza las necesidades provenientes de usuarios externos (PQRS). Este proceso es realizado en el marco de la política "un mejor Estado al servicio de los ciudadanos", a partir del cual el IDEAM cuenta con un Servicio de Atención al Ciudadano que ofrece a toda la ciudadanía una orientación oportuna, trato amable y respuestas efectivas con respecto a las solicitudes de información relacionadas con el monitoreo glaciar (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 BMG.

Complementariamente, el IDEAM recolecta e identifica los usuarios y necesidades de información glaciológica por medio de la herramienta encuesta. Este recurso tiene como objetivo identificar y caracterizar los usuarios de la información glaciológica mediante el diligenciamiento de un cuestionario tipo formulario de Google, permite caracterizar y confirmar las necesidades de información. El link de acceso se encuentra en el documento *M-GCI-E-F015 Caracterización de necesidades de información glaciológica*. También se cuenta con el documento *M-GCI-E-F016 Directorio de usuarios de información glaciológica*. Este documento consiste en una lista actualizada de usuarios de información glaciológica en el que se identifica la entidad, datos de contacto, sector, temática de interés, necesidades específicas de información, así como una caracterización de estos.

Dichos documentos se alimentan a partir de la información recolectada con la *Encuesta de caracterización de usuarios de información glaciológica*; pero a su vez puede constatar usuarios con necesidades o solicitudes recibidas a través de mecanismos como reuniones, comités de expertos, mesas de trabajo, encuestas o requerimientos de organismos internacionales.

Según el cronograma general de la OE BMG estas herramientas de identificación están abiertas como canales de atención permanentemente y se revisan y actualizan las necesidades de los usuarios a intervalos planificados acordes con el documento *M-GCI-E-PC008 Protocolo para la detección y análisis de necesidades de información de la dinámica glaciar en Colombia*.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 10 de 106

A continuación, se desglosan las necesidades por sus características internas y externas:

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 (IERNR). 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 se están los glaciares estudiados.

- **Call for data” - WGMS**

El llamado a enviar datos o “*call-for-data*”, es la solicitud oficial del Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar – WGMS (por sus siglas en inglés) demandando el envío de datos de los glaciares donde está implementado el Balance de Masa Glaciar; mediante un correo electrónico masivo anual cada fin de año (meses octubre o noviembre), enviado a los 40 corresponsales o representantes nacionales de dicha organización. Esta entidad suiza sin ánimo de lucro, ha recopilado información de observaciones de glaciares desde hace más de un siglo y coordina internacionalmente la recopilación de datos sobre mediciones a glaciares entre ellos, datos de balance de masa. El acuerdo de solicitud y entrega de información es de manera voluntaria y bajo principios de colaboración científica. La necesidad de este organismo internacional por los datos generados a partir de la OE BMG es anual e ininterrumpida.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 11 de 106

9/4/2021 Correo de IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - WGMS call-for-data 2018/19


Jorge Luis Ceballos Lievano <jceballos@ideam.gov.co>

WGMS call-for-data 2018/19
10 mensajes

World Glacier Monitoring Service <wgms@geo.uzh.ch> 6 de noviembre de 2020, 3:35
Para: wgms@geo.uzh.ch

Dear National Correspondents of the WGMS,

With this email, I would like to officially announce our call for glacier fluctuations data for the observation period 2018/19 as well as addenda from and corrections for earlier years.

Please inform the Principal Investigators in your country and compile the observations of glacier changes in length, area, volume, and mass in full details. Thereto, please download the updated (!) version of the guidelines and of the digital data submission form as available from our website: https://www.wgms.ch/data_submission/

Based on a near-time reporting agreement with the Principal Investigators of our 'reference' glaciers (with more than 30 observation years), we are additionally calling for preliminary mass balance estimates of these glaciers for the current year (i.e. 2019/20).

The deadline for data submission is 1st of December 2020.

Based on the incoming data, we will update our online products and produce the Global Glacier Change Bulletin No. 4 (2018-2019).

If you have any further questions, please do not hesitate to contact us!

Kind regards

Michael Zemp, on behalf of the WGMS team

+ + + +

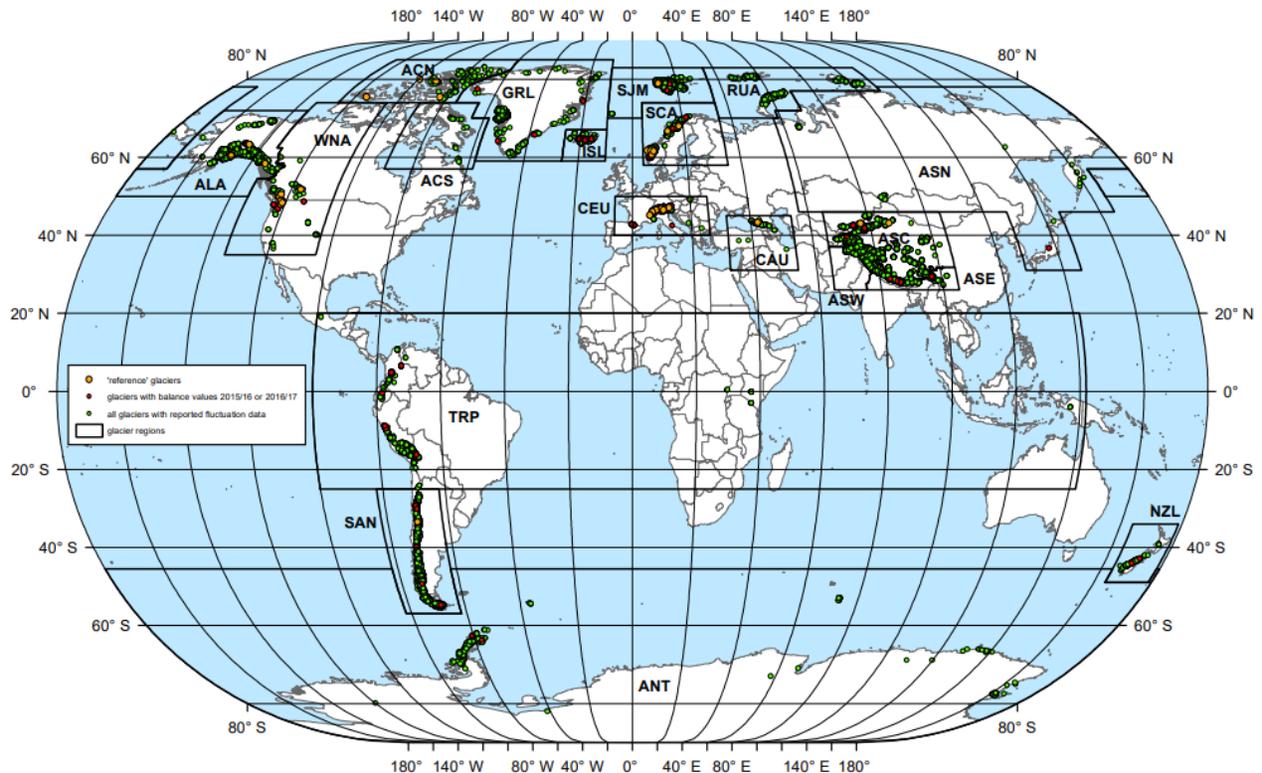
World Glacier Monitoring Service
Department of Geography
University of Zurich
Winterthurerstrasse 190
8057 Zurich
SWITZERLAND

wgms@geo.uzh.ch
<http://www.wgms.ch>

1. Modelo de correo electrónico del WGMS solicitando datos de glaciares para el año 2018/2019

Esta correspondencia supone la confirmación de la necesidad de información de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar por parte de esta autoridad mundial. En el caso de Colombia, al ser el IDEAM la única entidad pública encargada misionalmente del estudio de los glaciares colombianos, desde el año 2015 y hasta la actualidad, el profesional especializado de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, Jorge Luis Ceballos Liévano es el representante nacional de Colombia. Las tareas principales de los corresponsales nacionales son a) coordinar el monitoreo glaciar del país representado, b) ser el nodo central de comunicación entre el país y el personal del organismo internacional y c) ser el principal responsable de la recolección de datos y del envío de dichos datos para su publicación en la serie de boletines de cambio glaciar global, una de las publicaciones más importantes de este

organismo internacional. El último boletín de cambio glaciar global 2016-2017, recopila información de más de 7000 observaciones de balance de masa glaciológico en 460 glaciares en todo el mundo (WGMS, 2020).

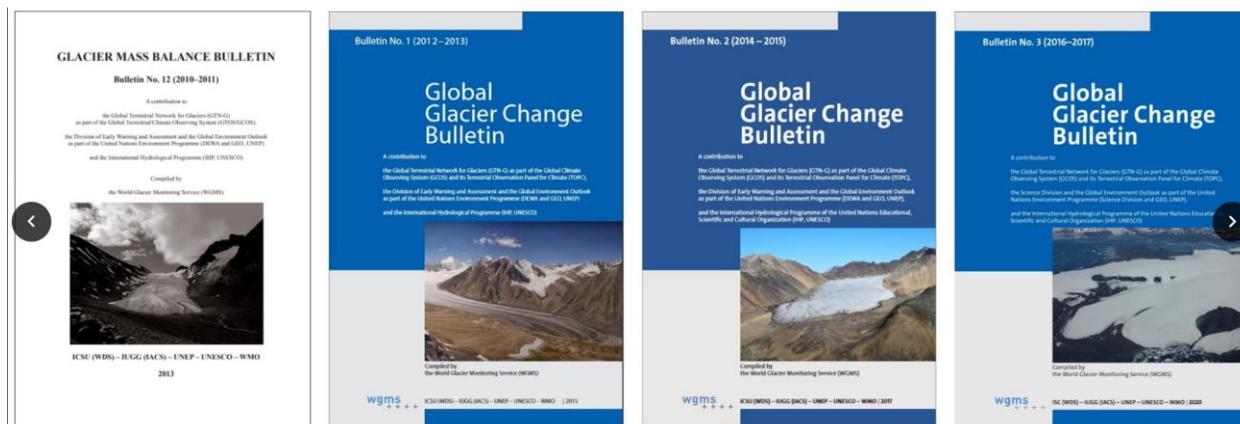


2. Lugares en el mundo donde se realizan observaciones de balance de masa glaciológico - puntos rojos (Zemp, et al., 2014)

La información básica reportada corresponde con la generada el año inmediatamente anterior de este “llamado de datos”, debido a la necesidad de reportar un año hidrológico completo. Por ejemplo, a mediados de octubre de 2017, la WGMS envió el call-for-data 2015/16, que concierne al cálculo generado en los dos glaciares de estudio durante el ciclo hidrológico 2016.

Son 163 glaciares en el mundo que reportan a esta entidad suiza datos de balance de masa. Para Colombia, el volcán nevado Santa Isabel (sector Conejeras), sitio de estudio monitoreado mensualmente desde abril del 2006, ha sido incluido en la red de glaciares del WGMS desde 2009 y la información publicada en la serie de documentos “Glacier Mass Balance Bulletin” a partir de la publicación No. 12 (https://wgms.ch/products_gmbb/). Posteriormente dicha entidad cambió el nombre de sus publicaciones llamándose “Global Glacier Change Bulletin” donde la información de este glaciar fue divulgada en los boletines números 1, 2 y 3 (<https://wgms.ch/ggcb/>). Gracias a la continuidad del monitoreo en Colombia, el segundo glaciar de estudio en terreno, sierra nevada El Cocuy o Güicán, (sector Ritacuba Blanco) ha ingresado con éxito a ser parte de la red de glaciares de observación mundial y figura en estas publicaciones en los números 2 y 3.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 13 de 106



3. Portadas de las publicaciones del WGMS. Boletín de balance de masa y boletines de cambio glaciar global con información detallada de Colombia.

A su vez, ser parte de esta red implica la contribución directa de la operación estadística con la *Global Terrestrial Network for Glaciers–GTN-G*, que hace parte del *Global Climate Observing System.GCOS* y el *Terrestrial Observation Panel for Climate-TOPC*; así como el aporte 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), por ejemplo, en el Informe especial sobre los océanos y la criósfera en un clima cambiante (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate- SROCC). De la misma forma, la información glaciológica liderada por el IDEAM hace parte de las actividades regionales en materia de glaciología y nivología en 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 UNESCO³ (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

³ 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 14 de 106

hídrica en Colombia (IDEAM, 2019). En esta publicación, con una periodicidad de cuatro años, se integra la información de Balance de Masa Glaciar como base de información y 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 Balance de Masa 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 bianualmente 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, IAvH, Invemar, IIAP y Sinchi, 2019). La información de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar ha sido reportada en los Informes del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables de los años 2017-2018 (IDEAM et.al., 2019), 2016 (IDEAM et.al., 2017), 2014 (IDEAM, 2015 B), 2011 (IDEAM et.al., 2013), 2010 (IAvH et.al., 2011).

- *Comunicación Nacional de Cambio Climático*

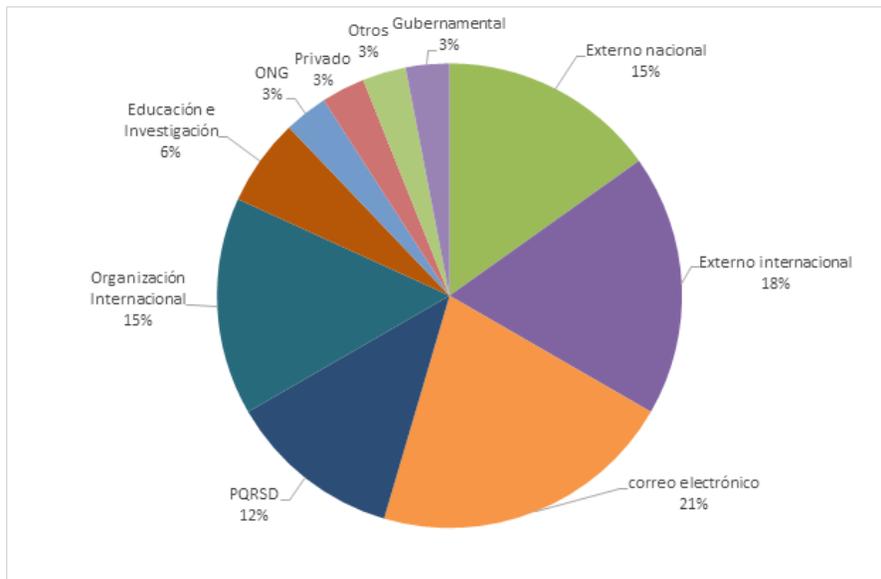
Esta Comunicación Nacional publicada por el IDEAM, es el principal mecanismo de reporte que tienen los países miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para comunicar los avances en la implementación de la Convención (IDEAM, PNUD, MADS, DNP y CANCELLETA, 2017). 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 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).

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. Lo anteriormente mencionado cumple con la sección 5.1 ‘Identificación de usuarios y necesidades de información’ de la NTC-PE 1000: 2020.

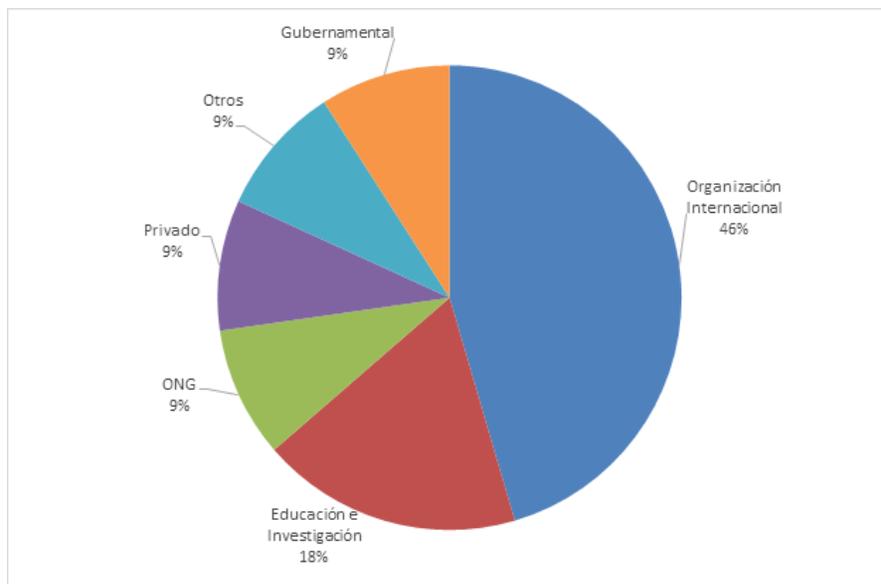
1.2. Análisis de las necesidades recolectadas (Sección 5.2)

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 del mayor interés del Instituto que la operación sea permanentemente actualizada y con plena fiabilidad y comparabilidad mundial. En tal sentido, acorde con el documento *M-GCI-E-PC008 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 al (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, un ejemplo de caracterización de necesidades y usuarios de información glaciológica en Colombia.



4. Caracterización por tipo de necesidades satisfechas desde 2014 - 2019.



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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 16 de 106

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, tiene particular relevancia, ya que la OE BMG 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.

Las operaciones estadísticas de dinámica glaciar del IDEAM son únicas para el país. Es así que, teniendo en cuenta la evidente relevancia del seguimiento a la dinámica de los glaciares en el mundo, lo cual refleja la importancia de la información estadística generada; los resultados de estas operaciones estadísticas evidencian a su vez un margen amplio para una mayor 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 Balance de Masa Glaciar* y la *Ficha metodológica para la operación estadística Balance de Masa 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 de la dinámica glaciar en Colombia, mediante el cálculo de balance de masa glaciológico por el método directo para los glaciares de estudio, que permita identificar el estado de estos glaciares conociendo sus pérdidas y ganancias de masa durante un periodo establecido.

1.4.2. Objetivos específicos

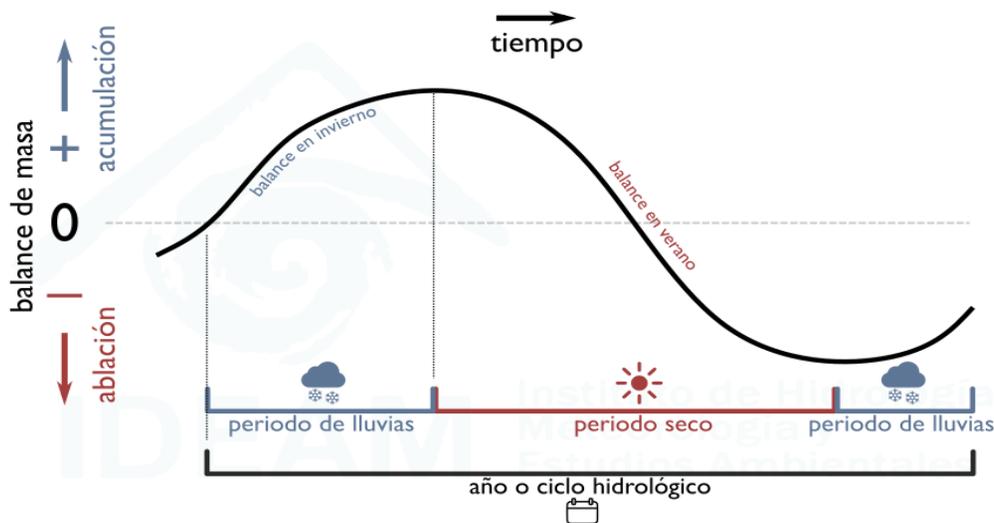
- Mantener en funcionamiento las redes instrumentales que permiten la captura de datos primarios y principales variables de balance de masa glaciar: área de glaciar de estudio, rangos altitudinales, área relativa por rango, sección de la baliza, emergencia de la baliza, densidad del hielo, espesor del hielo, densidad de la nieve y espesor de la nieve.
- Calcular por cada unidad estadística y periodo de medición el balance de masa específico, balance de masa total o ponderado, balance de masa acumulado y línea de equilibrio altitudinal.
- Calcular por cada unidad estadística y año hidrológico el balance de masa anual o neto y línea de equilibrio altitudinal anual.
- Calcular el indicador ambiental Balance de masa glaciológico.
- Publicar las estadísticas derivadas de la operación estadística en el portal web institucional.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 17 de 106

1.5. Identificación de conceptos (Sección 5.5)

En este punto, con la mira en asegurar la coherencia, la comparabilidad y la transparencia de la estadística producida es determinante la identificación de conceptos, en otras palabras, el alcance temático o el cuerpo teórico de la operación. De manera preliminar, se contextualiza e identifica la temática de la operación como: *el cambio de masa de un glaciar (medido como un volumen de agua líquida equivalente), ocurrido durante un lapso de tiempo, normalmente la duración del año hidrológico y para los sitios piloto escogidos por el IDEAM.*

La estimación del Balance de Masa Glaciar consiste en un cálculo periódico y cuantitativo de las pérdidas y ganancias de masa (hielo y nieve) derivado de mediciones en campo sobre la superficie glaciar mediante la aplicación de un método denominado ‘método directo o glaciológico’. Representa metafóricamente el estado de salud de un glaciar, pues indica cuánta masa (hielo y nieve) ha perdido o ganado durante un lapso de tiempo determinado. Bajo este cálculo, el glaciar es entendido conceptualmente como un sistema de entradas (+) y salidas (-). Las entradas representan ganancia o acumulación de masa (precipitación sólida); por el contrario, las salidas evidencian pérdida, ablación o derretimiento (fusión, evaporación y sublimación). Mediante mediciones directas sobre la superficie del glaciar en dos momentos diferentes, se estiman las salidas o entradas para el periodo de tiempo transcurrido. Para las entradas se considera únicamente la precipitación sólida (nieve y granizo) la cual, bajo determinadas condiciones ambientales, se acumula sin derretirse y puede transformarse en hielo. Para las salidas del sistema solo se considera la pérdida por fusión glaciar (estado sólido a líquido) y se despreja las pérdidas por evaporación y sublimación debido a su insignificante contribución en el balance y su difícil medición.



6. Esquema con un ejemplo hipotético de un balance de masa en un año o ciclo hidrológico en el que hay periodos de lluvias y un periodo seco. IDEAM, 2020

Al ser con el método denominado directo o glaciológico, las mediciones se realizan directamente en terreno y se soportan en la instalación y medición de una serie de estacas o balizas (tubos delgados de plástico, metal o madera) en forma vertical y enterrados a algunos metros de profundidad en el hielo, que permiten un muestreo sistemático. Las balizas son utilizadas -a modo de limnómetro en un río- para medir los cambios altitudinales de la nieve y el hielo

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 18 de 106

superficial. En este punto es fundamental tener en cuenta las longitudes medidas de materiales con diferentes densidades, de ahí que se necesita tomar en cuenta de una manera separada el balance de la nieve y el balance del hielo para calcular el balance al nivel de una baliza (Francou y Pouyaud, 2004). Una vez identificados estos procesos deben ser cuantificados, por lo que las mediciones continuas de las balizas sirven como referencia. De esta forma, la suma de las entradas y salidas de masa en un lapso conocido (dos mediciones), ponen evidencia el comportamiento del glaciar, si ganó o perdió masa, de acuerdo con las alturas y densidades medidas.

Tomando como principal y más actual referente internacional los glosarios del ‘Informe especial sobre los océanos y la criósfera en un clima cambiante del IPCC (2019) y el glosario de balance de masa y términos relacionados del Programa Hidrológico Internacional, aceptado por la WGMS (Cogley et.al., 2011), se identifican preliminarmente los siguientes conceptos y variables clave para la operación estadística.

1.5.1. Conceptos básicos

- **ABLACIÓN:** conjunto de procesos que reducen la masa de un glaciar. Incluye la transferencia de energía desde la atmósfera mediante procesos de radiación y flujos turbulentos en el aire adyacente a la superficie (IPCC, 2019).
- **ACUMULACIÓN:** conjunto de procesos que adicionan masa a un glaciar. Incluye la deposición por escarcha, lluvia helada, precipitación sólida en formas como nieve, vientos de nieve y avalanchas (IPCC, 2019).
- **AÑO o CICLO HIDROLÓGICO:** ciclo o período de un año dado por la sucesión natural de las estaciones hidrológicas en períodos de precipitación y períodos secos (Cogley et.al., 2011). Para los estudios de glaciología en Colombia se aproxima desde inicios del calendario gregoriano (mes de enero) hasta enero del año siguiente.
- **BALANCE DE MASA:** el cambio de masa de un glaciar (medido como un volumen de agua líquida equivalente), ocurrido durante un periodo de tiempo, normalmente la duración del año hidrológico. Un balance positivo indica acumulación de masa mientras que un balance negativo significa pérdida de masa (Cogley et.al., 2011).
- **BALIZA O ESTACA DE ABLACIÓN:** tubo delgado normalmente de plástico y de algunos centímetros de diámetro, enterrado en forma vertical a varios metros de profundidad dentro de la superficie del hielo. Sirve como instrumento con el cual se obtienen los datos mediante observaciones y mediciones directamente en campo de los cambios altitudinales de la superficie glaciar (Cogley et.al., 2011).
- **GLACIAR:** Cuerpo de hielo 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).
- **HIELO GLACIAR:** hielo que hace parte de un glaciar y que, a través de la compactación y la recristalización, sobrevivió al menos una temporada de ablación. Convencionalmente se entiende la densidad de 830 kg m⁻³ a la cual se compactan los espacios vacíos, es decir: la neviza se convierte en hielo de glaciar (Cogley et.al., 2011).
- **LÍNEA DE EQUILIBRIO:** El conjunto de puntos en la superficie del glaciar donde el balance de masa es cero en un determinado momento; la línea de equilibrio (Equilibrium-line altitude ELA) separa las zonas de acumulación y ablación (Cogley et.al., 2011).

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 19 de 106

- **MÉTODO GLACIOLÓGICO DIRECTO:** método para determinar el balance de masa de forma directa o in-situ, por medio de medidas de acumulación y ablación, generalmente balizas y pozos sobre el glaciar; método directo es un sinónimo (Cogley et.al., 2011).
- **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-3 (Cogley et.al., 2011).
- **PERFORADORA DE HIELO:** taladro de vapor de agua caliente que perfora la superficie del hielo y la nieve derritiendo un punto de diámetro definido a través del vapor de agua dispersado desde una punta metálica. El equipo de perforación completo consiste en un generador de vapor, una manguera de caucho y un tubo de perforación con puntas intercambiables (Rivera et.al, 2016).
- **ZONA DE ABLACIÓN:** la parte del glaciar donde la ablación excede a la acumulación (Cogley et.al., 2011).
- **ZONA DE ACUMULACIÓN:** la parte del glaciar donde la acumulación excede en magnitud a la ablación (Cogley et.al., 2011).

1.5.2. Variables estadísticas

- **ÁREA GLACIAR:** extensión en dos dimensiones del glaciar de estudio o parte de este cuando el límite del glaciar se proyecta sobre la superficie de un elipsoide que se aproxima a la superficie de la Tierra o sobre un plano (horizontal) aproximado a ese elipsoide (Cogley et.al., 2011).
- **ÁREA RELATIVA POR RANGO (Area-altitude distribution):** La distribución del área de los glaciares en rangos altitudinales (elevación), generalmente presentada como una tabla con valores hipsométricos que indica el área del glaciar dentro de sucesivos intervalos de altitud (Cogley et.al., 2011).
- **DENSIDAD DE LA NIEVE:** relación entre la masa del hielo y el volumen que ocupa. Convencionalmente, la línea divisoria entre nieve y neviza está cerca de una densidad de 400 kg m-3 (Cogley et.al., 2011). Para Colombia, convencionalmente se asume la densidad de la nieve en la superficie de los glaciares en 400 kg m-3.
- **DENSIDAD DEL HIELO:** relación entre la masa del hielo y el volumen que ocupa. Es muy común asumir que la densidad aparente del glaciar es 900 kg m-3 (Cogley et.al., 2011). Para Colombia, convencionalmente se asume la densidad del hielo en 900 kg m-3.
- **EMERGENCIA DE LA BALIZA:** medida vertical del segmento aflorado por fuera de la superficie del glaciar de una baliza en un punto fijo en el espacio, debido al vector de velocidad de flujo del glaciar en el sentido contrario (Cogley et.al., 2011). Altura de la baliza sobre la superficie (Rivera et.al, 2016).
- **ESPESOR DEL HIELO:** distancia vertical entre la superficie del glaciar y el lecho rocoso. El espesor del hielo se mide idealmente interpolando mediciones puntuales, realizadas con un equipo de radar de penetración de tierra (Cogley et.al., 2011).

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 20 de 106

- **ESPEJOR DE LA NIEVE:** distancia vertical entre la superficie del glaciar y la superficie del hielo para un punto cualquiera del glaciar, por ejemplo, una baliza o un pozo o calicata (Cogley et.al., 2011).
- **PROFUNDIDAD AL HIELO:** distancia vertical entre la parte final de la última sección de una baliza y la superficie del hielo. Se obtiene mediante la suma de la emergencia de la baliza (teniendo en cuenta posibles secciones de la baliza afloradas) y espesor de la nieve medidos directamente sobre la superficie glaciar.
- **RANGOS ALTITUDINALES:** secciones o intervalos altitudinales en las que se divide el glaciar y que fluctúan, generalmente, entre 50 y 100 m. Su determinación es importante ya que cada área relativa por rango del glaciar es afectada por el valor medido con la baliza (o del pozo) localizada en el rango en cuestión (Francou y Pouyau, 2004).
- **SECCIÓN DE LA BALIZA:** segmento del que se componen las balizas compuestas, lo que permite sustraer tramos de la baliza cuando la ablación es muy alta o por el contrario, agregar un nuevo segmento para así extender el largo total cuando la acumulación de nieve es suficiente como para sepultar una baliza (Rivera et.al, 2016). En Colombia, generalmente cada sección de la baliza tiene una longitud de dos metros y se denomina con un número ascendente (i, ii, iii...) empezando por la sección que se encuentra a mayor profundidad.

1.5.3. Indicadores estadísticos

El indicador ambiental Balance de Masa Glaciar, hace parte del conjunto de indicadores ambientales del IDEAM, reglamentados por la Resolución 667 de 2016 y a partir del Decreto 1086 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Corresponde a la sumatoria de la acumulación y de la ablación glaciar, en una unidad espacial de referencia en el tiempo. Ese cambio de masa se ve representado en una columna de agua equivalente ocurrido durante un lapso de tiempo definido, determinado normalmente, por la duración de un año hidrológico. Se representa bajo la siguiente ecuación:

$$b = c + a$$

donde b es el balance de masa específico, c es la acumulación y a es la ablación, todos medidos en cualquier punto del glaciar y expresados en volumen equivalente de agua.

Complementariamente otros indicadores estadísticos son producidos durante el proceso de la operación estadística:

- **Balance de masa glaciar intraanual:** Corresponde al balance de masa calculado dentro del año hidrológico. Ya que se realizan varias mediciones intraanuales es posible determinar el comportamiento del glaciar en diferentes temporadas climáticas (lluvia o seca) dentro de un año.
- **Nieve acumulada:** Durante las campañas de campo se toman datos de la nieve acumulada sobre la superficie glaciar en cada punto o baliza como una de las fuentes para calcular el balance de masa. Usando independientemente estos datos es posible calcular estadísticas intraanuales o anuales de cómo se comporta esta variable.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 21 de 106

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 e identificar el alcance temático y definir los conceptos básicos, es pertinente comprobar la disponibilidad de estos datos en otras 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, no existen otras operaciones estadísticas en el SEN y en otra entidad de alcance nacional o regional que produzcan información estadística que satisfaga las necesidades identificadas alrededor de *la dinámica de la pérdida o ganancia de masa en los glaciares colombianos*. No obstante respecto al registro histórico de la dinámica glaciar en Colombia y en aras de la claridad de la disponibilidad de datos en Colombia, 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, con 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 un *monitoreo glaciar a partir de la estimación del balance de masa glaciar por método glaciológico directo* de manera sistemática como se empieza a realizar con éxito por parte del IDEAM desde el año 2006 en el sector Conejeras del Volcán Nevado Santa Isabel.

La principal característica de esta operación es que es única en su tipo, por ello la entidad productora es la única con disponibilidad de datos con este alcance temático. En vista de la exclusividad y carácter único y especial de los datos producidos, la OE BMG 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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 22 de 106

- 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 balance de masa es calculada en todos los continentes y en la mayoría de los países bajo la misma metodología.
- 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 ‘Balance de Masa Glaciar’ ha permitido la construcción de esta operación estadística.

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 o anteproyecto de la operación estadística con el que se justifica su desarrollo. Asimismo, presenta una primera aproximación a los contenidos que son esenciales para sustentar 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 balance de masa glaciar*, consistente en una propuesta técnica y económica de este. Este mismo documento 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 anualmente el plan general completo 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 Balance de Masa Glaciar, como actividad misional de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental en el marco de los *Requisitos generales para el cumplimiento de la norma técnica colombiana del proceso estadístico (NTCPE 1000/2017-2020)*. En el plan de acción 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 esta evaluación permite, desde dimensionar la capacidad tecnológica requerida en términos de almacenamiento y procesamiento, hasta definir el presupuesto y las fuentes de financiación necesarias para 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 balance de masa glaciar*, documento operativo que sirve como insumo principal para la elaboración del mencionado Plan General.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 23 de 106

2. DISEÑO (CAPÍTULO 6 NTC PE 1000-2020)

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 y analizar los datos 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 balance de masa glaciar. Es fundamental ya que en este punto se definen todas las fases y procesos que se ejecutan posteriormente.

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 como Parques Nacionales, CAR's, entre otras entidades identificadas en el numeral 1.1 (Identificación de usuarios y necesidades de información), en una primera iteración o cuando se requiera de un rediseño de la operación estadística. Esto último indagando con otras entidades del SEN la existencia de información estadística que satisfaga las necesidades confirmadas.

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

La fuente de información es primaria, corresponde con los datos capturados en los puntos de observación sobre la superficie de los glaciares objeto de estudio directo por parte del IDEAM.

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 *balance de masa glaciar*.

2.3.1. Alcance temático (Título 6.3.1)

El alcance de la operación se confirma como *el cambio de masa de un glaciar (medido como un volumen de agua líquida equivalente), ocurrido durante un lapso de tiempo, normalmente la duración del año hidrológico y para los sitios piloto escogidos por el IDEAM*. En ese sentido el método glaciológico, directo o en terreno define un alcance que se traduce en la toma de datos directamente sobre la superficie de los glaciares. En cuanto al alcance geográfico se refiere a los glaciares seleccionados como sitios de estudio.

2.3.2. Marco de referencia (Título 6.3.2)

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 24 de 106

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**

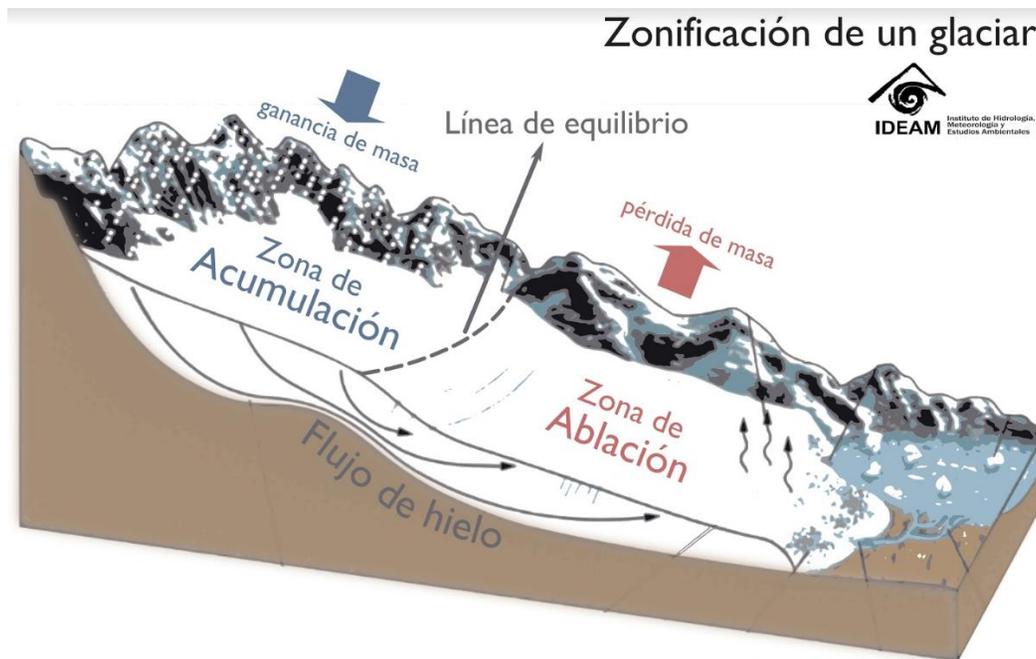
Un glaciar es definido como un cuerpo de hielo y nieve que cubre un sector de la superficie del planeta y se caracteriza por tener una zona de acumulación, una de ablación y una línea de equilibrio (IDEAM, 2012). Para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, es entendido como una masa perenne 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 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).

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).

Otro aspecto importante para entender el alcance temático de la operación estadística es la zonificación o partes de un glaciar. Un glaciar se compone de dos zonas principales en función de su altimetría: una zona de alimentación o

acumulación, en donde el hielo se forma, se mantiene y se alimenta de nieve y una zona de ablación o fusión, donde por condiciones atmosféricas el agua sólida cambia de estado a líquido, originando pequeños drenajes o escorrentías superficiales que alimentan los ríos. También puede ocurrir un proceso de sublimación, por el cual un sólido cambia de fase directamente a estado gaseoso sin fundirse. Adicionalmente, a estos dos grandes componentes los separa una franja conocida como Línea de Equilibrio (ELA por sus siglas en inglés), en la cual la suma algebraica de la pérdida y la ganancia de masa es igual a cero. Estos tres componentes cambian constantemente su localización dentro del glaciar con el paso del tiempo y a distintas escalas temporales según su geografía (mensual, estacional, interanual o interdecadalmente). 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 F).

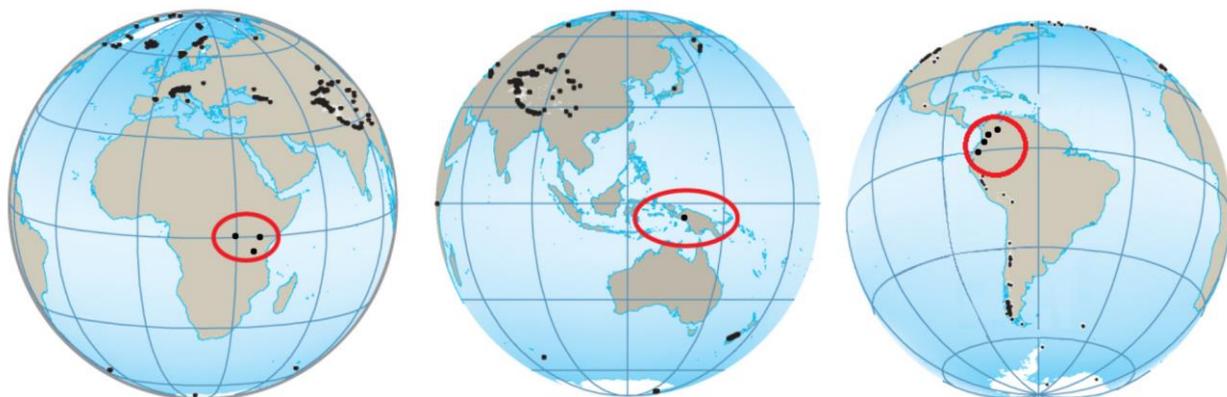


7. Esquema de la zonificación o partes de un glaciar. Elaboración propia. IDEAM, 2020.

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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 26 de 106

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 (Papua 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.



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

Es así como, teniendo este contexto temático más claro, se establecieron internacionalmente conceptos y variables encaminadas a comprender este comportamiento natural de las masas de hielo, particularmente relacionadas con la información estadística correspondiente a este documento: el balance de masa glaciar. El punto de partida del estudio sistemático de glaciares a nivel internacional se remonta al año 1894 con la fundación de la Comisión Internacional de Glaciares y actualmente es el WGMS el organismo heredero de esta comisión internacional, el cual tiene como objetivo recopilar los datos de balances de masa, volumen y fluctuaciones de glaciares de todo el planeta (Rivera et.al, 2016).

- **Balance de masa glaciar**

Consiste en un cálculo periódico y cuantitativo de las pérdidas y ganancias de masa (hielo y nieve), derivado del monitoreo de campo. Permite determinar la variación de volumen del glaciar, el desplazamiento del hielo y las cantidades de nieve precipitada (Francou y Pouyaud, 2004). Es definido como *el cambio de masa de un glaciar (medido como un volumen de agua líquida equivalente), ocurrido durante un lapso de tiempo, normalmente la duración del año hidrológico*. Un balance positivo indica acumulación de masa mientras que un balance negativo significa pérdida de masa (Cogley et.al., 2011). Esto se debe a que la mayoría de los estudios glaciológicos practicados actualmente en los Andes centrales considera al glaciar como un objeto hidrológico cuya masa cambia a corto plazo en función de las características del clima (Francou y Pouyaud, 2004). Por dicho motivo, se expresa generalmente en milímetros o metros equivalentes de agua (mm e.a. ó en inglés: mm w.e.). A continuación, se presenta una infografía explicativa de las unidades en que se expresa esta variable.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 27 de 106



9. Infografía explicativa de la equivalencia de -2000 mm e.a. en un glaciar. IDEAM, 2019

En resumen, los conceptos y variables de la operación estadística son una adopción y aplicación de directrices y experiencias internacionales existentes sobre el objeto (los glaciares) y método (balance de masa) de estudio. En aras de ello, se toman conceptos estandarizados de referencia internacional como el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar, el 'Método de Observación de Glaciares en los Andes Tropicales' del Instituto francés de Investigación para el Desarrollo IRD (Francou y Pouyaud, 2004) y los glosarios del Programa Hidrológico Internacional-(PHI-UNESCO) y la Asociación Internacional de Ciencias Criosféricas (IACS) (Cogley et.al., 2011) o del Informe Especial sobre los Océanos y la Criósfera en un clima cambiante del IPCC (2019).

Con base en esta información conceptual, metodológicamente, el IDEAM determina los estándares estadísticos que serán incorporados en la operación estadística, optando por la aplicación del método glaciológico dentro de los diferentes métodos de estimación del balance de masa. El método glaciológico directo se utiliza para determinar el balance de masa de forma directa o *in-situ*, por medio de medidas de acumulación y ablación, generalmente balizas y pozos sobre el glaciar (Cogley et.al., 2011). Es la metodología más común de estimación de masa directamente en terreno y se lleva a cabo, como ya se ha introducido anteriormente, mediante la instalación de una red de estacas o balizas en la mayor parte del glaciar, pero teniendo en cuenta que en la zona más alta del glaciar, donde teóricamente la acumulación supera a la ablación, se excavan pozos o se hacen perforaciones donde se mide directamente la cantidad de nieve o hielo acumulado entre el inicio y el fin del año hidrológico (Francou y Pouyaud, 2004). A continuación, se profundiza en el método glaciológico o directo.

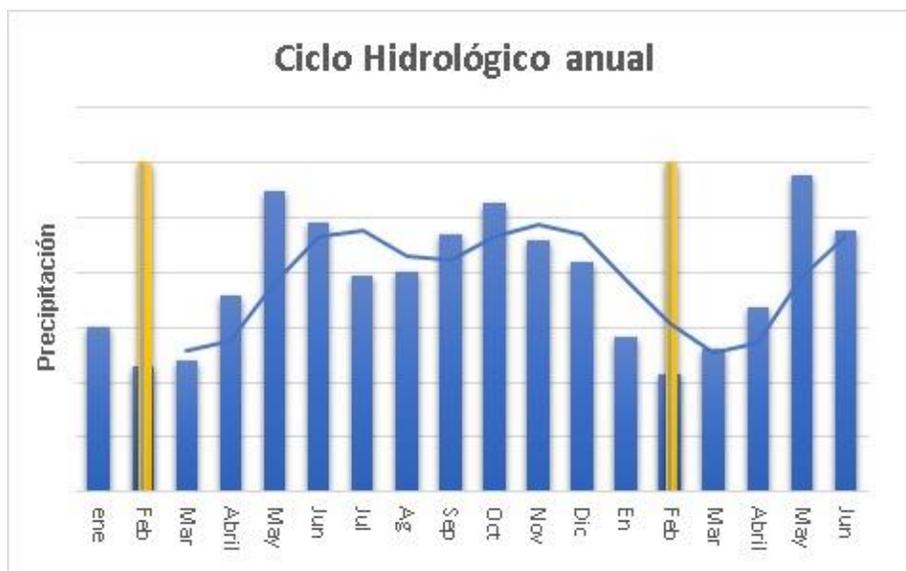
- **Método directo o glaciológico (in situ)**

El método usado para obtener el dato de balance de masa para un glaciar de estudio es el método glaciológico de forma directa o *in-situ*. A grandes rasgos, este método consiste en mediciones que se realizan directamente en terreno. Consta de los siguientes conceptos y actividades: definición de un año hidrológico, instalación de una red de balizas,

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 28 de 106

perforación del glaciar, levantamiento de datos sobre la red de balizas, levantamiento topográfico del área de estudio, definición de rangos altitudinales y cálculo de parámetros.

El Año Hidrológico: Se define el periodo de medición para el reporte final y oficial de la operación estadística. Para el cálculo del balance de masa ese periodo se llama Ciclo o Año Hidrológico y debe corresponder a un ciclo estacional completo del comportamiento del clima de la región donde está el glaciar, esto es, inicio de un periodo húmedo o seco y finaliza al año siguiente en el mismo periodo húmedo y seco. De acuerdo con la secuencia bimodal que caracteriza la región natural Andina colombiana donde están los glaciares monitoreados y de acuerdo con la experiencia adquirida que tiene en cuenta esa condición natural más la administrativa de las instituciones gubernamentales, se ha definido el ciclo hidrológico desde inicios de febrero a inicios de febrero del año siguiente que coincide con el fin de una temporada seca (enero-febrero) e institucionalmente están disponibles los recursos humanos y presupuestales (contratación, fin de temporada vacacional y transferencias presupuestales desde el gobierno central).

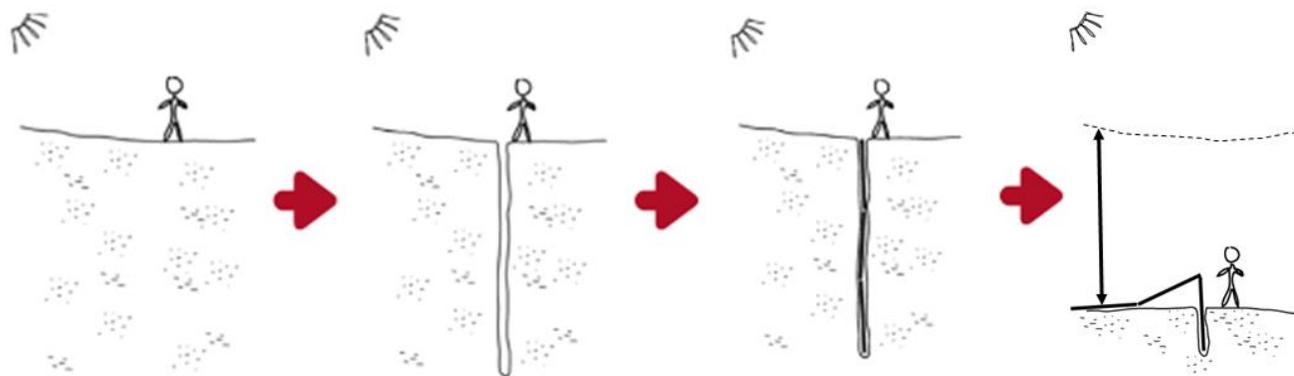


10. Ciclo o año hidrológico anual establecido para el cálculo del balance de masa de los dos glaciares de estudio.

La red de balizas: Técnicamente, el instrumento de medición indispensable para la recolección de los datos, son las balizas o estacas de ablación. Las balizas son normalmente instaladas en un glaciar insertándolas dentro de su superficie. En Colombia, consiste en un tubo delgado normalmente de policloruro de vinilo (llamado comúnmente PVC) y de una pulgada de diámetro, enterrado en forma vertical a varios metros de profundidad dentro de la superficie del hielo (generalmente de 10 a 12 metros) utilizando una perforadora de hielo a vapor. A medida que el hielo se derrite va quedando expuesta la baliza, entonces para evitar daños o roturas por sobreesfuerzos (vientos) la baliza se divide en tres partes o secciones para darle flexibilidad. Cada sección de la baliza tiene normalmente una longitud de dos metros y se unen mediante una cuerda o cadena. Se opta por los tubos de PVC ya que son resistentes, livianos para su transporte y de fácil adquisición. La experiencia en el monitoreo glaciar en otros países andinos demuestra que son los tubos rígidos de PVC de una pulgada de diámetro los que ofrecen la mejor garantía de resistencia (Francou y Pouyaud, 2004). Cada baliza debe codificarse y materializarse en su extremo mediante una placa identificatoria y cada sección debe enumerarse (usualmente con números romanos, I, II, III para su fácil identificación). La primera sección

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 29 de 106

(l) de la baliza será la que queda a mayor profundidad en el hielo y así consecutivamente hacia el exterior. Una baliza cumple la función de sensor, mediante el cual se obtienen los datos directamente en el lugar donde se encuentra. A medida que el glaciar cambia su superficie, es decir, aumenta o disminuye su elevación por acumulación de nieve o por derretimiento, ese cambio se refleja en la baliza ya que ésta permanece inmóvil, permitiendo que ese cambio pueda ser medido (centímetros o metros). A la parte o segmento de la baliza que sobresale del glaciar y está expuesta a la vista, se le denomina emergencia de la baliza, segmento que es objeto de medida.



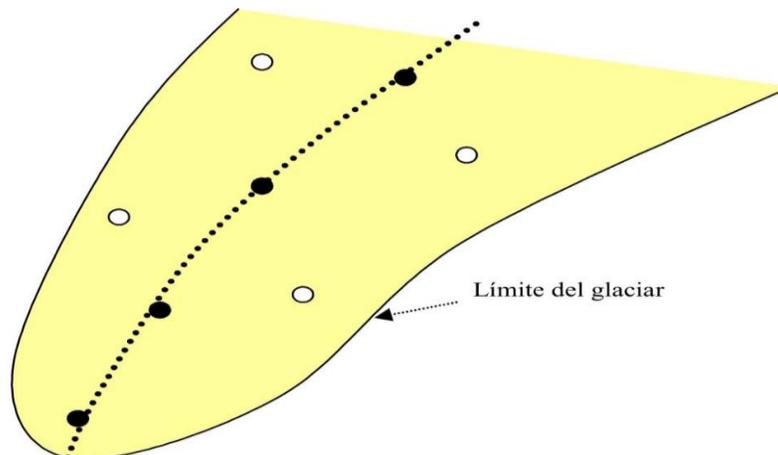
11. Secuencia de ablación glaciar y su medida mediante baliza o estaca en la superficie glaciar. En el primer y segundo recuadro el investigador se encuentra sobre la superficie (1) y perfora el hielo (2). En el tercer recuadro instala una baliza compuesta

Debido a que la medida lineal hecha en la baliza (emergencia), representa el cambio de la superficie en ese punto donde está instalada, es necesario conformar una red de balizas distribuidas espacial y uniformemente sobre el glaciar para conformar una red de puntos que representen la dinámica del glaciar mediante el Balance de masa. No existe un número mínimo ni máximo de balizas; dadas las condiciones únicas de cada glaciar y capacidades logísticas de cada país o entidad. No obstante, el número de balizas o instrumentos instalados es directamente proporcional a la precisión del dato del balance de masa. A continuación, algunas determinaciones de la red de balizas instaladas tenidas en cuenta del método de observación de glaciares en los Andes tropicales del Instituto francés de Investigación para el Desarrollo IRD (Francou y Pouyaud, 2004).

1. La red de balizas tiene que ser fija (número y posición), para que los datos obtenidos sean comparables entre ciclos hidrológicos.
2. En una zona de fuerte ablación glaciar, no se debe esperar a que la baliza salga del glaciar por completo para re-instalarla.
3. La distribución espacial de las balizas privilegia el eje central del glaciar, donde existe mayor flujo. Así mismo se colocan balizas secundarias hacia los costados del glaciar de estudio; todo esto formando una red regular que cubre el glaciar.
4. Evitar colocar una baliza al lado de una grieta, corriente superficial o demasiado cerca al borde glaciar.
5. Distribuir las balizas regularmente teniendo en cuenta el relieve del glaciar, esto con el fin de obtener una buena curva de balance/altitud.



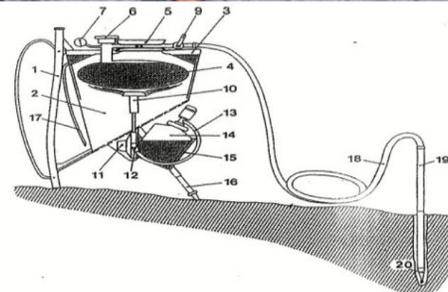
12. Una baliza de ablación glaciar y su medición de la emergencia



13. Esquema de una red ideal de balizas en una lengua de ablación glaciar. La línea punteada representa el eje central del glaciar, los puntos negros las balizas principales y los puntos blancos las balizas secundarias (Francoy y Pouyaud, 2004).

La perforación del glaciar: La perforación es una actividad para la instalación de balizas o estacas de ablación en el glaciar y a unos cuantos metros de profundidad utilizando un equipo especializado, el cual puede ser un taladro manual o con motor, o una perforadora de hielo a vapor. El IDEAM ha adoptado el uso del sistema de vapor de agua caliente, el cual consiste en derretir la nieve y el hielo en orificios de 2 a 3 centímetros de diámetro y de forma vertical desde la superficie hasta algunos metros de profundidad (6 a 10 m). El equipo de perforación consiste en un generador de vapor

de agua mediante la ebullición de agua líquida a alta presión. El vapor es conducido por una manguera de caucho de varios metros de longitud (generalmente 12) que funde el hielo. El combustible del taladro a vapor es gas comprimido butano/propano. Las ventajas de esta perforadora son su peso liviano, fácil transporte, operación y funcionamiento eficiente en altitud.



- | | | | | |
|---------------------|-------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|
| (1) Frame | (6) Filler Cap | (11) Gas Pressure Regulator | (16) Length adjustable Legs | (21) Service Tube |
| (2) Aluminum Casing | (7) Manometer | (12) Connector Socket for the Gas Hose | (17) Drainage Hose | (22) Scoop |
| (3) Circular Bowl | (8) Piezo Igniter | (13) Gas Hose | (18) Bore Hose | (23) Fastener of the Drilling Pipe |
| (4) Boiler | (9) Steam Valve | (14) Gas Cartridge | (19) Drilling Pipe | (24) Storage of Cartridges |
| (5) Wind shield | (10) Gas Burner | (15) Cartridge Container | (20) Drill Tip | (25) Guide for the Hose |

14. Esquema de equipo completo de perforadora de hielo y actividad de perforación. IDEAM, 2020

Levantamiento de datos en la red de balizas: La técnica principal de recolección aplicada en la operación consiste en la observación directa, debido a que la obtención de las medidas se lleva a cabo directamente sobre la superficie del glaciar. Esta medición directa o en terreno, consiste en la captura del dato de la “emergencia” de la baliza, es decir de la distancia lineal en el sistema métrico que sobresale la baliza de la superficie del glaciar, así como la medida del manto de nieve desde la superficie hasta el hielo. Como se ha referido anteriormente en el proceso estadístico, una baliza o estaca consiste en un tubo delgado, normalmente de policloruro de vinilo (PVC) y de algunos centímetros de diámetro, enterrado en forma vertical a varios metros de profundidad dentro de la superficie del hielo con una perforadora de hielo y compuesto de varias secciones.

La captura del dato numérico es el registro escrito en libreta de campo o medio electrónico. Para la ejecución de este método se requiere confeccionar una cartilla de mediciones estandarizada, breve, rápida y fácil de comprender en una

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 32 de 106

fase de análisis posterior; una preparación cuidadosa de esta ficha asegura que la información contenida en ella pueda ser complementada de manera fácil con lecturas realizadas en otras visitas (Rivera et.al, 2016). De esta forma, para llevar a cabo este proceso con éxito, el diseño de la recolección tiene como base el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*.



15. Captura de datos y observaciones mediante libreta de campo. IDEAM, 2019.

Las variables medidas sobre balizas de ablación son las siguientes:

- Código de la baliza: denominación diferencial con la que se reconoce ese sensor particular ubicado en una georreferenciación específica. Normalmente se usan números enteros para denominar las balizas, no obstante, el número es únicamente un código o nombre de esta.
- Centímetros o metros de emergencia: medida vertical del segmento aflorado por fuera de la superficie del glaciar de dicha baliza o la altura de la baliza sobre la superficie.
- Sección: denominación del segmento del que se componen las balizas; generalmente cada sección de la baliza tiene una longitud de dos metros y se denomina con un número ascendente (i, ii, iii...) empezando por la sección que se encuentra a mayor profundidad.
- Centímetros de nieve: medida vertical entre la superficie del glaciar y la superficie del hielo para un punto adyacente al lugar de medición; o un promedio estimado a partir de varias medidas alrededor de este, en la eventualidad que el grosor de la nieve encontrada sea muy irregular.
- Casilla de fotografía: casilla que permite tener un control en campo sobre la toma de complementos de fotografía o video de la medida realizada en la baliza de ablación específica.
- Observaciones: características encontradas en el lugar o en el sensor de medición que ameriten tomar nota previendo una visita posterior o mayor facilidad en el procesamiento y análisis de dicha medición.

Estas variables son el insumo principal para el diligenciamiento en la libreta de campo del esquema predefinido en *Formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar*.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 33 de 106

Adicionalmente, las variables medidas sobre pozos o calicatas de acumulación son las siguientes:

- Código de la muestra: denominación diferencial con la que se reconoce ese pozo en particular, ubicado en una georreferenciación específica.
- Centímetros de longitud: profundidad de la muestra de nieve tomada respecto a la superficie del glaciar. Esto debido a que en una misma calicata se toman diferentes muestras de nieve o neviza, a diferentes profundidades.
- Gramos de peso: el peso total de la muestra en gramos, incluyendo el tubo o recipiente utilizado en la medición.
- Tipo: medidas cualitativas de nivometría de la muestra donde se especifica si es nieve fresca, neviza blanda o dura o hielo.
- Casilla de fotografía: casilla que permite evidenciar si hubo toma de fotografía o video para un posterior control y seguimiento de la recolección de datos.
- Observaciones: características encontradas en el lugar de medición que ameriten tomar nota previendo una visita posterior o mayor facilidad en el procesamiento y análisis de dicha medición, tales como el espesor total de la nieve o profundidad del pozo hasta la superficie del hielo.

Estas variables son el insumo principal para el diligenciamiento en la libreta de campo del esquema predefinido en los formatos *para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar y para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*.



16. Medidas de emergencia sobre balizas de ablación. IDEAM, 2020.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 34 de 106



17. Toma de medidas sobre pozos de acumulación. IDEAM, 2020.

El levantamiento topográfico: Una vez distribuidas las balizas o estacas se debe delimitar con precisión el glaciar para el cálculo del balance de masa mediante un levantamiento topográfico que proporciona la planimetría (perímetro y área) y la altimetría (rangos altitudinales).

El levantamiento topográfico es definido aquí como la técnica y ciencia de determinar con precisión la posición tridimensional de puntos en un glaciar, de manera que se puedan determinar áreas y diferencias altitudinales, es decir establecer coordenadas x, y, z. El levantamiento topográfico es una actividad de recolección de información importante para la operación estadística, dado que el conocimiento detallado del área, perímetro y relieve del glaciar de estudio son insumos fundamentales en el proceso estadístico. Como se ha previsto en el diseño temático, en Colombia se realiza dicho levantamiento anualmente y para cada uno de los sitios de estudio. Es importante recalcar que este proceso puede ser emulado mediante un trabajo de restitución aerofotogramétrica o procesamiento de imágenes satelitales, según sea la capacidad logística y las condiciones propias de cada sitio de estudio.

Existen levantamientos topográficos mediante varias técnicas tales como con teodolitos manuales o electrónicos, distanciómetro o medidor láser (EDM), sistemas inerciales o tecnología LIDAR (Francou y Pouyaud, 2004). En el IDEAM, la topografía superficial del glaciar en la operación estadística es obtenida a partir de muestreos puntuales de alta precisión con equipos tipo GNSS (Global Navigation Satellite System), un sistema satelital de posicionamiento global que incluye los sistemas estadounidense GPS (Global Positioning System), ruso GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) y europeo Galileo (Rivera et.al, 2016). El empleo de esta técnica implica, en primera medida, la determinación de un punto base del levantamiento, en el que se instala un receptor GNSS sobre un punto en el área con coordenadas previamente conocidas. Seguidamente, para determinar las coordenadas de puntos en el glaciar se hacen mediciones con otro receptor GNSS recorriendo a pie el glaciar. La lectura combinada de los dos receptores permite calcular inmediatamente las coordenadas con una precisión centimétrica.

Los pasos de recolección de datos topográficos consisten en:

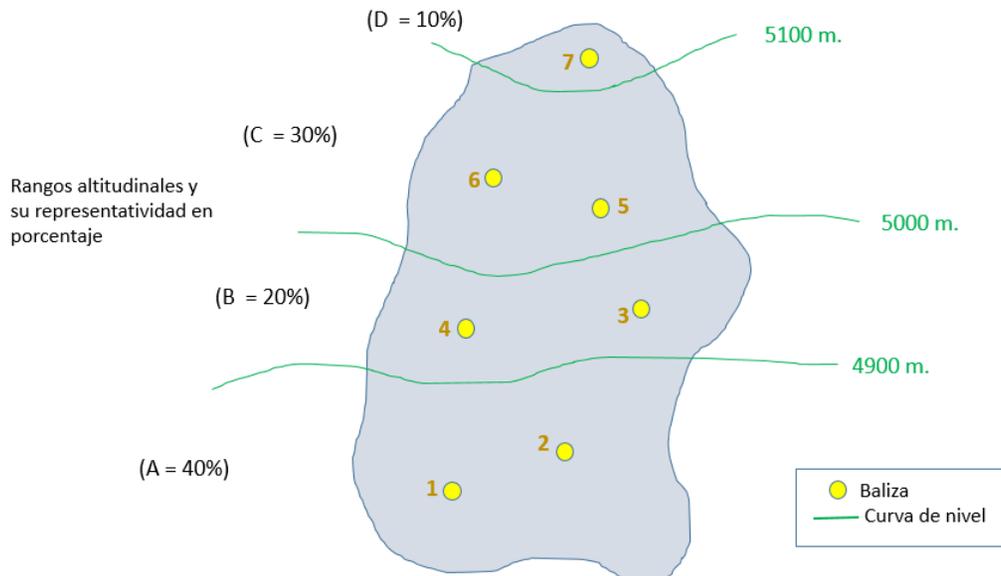
1. Montaje de receptores base y móvil (la Base como antena principal, siempre debe ser ensamblada en su respectivo trípode y cumplir con los requerimientos de aplomado habituales; por su parte el receptor móvil se traslada por el terreno medido).
2. Recorrido del levantamiento.

3. Post procesamiento.



18. Receptor base y receptor móvil del levantamiento topográfico con GPS diferencial. IDEAM, 2018.

Los rangos altitudinales: consiste en la división del glaciar en rangos altitudinales que fluctúan, generalmente, entre 50 y 100 metros. Su determinación es importante ya que cada área relativa por rango es afectada por el valor medido con la baliza localizada en el rango en cuestión (Francou y Pouyau, 2004). Esta división se hace en oficina con base en el levantamiento topográfico.



19. Ejemplo de rangos altitudinales determinados a partir de un levantamiento topográfico.

Cálculo de parámetros: Una vez se tiene clara la topografía superficial se procede al cálculo del balance de masa a partir de los datos tomados en campo. Para estimar el balance de masa total de un glaciar, los datos de campo

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 36 de 106

representan puntos específicos y provienen de la red de balizas. Al balance de masa calculado para cada baliza o punto se le denomina balance de masa específico el cual es una medición discreta y suele simbolizar con letra minúscula en la siguiente ecuación:

$$b = c + a$$

donde b es el balance de masa específico, c es la acumulación y a es la ablación, todos medidos en cualquier punto del glaciar y expresados en volumen equivalente de agua (Rivera et.al, 2016). En segundo lugar, el balance de masa es una medición en un punto del glaciar entre dos periodos de medición $\frac{db}{dt}$, por lo cual la ecuación básica teniendo en cuenta esta cualidad es:

$$\frac{db}{dt} = \frac{\rho dh}{dt}$$

donde ρ es la densidad del hielo de espesor h , que varía según el tiempo t . Lo anterior asumiendo un cambio de la masa de hielo con densidad constante (Francou y Pouyaud, 2004). No obstante, si se tiene en cuenta que, como se ha predefinido en la identificación de conceptos, en ese punto específico del glaciar se toman medidas lineales en materiales con diferentes densidades como la del hielo y la nieve, se tiene que el balance en un punto del glaciar entre dos periodos de medición es:

$$b_i = \rho_0 \Delta h + (\rho_2 h_2 - \rho_1 h_1)$$

donde b_i corresponde al balance de masa en el sitio i , ρ_0 es la densidad del hielo y Δh su cambio de espesor. El primer término de la ecuación representa por tanto el balance del hielo. La segunda parte de la ecuación representa el balance o la diferencia del material poroso (nieve o neviza) ρ_2 y ρ_1 en función del tiempo (Francou y Pouyaud, 2004). De esta forma se tiene el balance o cambio de masa para un punto específico entre dos mediciones particulares o fechas fijas. Pero es necesario hacer dos extensiones: la primera de ellas temporal y la segunda espacial.

Temporalmente es requerido integrar todo el año hidrológico, al cual se denomina balance de masa anual o neto y representa la suma de la acumulación y la ablación a lo largo de un año hidrológico (Cogley et.al., 2011). Sencillamente, el balance específico anual se expresa de la siguiente manera:

$$b_n = c_t + a_t$$

donde b_n es el balance de masa específico anual, y c_t es la acumulación y a_t es la ablación específica total durante el año de balance, por ejemplo, año hidrológico (Rivera et.al, 2016).

Ahora bien, espacialmente se requiere obtener un valor de balance de masa representativo del glaciar por unidad de área, lo que constituye un parámetro único de comparación con glaciares vecinos y de otras regiones climáticas (Rivera et.al, 2016). Este es el denominado balance de masa ponderado o total, según la extrapolación por rangos altitudinales o por el glaciar en su totalidad. El balance de masa total es aquel integrado a toda la superficie o área del glaciar después de un proceso de interpolación (Rivera et.al, 2016). Normalmente, los términos de balance de masa cuando son referidos para el glaciar en su totalidad son expresados con letra mayúscula. Atendiendo al principio básico

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 37 de 106

explicado anteriormente, es decir la ponderación del balance específico según las áreas por rangos relativos, el balance de masa total B_n se expresa como:

$$B_n = \frac{1}{S} \left(\sum_{i=1}^j b_i S_i \right)$$

donde S corresponde a la superficie total del glaciar estudiado; b_i al balance ponderado por área S_i dentro de los rangos de altura (j) (Francou y Pouyaud, 2004).

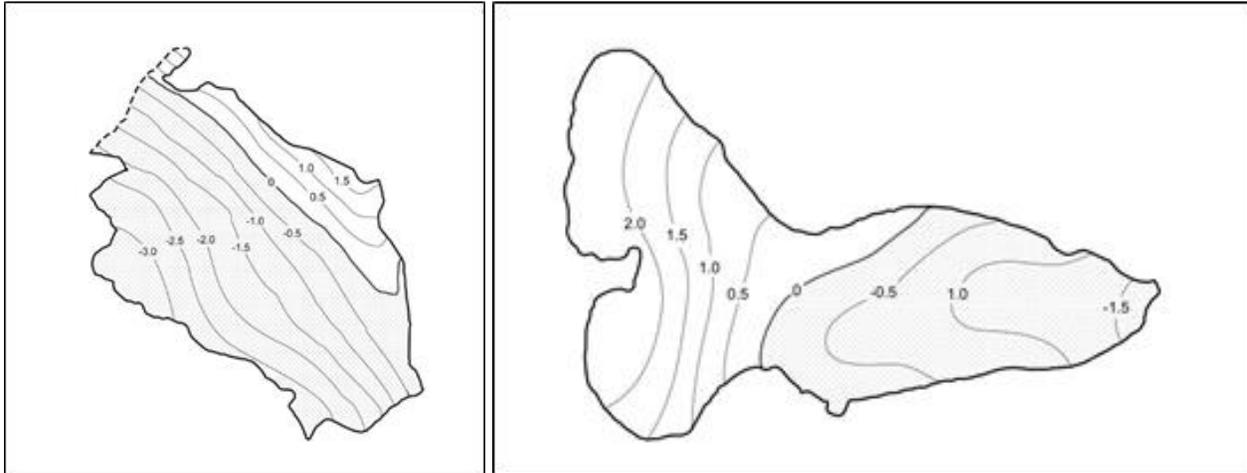
El paso siguiente resulta de ponderar el balance relativo de cada rango altitudinal por su superficie relativa a partir de la siguiente ecuación para obtener un balance representativo para todo el glaciar de estudio (B_n):

$$B_n = \sum_{i=1}^j B_i \frac{S_i}{S}$$

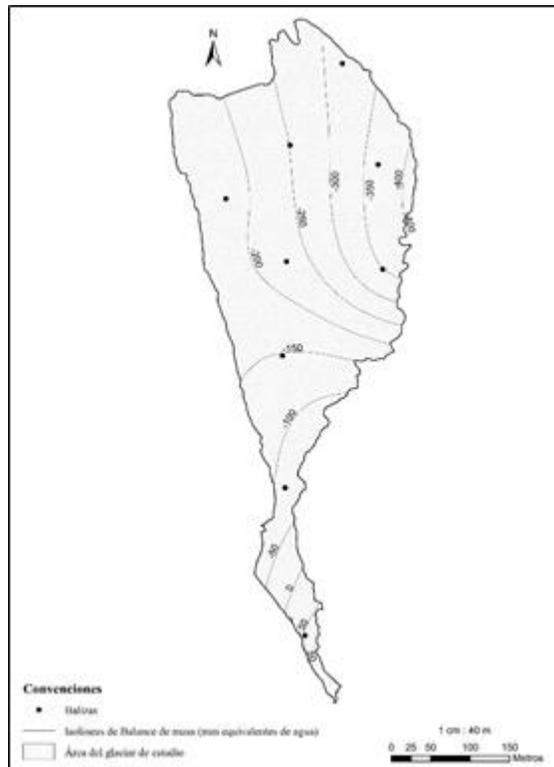
donde B_i corresponde al balance de un rango altitudinal i , S_i a la superficie del rango altitudinal y S a la superficie total del glaciar (Francou y Pouyaud, 2004).

Otro componente fundamental del marco teórico y conceptual del diseño temático es el hecho de que cuando se relacionan los valores de balance de masa en función de la altitud se puede determinar la línea de equilibrio (Equilibrium-Line Altitude ELA), un dato muy útil ya que en dicha relación es posible identificar a qué altitud el balance de masa es cero en un determinado momento. La línea de equilibrio separa las zonas de acumulación y ablación (Cogley et.al., 2011). El comportamiento de la línea de equilibrio puede expresarse según la temporalidad (ELA anual o mensual) y según las estacionalidades. En otras palabras, permite estimar la altitud a partir de la cual, hacia abajo, el glaciar deja de acumular masa. Se determina a partir del gráfico del balance en función de la altitud: es la altura indicada por la curva cuando corta el eje de valor 0 del balance (Francou y Pouyaud, 2004).

Complementariamente, se diseñan y producen productos geoespaciales como los mapas de balance de masa para cada uno de los sitios de estudio. Los mapas de isolíneas de balance de masa son una herramienta que proporciona mucha utilidad para espacializar el balance de masa. Consiste básicamente en trazar, sobre un fondo cartográfico cartesiano reciente del glaciar, las líneas de igual balance a partir de la información espacializada de balance de masa específico (Francou y Pouyaud, 2004). El trazado de dichas líneas requiere de una extrapolación de la información puntual a poligonal, es decir la generación de isolíneas a partir de puntos discretos de medición. Las instrucciones temáticas y técnicas detalladas sobre la fabricación de estos mapas hacen parte de la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.



20. Ejemplos de mapas de isólinas de balance de masa en los glaciares de Yala (Nepal) y Storglaciären (Suecia). (WGMS, 2020)



21. Ejemplo de un mapa de isólinas de balance de masa en el glaciar de estudio Santa Isabel, sector Conejeras. IDEAM, 2018.

Como conclusión, el diseño temático permite comprobar que hay concordancia entre los objetivos de la operación y la estructuración temática de esta. A nivel temático o conceptual se comprueba la comprensión, estructura y contexto adecuado de la operación estadística Balance de Masa Glaciar.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 39 de 106

Marco Legal o normativo

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

Es perenne recordar que esta operación estadística no tiene comparación en nuestro territorio, por esta razón se basa en estándares internacionales, aplicando la metodología de 'Balance de masa glaciar' detallada en el documento *“Métodos de observación de glaciares en los Andes Tropicales, mediciones de terreno y procesamiento de datos”* de los autores Bernard Francou y Bernard Pouyaud (Francou y Pouyaud, 2004) reconocida en el ámbito mundial y aplicada con éxito en los Andes.

A escala de América Latina, el continente cuenta con importantes entidades públicas y privadas que se dedican total o parcialmente a la glaciología en la región 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 y el Centro de Estudios Científicos (CECs) en Chile, y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) en Bolivia.

Se destacan igualmente los trabajos en Latinoamérica de organismos como el IGE (Institut des Géosciences de l'Environnement - Université Grenoble Alpes) e IRD (Institut de Recherche pour le Développement) de Francia; así como IACS (International Association of Cryospheric Sciences) en USA, ACINN (Department of Atmospheric and

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 40 de 106

Cryospheric Sciences) de la Universidad de Innsbrück en Austria, y finalmente UNIL (Institute of Earth Surface Dynamics-University of Lausanne) y el grupo de glaciología y geomorfodinámica de la Universidad de Zürich de Suiza. Igualmente, un amplio conjunto de Universidades públicas y privadas en la región y en el mundo dedican parte de su equipo de trabajo e infraestructura a la glaciología por ser una ciencia que necesita de enseñanza e investigación continua.

2.3.3. Nomenclaturas y clasificaciones (Título 6.3.3)

Las clasificaciones y nomenclaturas referidas son aceptadas y usadas por el WGMS, las cuales están disponibles en: <https://wgms.ch/>. Específicamente, el WGMS dispone de una clasificación y nomenclatura internacional, la cual utiliza la operación estadística. Estas se encuentran disponibles en el documento ‘*General Guidelines for Data Submission and Notes on the Completion of Data Sheets*’ disponible en https://wgms.ch/downloads/WGMS_AttributeDescription.pdf. Bajo esta clasificación y nomenclatura estandarizada internacional, los glaciares de estudio tienen las siguientes características [descripción del campo]:

1. POLITICAL UNIT [alphabetic code; 2 digits]
2. GLACIER NAME [alpha-numeric code; up to 60 digits]
3. WGMS ID [numeric code; 5 digits]
4. GEOGRAPHICAL LOCATION (GENERAL) [alpha-numeric code; up to 30 digits]
5. GEOGRAPHICAL LOCATION (SPECIFIC) [alpha-numeric code; up to 30 digits]
6. LATITUDE [decimal degree North or South; up to 6 digits]
7. LONGITUDE [decimal degree East or West; up to 7 digits]
8. CODE [numeric code; 3 digits]
9. EXPOSITION OF ACCUMULATION AREA [cardinal point; up to 2 digits]
10. EXPOSITION OF ABLATION AREA [cardinal point; up to 2 digits]
11. PARENT GLACIER [numeric code; 5 digits]
12. GLACIER REGION [alphabetic code; 3 digits]
13. GLACIER SUBREGION [alpha-numeric code; 6 digits]

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.

En resumen, se aplica y usa la clasificación estandarizada en el sistema métrico y la metodología de 'Balance de masa glaciar', reconocida en el ámbito mundial y aplicada con éxito en los Andes la cual está detallada en el documento “Métodos de observación de glaciares en los Andes Tropicales, mediciones de terreno y procesamiento de datos” (Francou y Pouyaud 2004) y aceptada por el WGMS. De esta manera se garantiza el uso y aplicación de nomenclaturas y clasificaciones vigentes.

2.3.4. Conceptos estandarizados (Título 6.3.4)

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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 41 de 106

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.

2.3.5. Pertinencia de las variables e indicadores estadísticos (Título 6.3.5)

Con base en el fenómeno de estudio, el IDEAM determina los estándares estadísticos que serán incorporados, optando por la aplicación del método de estimación de áreas por sensoramiento remoto. Se confirman las variables e indicadores consignados en el numeral 1.5.2 y 1.5.3 del presente documento, los cuales permiten el cumplimiento de los objetivos de la operación estadística.

A su vez, como base para esta operación estadística se ha construido el indicador ambiental ‘*Balance de Masa Glaciar*’ que hace parte del conjunto de indicadores del IDEAM reglamentados por la Resolución 667 de 2016 y a partir del Decreto 1086 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 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 hoja metodológica, datos y gráfica de este indicador ambiental se puede consultar en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas1>

2.3.6. Pertinencia de la fuente (Título 6.3.6)

La superficie del glaciar constituye una fuente de datos primaria idónea para medir el fenómeno de estudio.

2.3.7. Cobertura geográfica (Título 6.3.7)

La operación estadística cubre el estudio del Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco), por lo cual la cobertura es de carácter regional sobre el territorio colombiano.

2.3.8. Cuadros de salida (Título 6.3.8)

Conforme los objetivos, las variables y los indicadores estadísticos propuestos, se vislumbra 1 cuadros de salida correspondientes a los datos de balance de masa glaciar para cada glaciar objeto de estudio directo. La estructura y las características técnicas de los cuadros de salida de cada uno de los glaciares de estudio es la misma. A continuación, se presenta el cuadro de salida, junto con la tabla y gráfica de salida del indicador ambiental *Balance de Masa Glaciar*.

- Cuadro de salida Balance de Masa

Balance de Masa Glaciar - (glaciar de estudio según corresponda)		
Año hidrológico (2)	Balance de masa (3)	Balance de masa acumulado (3)

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 42 de 106

22. Cuadro de salida Balance de Masa Fuente: IDEAM.

Donde:

1. La unidad de medida se establecerá en milímetros equivalentes de agua (mm e.a) ó metros equivalentes de agua (m e.a).
 2. El año hidrológico corresponde al periodo durante el cual se tomaron datos primarios y se realizaron los cálculos del balance de masa.
 3. El balance de masa anual y el balance de masa acumulado corresponde con la sumatoria de la acumulación (ganancia) y de la ablación (pérdida) glaciar. Los valores positivos indican ganancia de masa glaciar, iguales a cero señalan equilibrio y negativos indican pérdidas.
- Tablas y gráficas de salida del indicador ambiental *Balance de Masa Glaciar*

A continuación, se describe con un ejemplo la tabla y gráfica de salida del indicador ambiental *Balance de Masa Glaciar*. A continuación, se describe la tabla y gráfica de salida del mismo, para cada uno de los glaciares de estudio. Estas tablas se encuentran publicadas en el portal web institucional, Indicadores Ambientales, ubicado en el link <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas1>. De igual manera, un componente importante de la tabla son la fuente y las notas explicativas como anexo a la misma.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 43 de 106



Colombia. Balance de masa¹, Glaciar Conejeras (Volcán Nevado Santa Isabel)
Marzo de 2006 a enero de 2020

mm e.a.⁴

Año hidrológico ²	Balance de masa ³	Balance de masa acumulado ³
2006	-2390	-2390
2007	-1462	-3852
2008	-810	-4462
2009	-3345	-7807
2010	-3399	-11206
2011	-883	-12089
2012	-2540	-14629
2013	-3682	-18311
2014	-4084	-22395
2015	-5599	-27994
2016	-5545	-33539
2017	-4265	-37804
2018	-3411	-41215
2019	-4981	-46196

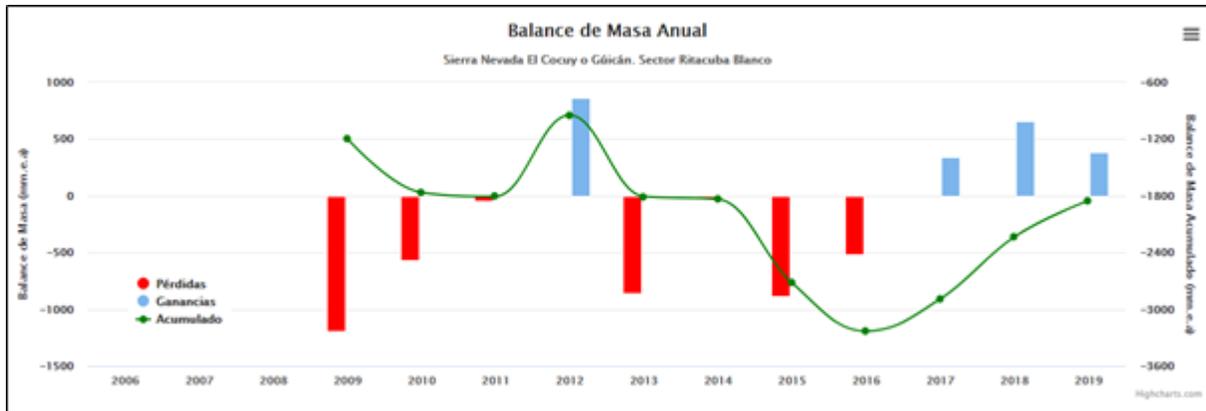
23. Ejemplo tablas de salida del indicador ambiental Balance de Masa Glaciar

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM-. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Suelos y Tierras. 2020.

Notas:

1. Corresponde a la sumatoria de la acumulación (ganancia) y de la ablación (pérdida) glaciar. Valores positivos indican ganancia de masa glaciar, iguales a cero señalan equilibrio y negativos indican pérdida. El balance de masa se expresa en milímetros equivalentes de agua (mm e.a.).
2. Año hidrológico 2006: inicia el 03/03/2006 y finaliza el 31/12/2006
Año hidrológico 2007: inicia el 26/01/2007 y finaliza el 31/12/2007
Año hidrológico 2008: inicia el 26/01/2008 y finaliza el 31/12/2008
Año hidrológico 2009: inicia el 10/02/2009 y finaliza el 31/12/2009
Año hidrológico 2010: inicia el 12/01/2010 y finaliza el 31/12/2010
Año hidrológico 2011: inicia el 18/01/2011 y finaliza el 31/12/2011
Año hidrológico 2012: inicia el 04/01/2012 y finaliza el 31/12/2012
Año hidrológico 2013: inicia el 19/01/2013 y finaliza el 31/12/2013
Año hidrológico 2014: inicia el 22/01/2014 y finaliza el 31/12/2014
Año hidrológico 2015: inicia el 03/02/2015 y finaliza el 31/12/2015
Año hidrológico 2016: inicia el 03/01/2016 y finaliza el 31/12/2016
Año hidrológico 2017: inicia el 21/01/2017 y finaliza el 31/01/2018
Año hidrológico 2018: inicia el 31/01/2018 y finaliza el 12/02/2019
Año hidrológico 2019: inicia el 12/02/2019 y finaliza el 28/01/2020
3. El Balance de masa y el Balance de masa acumulado fueron recalculados.

4. El Balance de Masa se expresa en milímetros equivalentes de agua (mm e.a.), unidad asociada a un volumen equivalente de agua líquida durante un periodo de tiempo determinado.



24. Ejemplo de gráfica de salida del indicador ambiental Balance de Masa Glaciar.

La gráfica expresa el comportamiento del Balance de masa (pérdidas y ganancias) y el acumulado en el eje primario y secundario respectivamente en tendencia positiva y negativa; en barras rojas las pérdidas, en barras azules las ganancias, y en línea verde punteada la tendencia del acumulado, a través del tiempo en años. La gráfica se encuentra en milímetros equivalentes de agua (mm e.a.).

2.3.9. Instrumento de recolección (Título 6.3.9.)

Los datos para la operación estadística se obtienen mediante la recolección de información diseñada a través de los formatos *para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar y para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*. El instrumento necesario para la medición de las variables en las unidades de observación consiste, por tanto, en un cuestionario físico para el levantamiento de la información producida por el glaciar; un elemento geofísico que no requiere del diseño de preguntas o bloques temáticos como una persona encuestada. Los instrumentos de recolección se detallan en las fases de diseño de la recolección y recolección del presente documento.

2.3.10. Desgaste de la fuente (Título 6.3.10)

Se ha comprobado que la superficie del glaciar por ser un elemento geofísico no sufre desgaste por motivo del levantamiento de información⁴. Como conclusión, el diseño temático permite comprobar que hay concordancia entre los objetivos de la operación y la estructuración temática de esta. A nivel temático o conceptual se comprueba la comprensión, estructura y contexto adecuado de la operación estadística Balance de Masa Glaciar.

⁴ Cabe resaltar que es una creencia popular el hecho de que pisar los glaciares los 'lastima' y acelera el ritmo de su derretimiento. Si bien esto constituye una creencia culturalmente aceptada, la evidencia científica sugiere que, de hecho, la compactación (natural) de las sucesivas capas de nieve precipitadas en neviza y posteriormente en hielo, son la génesis del proceso de formación de los glaciares, llamado diagénesis del hielo.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 45 de 106

2.4. Diseño estadístico (Sección 6.4)

A continuación, se presenta el universo de estudio, la población objetivo, las unidades estadísticas, los periodos de referencia, el diseño muestral y el control del sesgo de la operación estadística balance de masa glaciar.

2.4.1. Universo de estudio

La masa glaciar de los glaciares del territorio colombiano.

2.4.2. Población objetivo

Masa glaciar de la Sierra nevada El Cocuy o Güicán (6° 30'N; 72° 15'W; 5380 m.) y el Volcán nevado Santa Isabel (4° 48'N; 75° 22'W; 4968 m.).

2.4.3. Unidades estadísticas

- **Unidad de observación**

La unidad de observación seleccionada para la operación estadística es la masa glaciar medida en el Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y la Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco) en el territorio colombiano.

- **Unidad de análisis**

En el territorio colombiano, la unidad de análisis sobre la que se expondrán los resultados son las masas glaciares que yacen sobre el Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y la Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco).

- **Unidad de muestreo**

Las unidades o glaciares seleccionados son el volcán nevado Santa Isabel (sector Conejeras, Parque Nacional Natural Los Nevados) y la sierra nevada El Cocuy o Güicán (sector Ritacuba Blanco, Parque Nacional Natural El Cocuy). Desde 2006 y 2009 respectivamente, se han realizado sistemática y periódicamente observaciones a estas unidades, con base en una red de instrumentos sobre y alrededor de las superficies glaciares seleccionadas, se han capturado datos que permiten una mejor comprensión del estado actual de la criósfera colombiana, así como de la dinámica de la baja troposfera.

2.4.4. Periodo de referencia

El período de tiempo específico al que va referida la operación estadística de Balance de Masa Glaciar es un año determinado. Hace referencia a la generación de información de balance de masa durante un periodo establecido por el IDEAM, normalmente un año hidrológico.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 46 de 106

2.4.5. Periodo de recolección

El periodo de recolección de datos es acorde con la definición del año hidrológico. Para los estudios de glaciología en Colombia, se considera un año hidrológico a un ciclo estacional completo del comportamiento del clima de la región donde está el glaciar, esto es, inicio de un periodo húmedo o seco y finaliza al año siguiente en el mismo periodo húmedo y seco. De acuerdo con la secuencia bimodal que caracteriza la región natural andina colombiana, donde están los glaciares monitoreados y de acuerdo con la experiencia adquirida que tiene en cuenta esa condición natural, más la administrativa de las instituciones gubernamentales, se ha definido el ciclo hidrológico desde inicios de febrero a inicios de febrero del año siguiente. Este periodo coincide con el fin de una temporada seca (enero-febrero) e institucionalmente están disponibles los recursos humanos y presupuestales (contratación, fin de temporada vacacional y transferencias presupuestales desde el gobierno central).

Ahora bien, dentro de un mismo año hidrológico se tienen previstas mediciones mensuales en el glaciar Santa Isabel sector Conejeras debido a su dinámica cambiante en cortos periodos de tiempo y bimestral en la sierra nevada El Cocuy o Güicán sector Ritacuba Blanco debido a su dinámica más estable en cortos periodos de tiempo, es decir 12 y 6 visitas al año respectivamente. Esta periodicidad en las observaciones en terreno se debe principalmente a la posición ecuatorial de los glaciares colombianos, que implica un comportamiento climático estacional diferente a los regímenes climáticos de altas latitudes, marcados por una periodicidad bianual (fin del verano y fin del invierno). Las visitas periódicas constituyen, de igual forma, una base central del mantenimiento y el correcto funcionamiento de las unidades estadísticas. La inclusión de una nueva unidad de observación estará sujeta a la adopción de alguno de los criterios anteriores.

En cuanto al número mínimo de visitas; por circunstancias de tiempo meteorológico, logístico, presupuestal o de fuerza mayor, este corresponde a una visita a cada sitio por cada periodo seco o de lluvias de la región Andina, es decir, mínimamente 2 campañas de campo en temporada seca para cada sitio y 2 campañas de campo en temporada húmeda para cada sitio, de acuerdo con el régimen bimodal de precipitaciones. Con esta periodicidad se asegura tanto el dato de balance de masa intraanual para investigación, como el dato final de reporte anual (sumatoria de los balances intraanuales).

2.4.6. Diseño muestral (Título 6.4.3)

Para comprender el diseño muestral es necesario conocer las situaciones de los nevados colombianos (de norte a sur):

1-. *Sierra Nevada de Santa Marta*: Por su posición geográfica en la región Caribe hace de este glaciar un sitio particular por la influencia climática de esta región natural. Su altitud, la mayor de Colombia (5770 msnms) proporciona interesantes motivaciones científicas para establecer la influencia de la cercanía del mar Caribe, pero, en 2015 las comunidades indígenas que tiene autonomía territorial, manifiestan de forma oral al IDEAM que no permiten el acceso a la institución y la instalación de instrumentos ajenos a lo natural. Adicionalmente, no existen vías de acceso a la alta montaña.

2-. *Sierra Nevada El Cocuy o Güicán*: Por su posición geográfica entre las regiones naturales Andina y Orinoquia, es el glaciar más extenso del país y cumbres que superan los 5000 msnm, resulta de interés glaciológico. Sus vías de acceso están en buenas condiciones y culminan a los 4100 msnm, posee adecuada infraestructura urbana y de

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 47 de 106

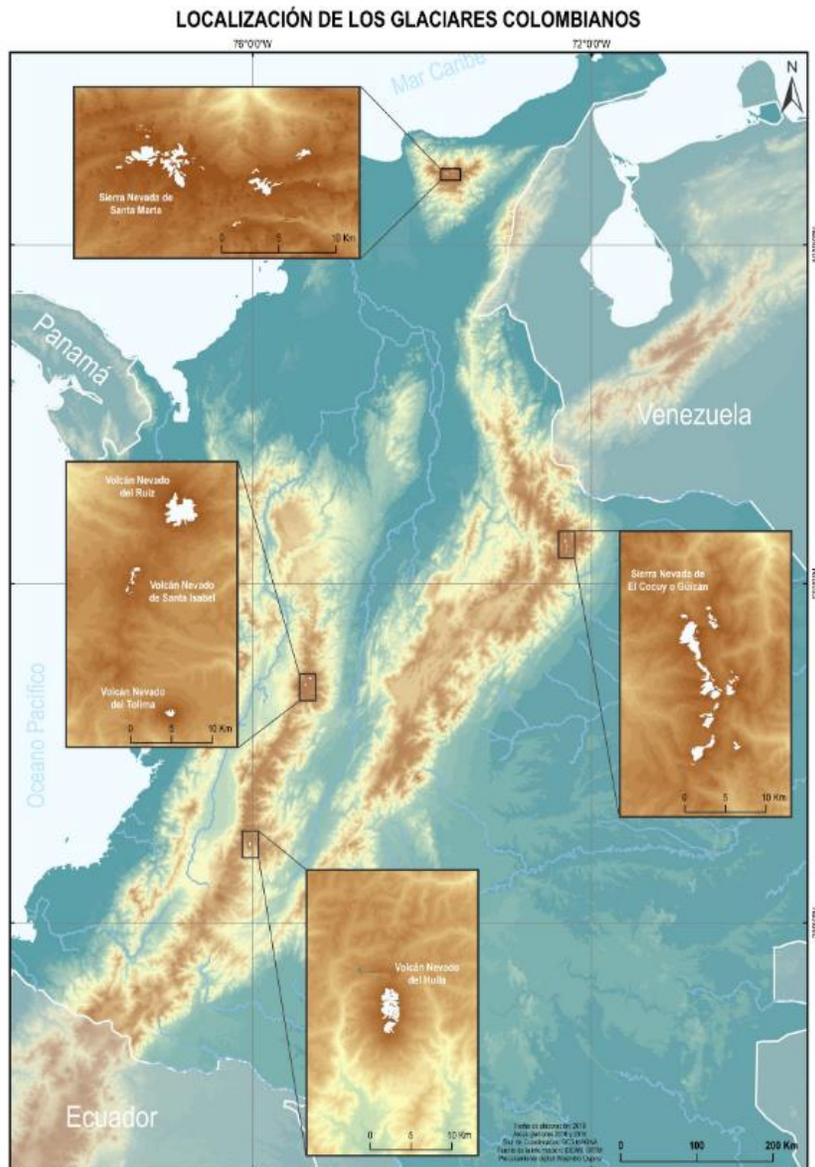
servicios y desde principios del año 2000 sus condiciones sociopolíticas han mejorado notablemente permitiendo un acceso seguro. A pesar de que los glaciares están dentro de un resguardo indígena (U'wa), el IDEAM ha logrado acuerdos de investigación desde 2017.

3-. *Volcán Nevado del Ruiz*: Es el segundo glaciar más extenso del país, localizado en una zona estratégica nacional como lo es el denominado “Eje Cafetero” y con accesos e infraestructura de servicios ideales (vías llegan hasta los 4800 msnm y ciudades capitales cercanas). Desde el punto de vista glaciológico representa un interés dado su tamaño, topografía y altitud (5300), pero desde 2015, su actividad volcánica se ha incrementado por lo que su acceso es limitado y restringido.

4-. *Volcán Nevado Santa Isabel*: El glaciar más pequeño del país y el de menor altitud, lo cual se traduce en una dinámica muy rápida que lo hace interesante desde la glaciología y la climatología. Al igual que el Ruiz, se localiza en una zona estratégica nacional como lo es el denominado “Eje Cafetero” y con accesos e infraestructura de servicios ideales (vías llegan hasta los 4100 msnm y ciudades capitales cercanas). Actualmente, es el glaciar de mejor acceso y el más visitado por los turistas.

5-. *Volcán Nevado del Tolima*: Casi de igual tamaño que el Santa Isabel y localizado también en el denominado Eje Cafetero, se diferencia de los anteriores por su difícil y complicado acceso que requiere de una logística bien calculada, a pesar de ello, es un glaciar cuya altitud (5230 msnm) y poco tamaño es de interés científico. Es considerado un volcán con niveles de actividad bajos.

6-. *Volcán Nevado del Huila*: El más meridional de los glaciares colombianos, tiene similitudes con la sierra nevada de Santa Marta y el volcán nevado del Ruiz referentes a condiciones sociopolíticas para el primer caso (resguardos indígenas), además de un orden público inconstante y de actividad volcánica para el segundo caso. Su acceso desde el punto de vista de distancia y logística es complejo, pero científicamente es de interés por su altitud y posición geográfica cercana a la latitud ecuatorial.



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

A continuación, se presenta el método de muestreo, el tamaño, la selección y conformación de la muestra, las medidas de calidad y el mantenimiento de la muestra.

- **Método de muestreo**

Teniendo en cuenta que el fenómeno no puede ser medido en todos los puntos del espacio en intervalos de tiempo regulares, esta operación estadística se realiza mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 49 de 106

- **Tamaño de muestra**

El tamaño de la muestra corresponde a dos (2) unidades de muestreo, las unidades o glaciares seleccionados son el volcán nevado Santa Isabel y la sierra nevada El Cocuy o Güicán.

- **Selección y conformación de la muestra**

La selección de la muestra se hace por medio de un análisis temático indirecto y geométrico en terreno. En primera instancia, para la selección de algunos de los seis nevados colombianos se realiza una evaluación de:

1. *Representatividad del glaciar:* debe caracterizar las condiciones climáticas locales y regionales, debe tener un rango altitudinal suficientemente amplio que permita definir el área de ablación (pérdida) y de acumulación (ganancia).
2. *Viabilidad, accesibilidad y seguridad:* el glaciar debe tener adecuadas rutas de acceso que permita instrumentarlo, que en lo posible sea uniforme y que no presente lugares peligrosos para la integridad física de los investigadores como zonas de avalanchas, desprendimiento de bloques, pendientes muy fuertes y grietas.

Adicionalmente, para definir los sectores o glaciares objeto de estudio, se generan dos criterios:

1. *Morfología de la cuenca:* Es fundamental para la medición de un balance glaciológico e hidrológico una cuenca con límites definidos, permitiendo obtener datos coherentes con la realidad, en otras palabras, su cuenca no debe entregar aportes a otras cuencas antes de su punto de concentración de agua.
2. *Estado del frente glaciar e hidrología:* es importante que posea un frente limpio, sin hielo muerto cubierto de escombros, con un drenaje definido el cual pueda ser medido.

Es así que, a partir de la evaluación de los cuatro (4) criterios anteriormente mencionados, la muestra queda conformada por dos glaciares.

1. El Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras, Parque Nacional Natural Los Nevados)
2. La Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (sector Ritacuba Blanco, Parque Nacional Natural Los Nevados).

Esta muestra se mantiene estable en el tiempo y en el espacio, siendo reevaluada cada dos años para confirmar si continúa con las características que permiten su estudio.

- **Medidas de calidad**

Se presentan tres medidas de calidad:

1. *Cobertura:* Es necesario evaluar como mínimo una unidad de muestreo, que permita identificar el estado del glaciar, conociendo las pérdidas y las ganancias de masa durante un periodo establecido, con el fin de generar estadísticas de la dinámica glaciar en Colombia.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 50 de 106

2. *Porcentaje de no información:* Cada glaciar debe contar con información primaria de por lo menos el sesenta por ciento (60%) de sus rangos altitudinales, cuando el porcentaje de no recolección de datos es superior al cuarenta por ciento (40%) de los rangos altitudinales no se genera el balance de masa para esa unidad de muestreo y ese periodo de medición. El porcentaje de no información es calculado como el cociente entre el número de los rangos sin información primaria y el total de los rangos presentes en el glaciar.
3. *Imputación:* La imputación de las variables *Profundidad al hielo* y *Espesor de la nieve* se puede realizar sobre las balizas de máximo el cuarenta por ciento (40%) de los rangos altitudinales, teniendo en consideración las condiciones para la imputación señaladas en numeral 2.6 (Diseño del procesamiento de los datos). La tasa de imputación es calculada como el cociente entre el número de balizas imputadas y la suma de las balizas que cuentan con información primaria y las balizas imputadas.

- **Mantenimiento de la muestra (6.4.3.2)**

La muestra se mantendrá en el tiempo y en el espacio, y su variación estará sujeta a la inclusión de nuevas unidades de observación, o al impedimento de seguir monitoreando el volcán nevado Santa Isabel (sector Conejeras) o la sierra nevada El Cocuy o Güicán (sector Ritacuba Blanco) por el incumplimiento de los criterios de selección anteriormente expuestos. Este mantenimiento está igualmente soportado con el cronograma de trabajo de campo.

2.4.7. Control de sesgo (Título 6.4.4)

El control del sesgo se realiza mediante los mecanismos de completitud y veracidad de la información descritos en la *Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar*, el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*, el *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística balance de masa glaciar* y el *Formato matriz de riesgo E-SGI-F006* del IDEAM. Estos documentos ahondan en identificar y controlar las situaciones que pueden afectar el proceso de recolección, así como garantizar el entrenamiento del personal.

2.5. Diseño de la recolección (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 obtención de datos en lo relativo a las campañas de campo necesarias para el levantamiento de información en los glaciares objeto de estudio. Además, se definen los perfiles del personal requerido para ello, una programación de comisiones de campo que se hace al inicio de cada año y las herramientas que conforman el entrenamiento del personal que hace parte de este proceso. Igualmente, se describe la técnica o procedimiento necesario para la recolección de los datos, los medios necesarios para lograrlo y los mecanismos de seguimiento y control de este subproceso.

2.5.1. Diseño de la recolección de los datos (Título 6.5.1)

La Operación Estadística Balance de Masa Glaciar obtiene los datos de una fuente primaria: los glaciares seleccionados como objeto de estudio. Con la claridad temática y estadística de la necesidad de una red de instrumentos (balizas) y un levantamiento topográfico, la recolección de datos depende directamente del método de recolección en campo. El componente central del diseño de la recolección radica en definir el esquema operativo de

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 51 de 106

una campaña o comisión de campo y su ejecución. En tal sentido, el diseño de la recolección se divide en dos grandes momentos: preparación o planificación de la recolección y ejecución de la recolección. La primera, hace referencia a actividades de pre-campo administrativas y logísticas que aseguran el éxito de la toma de datos en campo. La segunda, se enfoca al detalle del acceso, abordaje de los sitios exactos de medición, toma cautelosa de las mediciones, registro y salvaguarda en campo.

Estructura operativa y tecnológica

En lo relativo a la estructura tecnológica requerida se especifica:

- ✓ Capacidad informática y ofimática básica como complemento al cálculo de variables e incertidumbres.
 - 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.
 - 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 ®.

En cuanto a la estructura operativa necesaria para la recolección de datos en lo relativo a las campañas de campo, esta se detalla en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*.

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 balance de masa 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 deben reunir los siguientes requisitos:

- 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 trabajos de campo en áreas ambientales en ecosistemas de alta montaña.
- Conocimientos básicos en softwares de ofimática conocidos como hoja de cálculo y procesador de textos. Las aplicaciones más comunes de este tipo de programas son Microsoft Excel ® y Microsoft Word ®.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 52 de 106

- Conocimientos básicos en manejo de sistemas de información geográfica - SIG.

Rutas de recolección

Las rutas de recolección se realizan de acuerdo a lo descrito en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*.

Digitación, transmisión o digitalización de datos

Se encuentra descrita en el documento *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa*. Adicionalmente, posterior a cada visita en campo se realiza una revisión técnica en oficina por parte del grupo encargado del monitoreo glaciar incluyendo los participantes en la campaña de campo. El líder temático de manera autónoma, o en reunión con los profesionales a cargo del monitoreo glaciar si es necesario, realiza según aplica:

- Reporte oral del desarrollo de la comisión de campo detallando aspectos exitosos e inconvenientes presentados de tipo técnico-operativo, logístico y administrativo.
- Presentación de los datos capturados en campo con fotografías y videos.
- Comparación con los datos de la campaña inmediatamente anterior para verificar coherencia.
- Aplicación de las reglas de validación y consistencia.
- Asignación de tareas para el cálculo del balance de masa para el periodo.
- Sugerencias para un mejor desarrollo de la recolección de datos (técnicos, logísticos y administrativos).
- Digitación de los datos tomados en campo en el sistema informático dispuesto para tal fin, según corresponda.
- Verificación de transcripción correcta (cada dato en su campo correspondiente), exacta (cada valor es igual al dato de campo) y oportuna.

Validación 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.

Transportes necesarios para los desplazamientos

Para el transporte necesario para los desplazamientos, esto se relaciona con el numeral 1.7 de este documento y la ejecución del plan general de la operación, en donde el IDEAM asegura la disponibilidad de los recursos humanos, técnicos, tecnológicos, informáticos y presupuestales para el desarrollo y la continuidad de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar, lo cual incluye un contrato institucional de transporte para los desplazamientos en campo.

Logística necesaria

La planificación cuidadosa de la logística es fundamental para el éxito de una campaña de balance de masa debido a que un glaciar puede constituirse en un lugar de peligro para el personal a cargo de las mediciones si no se toman las medidas de resguardo necesarias antes y durante el desarrollo del trabajo en terreno. Aspectos como la vestimenta, alimentación, campamentos, técnica de progresión en glaciares, equipos y comunicación, son importantes. Es fundamental el alistamiento de equipos e implementos necesarios para el desenvolvimiento de las actividades

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 53 de 106

glaciológicas compuestos generalmente por elementos como material de seguridad en alta montaña, perforadora de hielo, GPS, cámara fotográfica, mapa, cinta métrica, sonda de nieve y demás instrumentos indispensables. Así mismo, son esenciales aspectos operativos tales como el transporte aéreo o terrestre a la zona, el conocimiento previo de la zona de operación, la planificación de las mediciones, las condiciones meteorológicas y los permisos de acceso a las Áreas Protegidas.

Complementariamente, según corresponda a los profesionales encargados del seguimiento a la dinámica glaciar (funcionarios, contratistas, consultores o estudiantes en pasantía), se debe tener en cuenta la gestión administrativa requerida para ejecutar con éxito los aspectos anteriormente mencionados; consistente en los formatos de solicitud, autorización, legalización y cumplimiento de todo aquello relacionado con las comisiones de campo. Para ello se debe realizar una coordinación con las diferentes áreas del IDEAM, además del diligenciamiento de formatos y solicitudes de permisos de otras entidades tales como Parques Nacionales Naturales, referentes al ingreso, desplazamiento y alojamiento en las zonas de recolección.

El cronograma de salidas de campo se plantea y se establece a través del *Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística balance de masa glaciar*. Se debe tener en cuenta que las campañas de recolección tenga modificaciones en fecha de ejecución y número de campañas de campo debido a diferentes causas como eventos climáticos extremos, cierre de vías públicas, orden público, no disposición a tiempo de recursos financieros, daño imprevisto de equipos o estado de salud de los investigadores, para lo cual se irá ajustando teniendo en cuenta que por lo menos las visitas coincidan con el régimen climático histórico de la región natural Andina, es decir, un ajuste que corresponda con su bimodalidad: dos en temporada seca y dos en temporada de lluvias.

Cartografía actualizada y georreferenciación de unidades de observación

La realización de cartografía actualizada y georreferenciación de las unidades de observación se relacionan con la realización efectiva del levantamiento topográfico descrito en el marco de referencia de este documento y las pautas descritas en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*.

Entrenamiento al personal

El esquema de entrenamiento del personal encargado de la recolección corresponde con el entrenamiento general descrito en el numeral 2.5.4.

Sensibilización de la fuente

La sensibilización de la fuente corresponde con lo descrito en el numeral 2.5.2 de este documento.

Manejo de novedades operativas

Finalmente, el diseño de la recolección de los datos de esta operación estadística se 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 Balance de Masa Glaciar, debido a factores de disponibilidad presupuestal y/o condiciones ambientales y sociales que afectan la toma de datos en campo. Las causas de este

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 54 de 106

riesgo, así como su evaluación y definición de controles, se encuentran documentados en el documento *Formato matriz de riesgo E-SGI-F006* del IDEAM.

Aspectos como Hurto o daño de equipos, Pérdida de datos de campo tomados análogamente e información del procesamiento, o Imposibilidad de ejecutar monitoreo glaciar por causas externas (alta actividad volcánica, condiciones meteorológicas, orden público, inaccesibilidad por vía terrestre, daños mecánicos en vehículos, y/o inaccesibilidad por decisión y soberanía de población local), hacen parte de las contingencias y las correspondientes instrucciones para el manejo de novedades operativas.

2.5.2. Control y supervisión (Título 6.5.2)

El cumplimiento de las campañas de campo y de sus objetivos, estará a cargo del responsable de la operación estadística o del supervisor de los contratistas quienes comprobarán su ejecución y liderarán la validación y registro de los datos primarios. Durante la recolección en campo, el documento *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*, establece un mecanismo de control para la salvaguarda en terreno.

Los formatos *para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar y para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*, documentos en los cuales se consolida el archivo de datos recolectados, cuentan 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, en caso de ser el líder temático quien recolecta la información en campo.

La *guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar* cuenta con una lista de chequeo del entrenamiento realizado, lo cual garantiza la capacidad del equipo a cargo de la recolección.

2.5.3. 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 un cambio de actitud en el comportamiento de la sociedad respecto al conocimiento de los glaciares como una actividad paralela al alcance de la operación estadística. Esto particularmente 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. Esto se realiza mediante un trabajo de socializaciones, charlas, talleres o conferencias.

2.5.4. Entrenamiento (Título 6.5.8)

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.

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 balance de masa glaciar* y en general está compuesta por las siguientes etapas:

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 55 de 106

- Manejo de conceptos básicos de glaciología
- Manejo de conceptos básicos del método glaciológico directo
- Alistamiento de equipos y aptitudes físicas para trabajos de campo
- Toma de datos en campo sobre la superficie del glaciar (medición de balizas y topografía glaciar)
- Cálculo de parámetros de balance de masa glaciar
- Elaboración de cartografía de balance de masa glaciar

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

Los archivos de datos consisten en la recolección de información primaria sobre la superficie glaciar referenciada en los formatos *para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar* y *para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*. Esta información se consolida en un archivo homogéneo para su procesamiento, consistente en un cálculo algebraico de un balance de masa glaciar con datos provenientes de campo, por el método glaciológico o directo utilizando una *hoja de cálculo de Microsoft Excel® para el cálculo del balance de masa glaciar*.

Complementariamente, una vez los datos primarios recolectados son registrados en los formatos anteriormente mencionados, dichos datos se registran en un aplicativo informático que cuenta con los mecanismos de seguridad y respaldos implementados por el IDEAM para garantizar la recuperación y la integridad de la base de datos. Para esta fase se utiliza el ambiente de producción del componente de Glaciares dentro del Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos del IDEAM (DHIME)⁵. El módulo o aplicativo de glaciares para la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar en el DHIME es un sistema administrado por la Oficina de Informática. Los manuales para el uso y el mantenimiento de este software aplicativo, al ser un sistema robusto y que compete a toda la institución, son responsabilidad de esta misma oficina.

No obstante, de manera técnica ambos procesos se detallan en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa* y la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*. A su vez, posterior al uso de estas herramientas, se consolida la información de salida en una base de datos depurada que permite producir resultados y así disponer del diseño del procesamiento en su totalidad.

Verificación de la completitud de los datos

⁵ El sistema DHIME recopila en un sitio único el acceso público a la consulta y descarga de datos hidrometeorológicos; al igual que permite el acceso interno a servidores públicos del IDEAM a herramientas de gestión de series temporales, datos de laboratorio y acceso bajo demanda de datos oficiales del IDEAM, entre otras funcionalidades. La Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental hace uso activo de este sistema mediante el aplicativo de ‘Glaciares’.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 56 de 106

Se evalúa el grado de recolección de información primaria teniendo como referente las dos unidades de observación, la masa glaciar medida en el Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y la Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco). La completitud de los datos se verifica mediante el diligenciamiento de los formatos *para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar y para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*, según sea el caso. La verificación de la completitud de estos datos se realiza mediante 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, en caso de ser el líder temático quien recolecta la información en campo.

Edición (Validación y consistencia de los datos)

El procedimiento establecido para revisar y validar el archivo de datos que se conforma a partir de la recolección se documenta en el *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística balance de masa glaciar*. El principal instrumento de edición es un archivo homogéneo de procesamiento, consistente en una hoja de cálculo de Microsoft Excel®. Adicionalmente, a través del uso del módulo correspondiente a la OE BM en el sistema DHIME se aseguran de mejor manera los procesos de validación y consistencia de la información recolectada. Igualmente, al ser un sistema de Información oficial, permite llevar un registro de los cambios que se realizan a los datos primarios.

Las reglas o especificaciones, acompañada de instrucciones del correcto uso y manejo de estas herramientas, se encuentran especificadas en la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

Imputación de datos

Si bien es inusual, se puede realizar interpolación de las variables *Profundidad al hielo y Espesor de la nieve*, cuando no se encuentren balizas en un rango altitudinal, a partir de la técnica de Ponderación de distancia inversa (IDW - Inverse Distance Weighted-), presente en la librería *gstat* de RStudio. Se emplea esta técnica, debido a la cantidad de balizas instaladas en cada glaciar, puesto que como mencionan Toro et.al. (2015), otros métodos requieren una cantidad suficiente de datos para producir un semivariograma fiable y presentar mejoras respecto al IDW.

Es necesario aclarar que la imputación de datos no se realiza indefinidamente en el tiempo. En la siguiente campaña de campo a la cual se realiza la imputación, se debe verificar si se encuentra la baliza y en caso de no encontrarla se debe instalar una nueva en el lugar donde se encontraba georeferenciada la anterior o en otro espacio del rango altitudinal. La metodología de imputación de datos se amplía en el numeral 5.4 (Edición e imputación) de este documento.

Generación de resultados

La generación de cuadros de resultados en el marco del procesamiento de los datos se especifica en la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*. Estos son acordes con los resultados esperados especificados en el *Plan general para la operación estadística Balance de Masa Glaciar*.

Medio de recepción de los datos recolectados

Los datos recolectados son ingresados en la *hoja de cálculo de Microsoft Excel® del balance de masa glaciar*, en la pestaña “1. Datos Campo y BM Específico”, completando la sección “DATOS TOMADOS EN CAMPO” y en el módulo

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 57 de 106

‘Glaciares’ del sistema DHIME, en donde es almacenada. Igualmente son recepcionados mediante la ingesta de datos primarios en el entorno ‘DATOS BASE’ del aplicativo de Glaciares en DHIME.

El IDEAM cuenta con la infraestructura computacional (que permite el almacenamiento completo y la realización de copias de respaldo) por lo cual mantiene de forma segura la información recolectada para prevenir el acceso o uso no deseado, daños o pérdida fortuita. Esta condición se soporta en la Resolución 3158 de 2018 del IDEAM ‘por la cual se adopta la política de seguridad y privacidad de la información del IDEAM’.

En cuanto a la salvaguarda de información de *balance de masa glaciar*, los datos primarios de recolección, así como de las fases de procesamiento y análisis; se encuentran 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. Este espacio virtual funciona como back-up permanente de información. Los roles de acceso y responsabilidades sobre el mismo, son definidos por el Coordinador(a) del Grupo de Monitoreo de Alta Montaña de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Adicionalmente, en caso de ser necesario, debe utilizarse el *procedimiento de almacenamiento y respaldo (E-GI-P005)* de la Oficina de Informática para la ejecución de copias de respaldo y recuperación de datos.

Infraestructura tecnológica necesaria para el procesamiento

La infraestructura necesaria para el procesamiento es equivalente a la estructura tecnológica descrita en la fase de recolección en el numeral 2.5.1.

Para el procesamiento de los datos, el IDEAM asegura la disponibilidad de los recursos técnicos, tecnológicos, informáticos, presupuestales y humanos para el procesamiento de los datos de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar, por medio de varias dependencias. El procesamiento de datos primarios se soporta en la infraestructura institucional bajo responsabilidad de la Oficina de Informática por medio de instalación y licencias -cuando aplique- de software (Microsoft Office, ArcGis, RStudio), suministro y mantenimiento de equipos de cómputo. El Grupos de Manejo y Control de Almacén e Inventarios y Servicios Administrativos, suministra, salvaguarda y mantiene los equipos y materiales necesarios para el monitoreo glaciar. Esta infraestructura tecnológica está diseñada para evitar la pérdida, modificación o alteración de la información.

2.7. Diseño del análisis (Sección 6.7)

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

Por el fenómeno natural 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.

Metodología de análisis de resultados

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 58 de 106

La metodología de análisis se relaciona directamente con una característica propia de esta operación estadística: cada glaciar o unidad de observación tiene su propio comportamiento; por ende, ningún glaciar puede representar directamente o es directamente comparable con el comportamiento de otras unidades. Si bien no hay operaciones estadísticas similares al interior del país, lo cual implica una baja comparabilidad estadística, el análisis de resultados va encaminado a correlacionar los resultados de balance de masa, para cada unidad de observación, con variables o resultados externos, todo con el fin de darle mayor solidez a los resultados. No obstante, el componente principal de análisis de resultados consiste en comparar el balance de masa total anual y los parámetros que correspondan, con el balance y resultados del año inmediatamente anterior, así como los datos históricos de la misma unidad. Esta actividad permite asegurar la correspondencia entre el tema estudiado y los resultados obtenidos, el contraste entre resultados esperados y obtenidos, así como verificar la consistencia y coherencia de los datos obtenidos; tanto internamente en cuanto a las variables, como en relación a las series históricas.

Por el motivo anteriormente planteado, el análisis (coherencia, correspondencia y consistencia) se puede fortalecer igualmente, en la medida de disponibilidad de datos, con estudios complementarios de seguimiento a la dinámica de los glaciares como: balance de energía, balance hidrológico, retrocesos del frente glaciar, espesores de hielo o topografía glaciar.

Adicionalmente, dado que la dinámica glaciar se relaciona directamente con el comportamiento del clima, la revisión, validación y aprobación del dato final se correlaciona con variables hidrometeorológicas y climatológicas. Se realiza un análisis comparativo con el comportamiento del clima (principalmente precipitación) durante el mismo periodo de los resultados, para lo cual se utilizan los reportes y boletines que divulga la Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas del IDEAM, así como los datos recolectados y adquiridos por la red de estaciones hidrometeorológicas del IDEAM. La experticia y conocimiento de esta relación clima-glaciar por parte de los profesionales es fundamental para validar los resultados obtenidos.

De igual manera, el WGMS en sus formatos de reporte bienal de balance de masa en glaciares ecuatoriales y alrededor del mundo, tienen una serie de verificaciones y controles de calidad realizados por expertos de ese organismo que deben ser tenidos en cuenta. Por último, el análisis debe considerar el comportamiento de variables de radiación solar como el albedo, cuando hay disponibilidad, el comportamiento de la variabilidad climática interanual El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y conceptos varios surgidos en reuniones técnicas al interior de la entidad.

Finalmente, la información estadística producto del análisis consiste en una combinación de métodos tales como análisis de contexto, de series de tiempo o producción de estadísticas básicas. 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. A su vez, por la naturaleza de los datos obtenidos y su bajo volumen, es altamente improbable que en la fase de análisis se presenten datos atípicos, según lo descrito en el *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística balance de masa glaciar*. En cuanto a la infraestructura tecnológica necesaria para el análisis, esta es equivalente a la estructura tecnológica descrita en la fase de recolección en el numeral 2.5.1.

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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 59 de 106

2.8. Diseño de la difusión (Sección 6.8)

La información producto de la Operación Estadística Balance de Masa 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.

Cuadros de salida

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 cuadros de salida de la información de balance de masa se difunden a manera de informes, cuadros de salida y resultados, gráficos, bases de datos o mapas temáticos, acordes con los cuadros de salida del numeral 2.3.8.

Calendario de difusión

La OE BMG debe contar con un calendario básico de difusión en aras de asegurar la puntualidad oportunidad de la difusión de la información. Se establecen los siguientes productos y fechas límites para los principales productos:

1. Informe periódico del estado de los glaciares colombianos - AGOSTO 31
2. Indicador Ambiental Balance de Masa Glaciar - JULIO 31
3. Envío de información requerida en el llamado de datos o *call-for-data* - DICIEMBRE 15

La fecha límite de publicación se refiere al año siguiente a aquella del año hidrológico (periodo durante el cual se tomaron datos primarios y se realizaron los cálculos del balance de masa). Por ejemplo, la divulgación del informe del estado de los glaciares colombianos de información del año 2025 indicaría como fecha límite de publicación el 31 de agosto de 2026.

Forma de presentación de productos de comunicación y difusión

Los productos principales consisten en la entrega de:

- Informes periódicos del estado de los glaciares de estudio.
- Informes periódicos del estado de los glaciares colombianos.
- Indicador Ambiental Balance de Masa Glaciar.
- Envío de información requerida en el llamado de datos o *call-for-data* al WGMS.

La forma de presentación de los productos es principalmente en formato digital. La información de la OE BMG 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 60 de 106

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 balance de masa glaciar*: página con la batería de indicadores del IDEAM reglamentados por la Resolución 667 de 2016 y a partir del Decreto 1086 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por medio de los cuales se establecen los indicadores mínimos que buscan apoyar la generación de conocimiento, y servir como herramienta en la 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 balance de masa glaciar se compone de una hoja metodológica, datos y gráfica. (<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas1>)
- *Balance de Masa glaciológico: el estado de salud de un glaciar*. Página web principal en donde se difunden los resultados del indicador ambiental y Operación Estadística Balance de Masa Glaciar (<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/balace-de-masa-glaciologico>).
- *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>)

Los documentos con los resultados finales son elaborados teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Utilizar siempre las mismas unidades de expresión del balance de masa (mm e.a. ó m e.a)
- Las gráficas del balance anual deben tener título claro, concreto y especificar el periodo, usando siempre el mismo formato.
- Se debe incluir el balance de masa acumulado.
- Los informes del estado de los glaciares colombianos deben responder a las especificaciones editoriales de la Oficina de Comunicaciones del IDEAM.
- Estos informes deben contener al menos: presentación, resultado del monitoreo glaciar, descripciones de cada glaciar, conclusiones. Si este incluye información del estado de los glaciares de estudio directo, deben contener al menos los siguientes temas: balance de masa glaciológico, línea de equilibrio y acumulación de nieve.

Instrucciones para 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 balance de masa 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 balance de masa en la página web institucional, la cual es un soporte de lectura e interpretación de resultados, está redactada de manera sencilla de fácil comprensión. 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 61 de 106

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.

2.9. Diseño de flujos de trabajo (Sección 6.9)

En primer lugar, la arquitectura general y los procesos de la OE BMG en términos de equipos de trabajo, productos intermedios y finales, así como los riesgos asociados a su ejecución se vislumbran en los siguientes textos que documentan todo el flujo de trabajo de 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 Balance de Masa Glaciar.*
6. *Ficha metodológica para la operación estadística Balance de Masa Glaciar.*
7. *Guía metodológica para la operación estadística Balance de Masa Glaciar.*
8. *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar.*
9. *Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar.*
10. *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar.*
11. *Formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar.*
12. *Formato para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación.*
13. *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística Balance de Masa Glaciar.*
14. *Formato matriz de riesgo E-SGI-F006 del IDEAM*
15. *Calendario de difusión para la operación estadística Balance de Masa Glaciar.*

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 provienen 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 la recolección de datos en campo, investigación y apoyo en diversos temas de ecosistemas de alta montaña, glaciología en general, realización de informes hidrometeorológicos, entre otras actividades.

Finalmente se establece de manera esquemática las entradas y salidas de cada uno de los procesos y subprocesos desarrollados en la OE BMG, tal como se aprecia en la gráfica 26.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 62 de 106

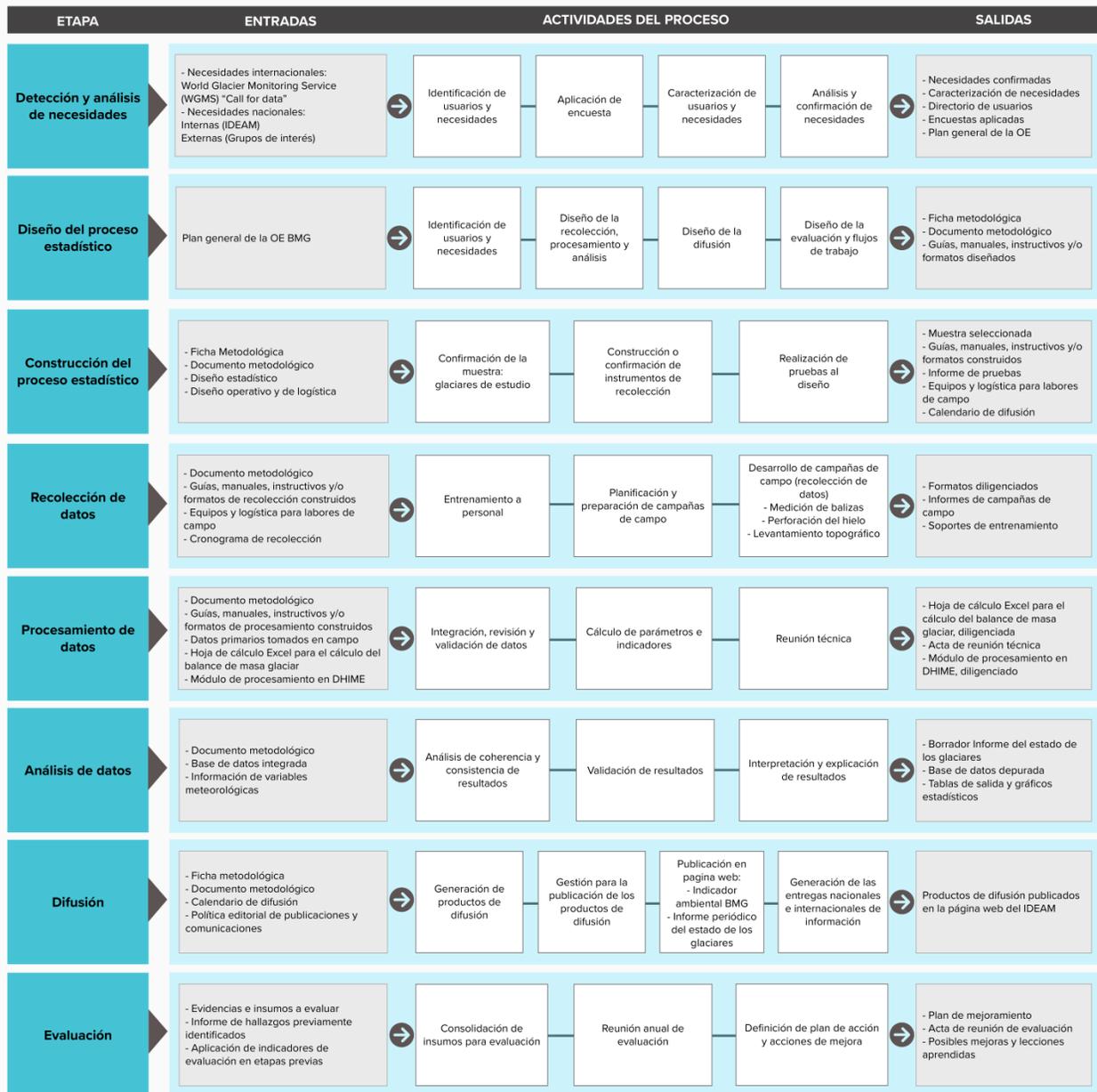
Para la operación estadística se ha definido el riesgo *“Probabilidad de incumplimiento en la generación de datos e información de la operación estadística Balance de Masa Glaciar, debido a factores de disponibilidad presupuestal y/o condiciones ambientales y sociales que afectan la toma de datos en campo”*, el cual contempla como causas raíz, las siguientes:

- Personal profesional y/o técnico insuficiente para labores de campo.
- Hurto o daño de equipos y sensores.
- Pérdida de datos de campo tomados análogamente e información del procesamiento.
- Imposibilidad de ejecutar monitoreo glaciar por causas externas (alta actividad volcánica, condiciones meteorológicas, orden público, inaccesibilidad por vía terrestre, daños mecánicos en vehículos, y/o inaccesibilidad por decisión y soberanía de población local).

Dicha evaluación del riesgo hace parte integral del documento *Formato matriz de riesgo E-SGI-F006* del IDEAM.

Finalmente, el establecimiento y conservación de un cronograma de actividades se basa en la aplicación del *Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística balance de masa glaciar*, el cual hace parte del *Plan general para la operación estadística balance de masa glaciar*.

FLUJO DE TRABAJO OPERACIÓN ESTADÍSTICA BALANCE DE MASA GLACIAR



26. Flujo de trabajo Operación Estadística Balance de Masa Glaciar.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 64 de 106

2.10. Finalización de archivos de datos (Sección 6.10)

Acorde con el *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, el Profesional Especializado (líder temático) aprueba los diseños, procedimientos e instrumentos para la operación y se procede con la implementación de las fases siguientes de la operación estadística, constituyéndose así el cierre de los archivos producidos en las fases de recolección, procesamiento y análisis.

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 en el transcurso de una semana, contando como recursos físicos con la capacidad computacional de la sede central del IDEAM y como recursos humanos con un Profesional del grupo de monitoreo de ecosistemas de Alta Montaña, sin requerir de recursos financieros. Las pruebas al diseño se realizan en la primera iteración del proceso estadístico o cuando se presentan actualizaciones en los aspectos metodológicos y operativos de la operación.

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. En la siguiente tabla se pueden observar las características de las pruebas a aplicar:

1. Pruebas Operación Estadística Balance de Masa

Subfase a probar	Diseño de la recolección o acopio	Diseño del procesamiento de los datos	Diseño de la difusión
Característica de la prueba			
Instrumento o proceso a probar	Formatos de recolección de datos	Software aplicativo - DHIME	Página Web institucional, componente glaciares
Tipo de prueba	De escritorio	De escritorio	De escritorio
Objetivo de la prueba	Comprobar la funcionalidad de los formatos de recolección de datos	Probar la funcionalidad y el entorno del DHIME	Verificar la funcionalidad del ambiente de difusión de glaciares
Tamaño (número de aplicaciones de la prueba)	Una	Una	Una
Insumos para la prueba	<ul style="list-style-type: none"> ● M-GCI-E-F017 Formato para la recolección de datos e información de campo del Balance De Masa Glaciar ● M-GCI-E-F003 Formato para la recolección de 	Software aplicativo - DHIME	Infraestructura página web

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 65 de 106

	datos en campo - pozo de acumulación		
Actores a quienes se les aplica la prueba	N/A	N/A	N/A
Criterios a evaluar	Coherencia Compleitud	Usabilidad	Accesibilidad
Aspectos operativos de la prueba	1. Imprimir formatos M-GCI-E-F017 y M-GCI-E-F003 2. Realizar un ejercicio de diligenciamiento del formato, mediante la aplicación de un estudio de caso, el cual contempla fotografías de las observaciones realizadas a los instrumentos de campo. 3. Evaluar la coherencia y completitud de formatos cargados en el SGI con las necesidades reales de información recolectadas en campo.	1. Ingresar con un usuario validado al software aplicativo DHIME - Glaciares. 2. Verificar el funcionamiento de la versión de producción del módulo del DHIME en sus tres entornos (Verificación no funcional). 3. Revisar la correcta aplicación de reglas de procesamiento, validación y salvaguarda de la información (Verificación funcional).	1. Ingresar con un usuario validado a la página web del IDEAM en la sección de glaciares. 2. Comprobar la funcionalidad de la misma. 3. Crear un contenido web o realizar una modificación controlada a un contenido existente, con imágenes o documentos adjuntos a modo de prueba. 4. Realizar la publicación y verificar la accesibilidad por medio de un usuario externo. 5. Regresar al contenido original y publicado.
Contingencias posibles, respuestas y soluciones a aplicar	No poder acceder al formato -> Informar a la dependencia SGI.	No contar o presentar dificultades con el usuario para ingreso al DHIME -> Solicitar mesa de ayuda a la Oficina de informática	No contar o presentar dificultades con el usuario para ingreso a la página web -> Solicitar mesa de ayuda a la Oficina de informática No evidenciar publicación de contenidos -> Solicitar mesa de ayuda a la Oficina de informática

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

A nivel de gestión, la OE BMG 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 marco de los planes de acción de la entidad. En el plan de acción se contempla la actividad principal “Monitorear de manera integral los ecosistemas de la alta montaña de Colombia” y para dar cumplimiento a esta, se tienen formuladas las acciones: -Monitorear la dinámica de los glaciares de Colombia en los 2 sitios piloto (PNN Los Nevados y PNN El Cocuy) y -Generar el informe del monitoreo de la dinámica de los glaciares de Colombia.

Adicionalmente, acorde con la NTCPE 1000:2020, se contempla la evaluación de las fases de 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 66 de 106

ejecución de acciones que den cuenta de dicha verificación y responsable de la misma. Dichos criterios son consistentes con los mecanismos de seguimiento institucional.

Fase 2. Diseño

2. Evaluación fase de diseño

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Entrenamientos realizados en BMG (Número de entrenamientos realizados en BMG).	Calidad de insumos / Aplicabilidad	Evaluación del entrenamiento por parte de líder temático en el Documento Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar.	Anual	Profesional Especializado (líder temático)
Programación trabajos de campo BMG (Calendario de recolección de datos)	Calidad de insumos / Exhaustividad	Cronograma de trabajos de campo.	Anual	Profesional Especializado (líder temático)
Planeación de la difusión - BMG (Programación de la difusión del BMG).	Uso Exhaustividad	Calendario de difusión.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

Fase 3. Construcción

3. Evaluación fase de construcción.

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Documentos elaborados y/o actualizados. (No. Documentos elaborados y/o actualizados).	Descripción documental	Documentos: Manuales, Instructivos, Guías, Procedimientos, Protocolos, Formatos u Otros, elaborados y/o actualizados.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar
Sistema DHIME - Módulo Glaciares.	Uso / Aplicabilidad	Módulo DHIME - Glaciares en funcionamiento.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

Fase 4. Recolección

4. Evaluación fase de recolección

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
-----------	------------------------	---------------------------	-----------------------	-------------

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 67 de 106

Monitoreo glaciar en campo (No. Comisiones de campo ejecutadas/ No. comisiones de campo planeadas).	Calidad de insumos	Formatos de campo diligenciados. Cumplidos de comisión. Informe de comisión.	Trimestral	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar
---	--------------------	--	------------	---

Fase 5. Procesamiento

5. Evaluación fase de procesamiento

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® del BMG diligenciada post-campo.	Uso / Aplicabilidad	Hoja cálculo Excel BMG diligenciada post-campo.	Trimestral	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

Fase 6. Análisis

6. Evaluación fase de análisis

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® del BMG diligenciada post-campo con análisis.	Funcionalidad / Aplicabilidad	Hoja cálculo Excel BMG diligenciada post-campo con análisis.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

Fase 7. Difusión

7. Evaluación fase de difusión

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Publicaciones anuales de BMG (No. de documentos publicados sobre BMG / documentos planeados para publicación sobre BMG)	Disponibilidad y acceso de información generada, a grupos de interés. Facilidad de acceso	Informes periódicos que incluyen el estado de los glaciares de estudio directo. Indicador ambiental Balance de Masa glaciar, publicado.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar
Solicitudes de la WGMS, atendidas. (No. Solicitudes de la WGMS. atendidas / No. Solicitudes de la WGMS allegadas)	Disponibilidad y acceso de información generada, a grupos de interés.	Correos de solicitud WGMS y respuesta por parte del IDEAM (con anexos: mapas, balance de masa glaciar, entre otros).	Anual	Profesional Especializado (líder temático)

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 68 de 106

Fase 8. Evaluación final de la operación estadística

8. Evaluación final de la operación estadística

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Ejecución física y presupuestal de la operación estadística (% de ejecución física y financiera).	Claridad / Exhaustividad	Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística balance de masa glaciar, con seguimiento. Contratos y/o convenios suscritos y/o celebrados.	Anual	Subdirector (a), Coordinador (a), Profesional Especializado (líder temático)
Reunión anual de evaluación - Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. de Evaluación y seguimiento de la OE BMG.	Uso / Aplicabilidad / Funcionalidad	Acta de Reunión / Lista de asistencia.	Anual	Subdirector (a), Coordinador (a), Profesional Especializado (líder temático)

3. CONSTRUCCIÓN (CAPÍTULO 7 NTC PE 1000-2020)

3.1. Instrumentos de recolección (Sección 7.2)

Se construyen las instrucciones de preparación de la fase de recolección, sustentadas básicamente en el levantamiento de datos directamente sobre la superficie del glaciar, producto del desarrollo de comisiones o campañas de campo se cuenta con la siguiente serie de instrumentos contruidos.

Se deben tener en cuenta la planificación y gestión de las campañas de medición, así:

1. Cronograma de trabajos de campo. Documento que se elabora a inicios de cada ciclo de medición, en el cual se programa las fechas y los lugares de cada campaña de campo. El documento se socializa al Grupo de trabajo correspondiente.
2. Se preparan los formatos administrativos institucionales que aseguran el presupuesto, gestión y desarrollo de las campañas de campo. Estos son:
 - Formato de comisión de servicios de funcionarios al interior del país (A-GF-F007)
 - Formato de autorización de desplazamiento de contratistas al interior del país (A-GF--F022)
 - Solicitud de tiquetes aéreos (A-AR-F011)
 - Solicitud de equipos, materiales e insumos (A-AR-F001)

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 69 de 106

- Formato autorización salida de elementos (A-AR-F003)
- Formato cumplido de comisión (A-GF-F010). *(para funcionarios)*
- Formato cumplido de comisión (A-GF-F025). *(para contratistas)*
- Planilla de cumplimiento del servicio de transporte terrestre y satisfacción del cliente
- Planilla de solicitud de servicio de transporte terrestre
- Formato de control de cumplimiento de especificaciones técnicas del servicio de transporte integral terrestre o equino.

3. Asegurar la disponibilidad de equipos para monitoreo glaciar. El IDEAM tiene a disposición los siguientes equipos y materiales indispensables para el monitoreo glaciar y captura de datos de campo:

9. Equipos para monitoreo glaciar

Equipo/Material	Inventario	Función
Perforadora de hielo a vapor “Heucke Ice Drill”	En inventario	Perforar hielo mediante vapor de agua caliente a presión. La máquina usa agua líquida la cual es calentada a presión hasta producir suficiente vapor que mediante una manguera se conduce para fundir la nieve y el hielo abriendo agujeros de aproximadamente una (1) pulgada de diámetro y de 10 a 12 metros de profundidad. El agujero se usa para insertar las balizas o estacas. Utiliza gas propano/butano como combustible.
Balanza electrónica de precisión	En inventario	Pesar muestras de nieve o neviza para calcular la densidad de la nieve y el hielo.
GNSS diferencial Topcon Hiper V	En inventario	Obtener datos para la construcción de la cartografía glaciar, por medio de la implementación de métodos topográficos tradicionales de terreno o levantamientos topográficos para obtener información sobre el área, perímetro o relieve del glaciar.
GPS Garmin tipo Etrex 30	En inventario	Obtener la posición en coordenadas de latitud, longitud y altitud del glaciar de puntos. Es útil para orientación en terreno, ubicación de las balizas o estacas y levantamiento de rutas de acceso y recorridos y medición de distancias.
Dron Multirrotor DJI Phantom	En inventario	Toma de fotografías aéreas a baja altura sobre el terreno para la generación de cartografía actualizada, modelamientos del terreno y reconocimiento aéreos de terrenos inexplorados.
Sonda de nieve	Elemento de consumo	Medición de la acumulación de nieve sobre la capa de hielo del glaciar.
Cinta métrica	Elemento de consumo	Medición de emergencias en cada una de las balizas o estacas instaladas sobre el glaciar.
Cámara fotográfica	En inventario	Toma de fotografías y videos de la recolecta de datos.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 70 de 106

Cartuchos de gas comprimido Butano/Propano	Elemento de consumo	Fuente de energía de la Perforadora de hielo Heucke Ice Drill.
Baterías recargables tipo AA	Elemento de consumo	Suministro de energía para los equipos como: GPS, Radioteléfonos y linternas.
Bolígrafo	Elemento de consumo	Registro escrito de datos.
Libreta de campo	Elemento de consumo	Registro de información o datos adicionales al formato de campo
Radioteléfonos portátiles	En inventario	Comunicación instantánea entre miembros del personal.

4. Se preparan los principales formatos de recolección de datos usados por el personal en esta fase, los cuales son:

- *Formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar*
- *Formato para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*

NOMBRE DEL GLACIAR:							
FECHA: dd/mm/AAAA				OBSERVADOR:			
# Baliza	Sección	Emergencia (metros)	Nieve (metros)	PERFORACION			Observaciones
				SI	Nueva sección	Nueva emergencia (metros)	
			1.	Promedio			
			2.				
			3.				
			1.	Promedio			
			2.				
			3.				
			1.	Promedio			
			2.				
			3.				
			1.	Promedio			
			2.				
			3.				

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 71 de 106

NOMBRE DEL GLACIAR:				
FECHA: dd/mm/AAAA			OBSERVADOR:	
PROFUNDIDAD DEL POZO (cm)				
No. Muestra	Longitud (cm)	Peso Total (g)	Tipo	Observación

27. Formatos impresos de recolección de datos sobre la superficie del glaciar en las libretas de campo. IDEAM, 2021.

3.2. Desarrollo del software aplicativo de la operación estadística (Sección 7.3)

El software aplicativo para la operación consiste en la aplicación del ambiente de producción del componente de Glaciares dentro del Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos del IDEAM (DHIME) descrito en el numeral 2.6 ‘diseño del procesamiento de datos’ y especificado en la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*. En la fase de construcción el equipo a cargo del monitoreo glaciar revisa y confirma su correcto funcionamiento y operabilidad.

3.3. Selección de la muestra (sección 7.4)

Esta operación estadística se cataloga como un muestreo no probabilístico por conveniencia, en donde se seleccionan muestras de la población a partir de criterios técnico-científicos en la cual cada muestra tiene su propio comportamiento sin que ello afecte la representatividad respecto al universo de estudio. De acuerdo con el numeral 2.4.6 (Diseño muestral) de este documento, la muestra está compuesta por los glaciares relacionado a continuación:

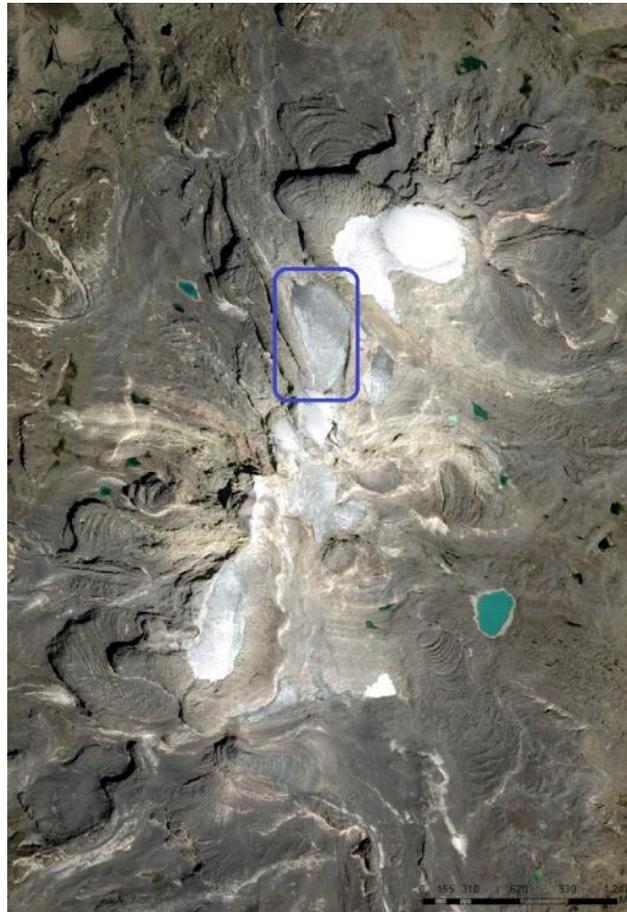
- **Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras**

Ubicado entre los volcanes nevados del Tolima y del Ruiz, el glaciar Santa Isabel es la montaña glaciada a menor altitud y con el área glaciar más pequeña de Colombia y junto con estos últimos forma parte del área protegida del Parque Nacional Natural Los Nevados. No es una estructura volcánica con un cráter y forma cónica convencional como el Tolima o el Huila, sino un conjunto de domos o superficies convexas creadas por efusión de lavas, mayoritariamente a fines de la época geológica Terciaria y principios del Cuaternario (Flórez, 1992) que permiten el asentamiento de glaciares. Este volcán cuenta en el año 2019 con un área de 0,52 Km² (Ceballos et.al., 2020). Los trabajos glaciológicos se realizan sobre una masa de hielo de 8 hectáreas aproximadamente, localizada al noroeste del complejo volcánico, conocida como Conejeras, nombre que recibe del sendero que conduce allí.

El sitio de estudio representa el glaciar en mayor estado crítico del país y responde a las condiciones climáticas locales y regionales de la Cordillera Central, donde se encuentran cuatro de los seis nevados nacionales, lo cual evidencia su alta representatividad. La morfología de la cuenca donde se asienta este glaciar ha permitido la instrumentación de

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 72 de 106

esta a través de estaciones hidrometeorológicas que permiten una mejor comprensión. Finalmente, cumple con condiciones de viabilidad, accesibilidad en lo relativo a rutas de acceso, así como de alta seguridad en tanto es de baja dificultad técnica.



28. Ubicación y aspecto del glaciar de estudio sector Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel. IDEAM, 2020.

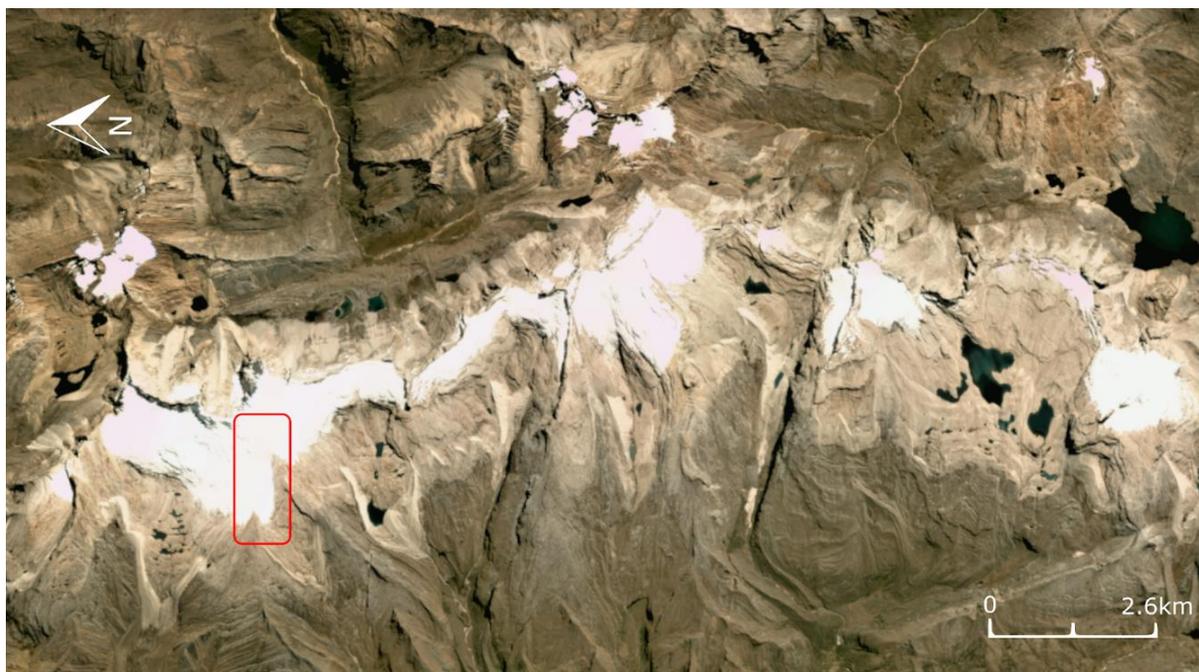
- **Sierra nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco**

La sierra nevada El Cocuy o Güicán se asienta sobre sedimentos del antiguo mar interior que cubría el territorio colombiano. Sus glaciares, los más extensos del país, integran el territorio del pueblo U'wa y de las familias campesinas que habitan los páramos circundantes. De la misma forma hacen parte del área protegida Parque Nacional Natural El Cocuy. Estos picos nevados realizan un aporte hídrico a dos de las cuencas más importantes del país: al río Magdalena por la vertiente occidental y al río Orinoco por el oriente.

El sitio de estudio Ritacuba Blanco es altamente representativo ya que es la masa glaciar más extensa de Colombia, está ubicada en la Cordillera Oriental y responde a condiciones climáticas relacionadas con la estacionalidad de la región de la Orinoquía. Adicionalmente, tiene un comportamiento meteorológico que responde en algunos meses a otros factores como el tránsito de ondas tropicales, condiciones locales de subsidencia o influencia de variabilidades

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 73 de 106

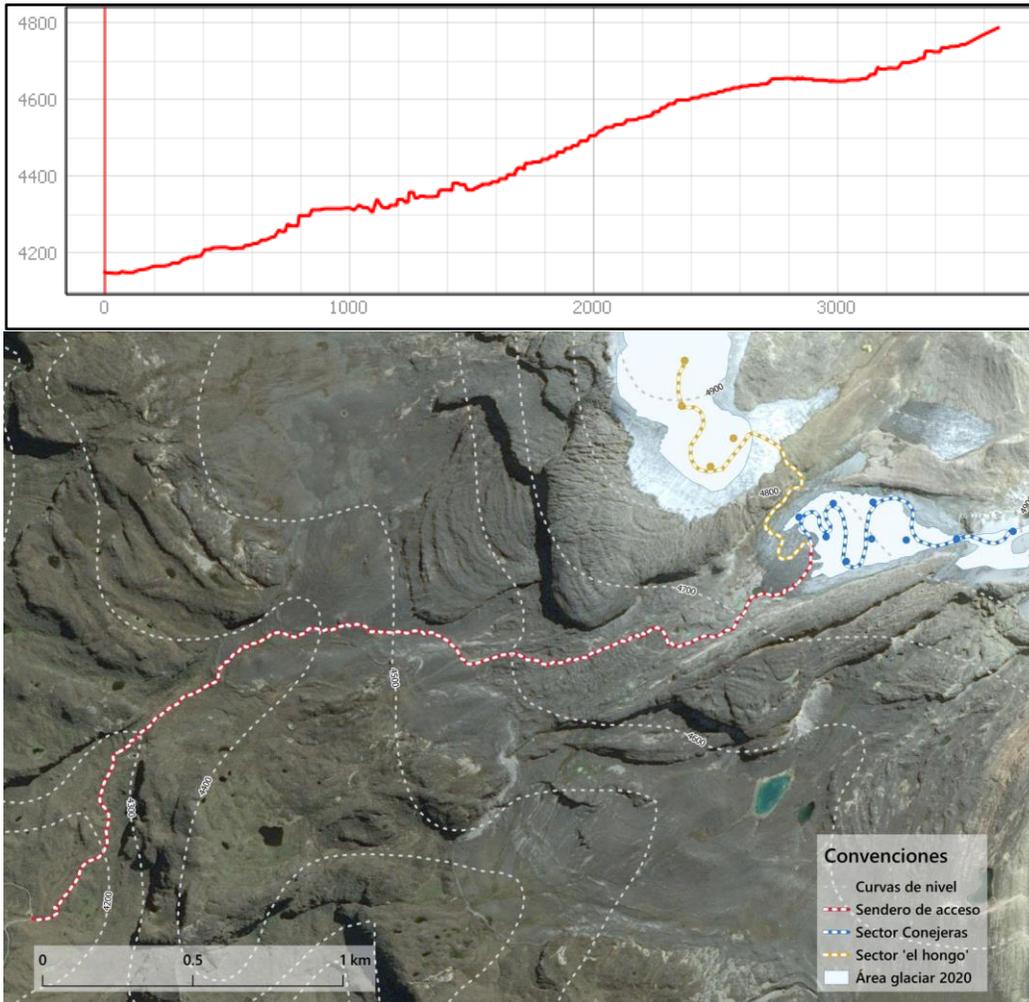
climáticas interdecadales o intraanuales como la reconocida Madden-Julian (Ceballos et.al., 2020). Igualmente, la morfología de la cuenca y la disposición estructural del basamento rocoso donde se asienta este glaciar ha permitido la instrumentación de esta a través de estaciones hidrometeorológicas que permiten una mejor comprensión. Finalmente, cumple con condiciones de viabilidad y accesibilidad en comparación con otros glaciares del país, en lo relativo a rutas de acceso e infraestructura en las inmediaciones del Parque Nacional Natural El Cocuy.



29. Imagen de satélite que muestra el sector Ritacuba Blanco en la sierra nevada El Cocuy

3.4. Elaboración de materiales para la recolección (sección 7.5)

La elaboración de materiales necesarios para la recolección se basa en la consecución de los formatos y equipos descritos en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*. Respecto a los instrumentos se corresponde con lo descrito en el numeral 3.1., lo cual incluye los formatos de control y supervisión de la toma de datos. Adicionalmente, el equipo recoge la información geográfica y cartográfica de ubicación de las rutas o vías de acceso a las unidades de observación y sensores de medición.



30. Perfil y cartografía de ruta de recolección y ubicación de sensores (balizas) en unidad de observación Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras).

A su vez, se confirman los materiales necesarios para llevar a cabo el entrenamiento del personal, acorde el entrenamiento general descrito en el numeral 2.5.4. y especificado en la *Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar*.

3.5. Configuración 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.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 75 de 106

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 cuales incluyen pruebas funcionales y no funcionales al software aplicativo. 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 NTC PE 1000-2020)

En esta fase se explica el detalle de las actividades concernientes a la preparación para la recolección de los datos de campo en los sitios de monitoreo, así como las tareas propias en campo para su recolección que incluye al final el cierre de la recolección también en terreno y al final, la evaluación de los datos recolectados que se puede hacer tanto en campo como en oficina.

4.1. Actividades previas a la recolección (Sección 8.1)

4.1.1. Disposición de personal calificado

La Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental dispone de por lo menos un funcionario con experiencia y capacidad para liderar el proceso, el cual funge como líder temático de la operación. Adicionalmente, se cuenta con el apoyo de dos profesionales a cargo del monitoreo glaciar. La gestión de la contratación del equipo profesional se realiza según el *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*. Este personal es idóneo para el desarrollo de las actividades de monitoreo glaciar que incluye la recolección en campo de datos. Si algún profesional del equipo es principiante realiza el entrenamiento del personal, acorde el entrenamiento general descrito en el numeral 2.5.4. y especificado en la *Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar*.

4.1.2. Actividades previas a las campañas de campo

Con por lo menos dos semanas de anterioridad a la campaña de campo se socializa con Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC) y por medio de correo electrónico (permisos.investigacion@parquesnacionales.gov.co), las fechas, actividades a realizar y personas que asistirán en la recolección de los datos. Esta formalización obedece a que el IDEAM como entidad técnica es parte del Sistema Nacional Ambiental de Colombia (SINA) y no requiere permisos específicos de investigación en el sistema de Parques Nacionales Naturales (PNN), pero sí comunicar la ejecución de actividades dentro de estas áreas protegidas.

Con una semana de anterioridad a la campaña de campo se socializa con el Parque Nacional Natural (PNN) correspondiente y por medio de correo electrónico (nevados@parquesnacionales.gov.co; cocuy@parquesnacionales.gov.co) las fechas, actividades a realizar y personas que asistirán en la recolección de los

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 76 de 106

datos ó en su defecto se envía copia de la respuesta de la solicitud enviada a las oficinas centrales de PNNC si la hubiera. En todo caso, se debe informar al PNN la visita vía correo electrónico ó llamada telefónica para asegurar que se dispone tanto de acceso a los lugares de recolección como a infraestructura para alojamiento del personal y almacenamiento de los equipos. Si es el caso, se solicita acompañamiento de personal a los lugares de recolección

Si se requiere de acompañamiento adicional, una o dos semanas antes a la realización de la campaña de campo, se puede contactar a guías de montaña locales avalados que servirán como apoyo logístico. Los PNN de los sitios de recolección de los datos disponen de una base de datos de guías locales avalados por esta entidad.

El mes inmediatamente anterior a la campaña de campo y teniendo en cuenta los plazos establecidos por la Secretaría General del IDEAM, el profesional especializado (líder temático) gestiona por el canal institucional correspondiente, el presupuesto de viáticos para la comisión de campo teniendo en cuenta el número de participantes.

Una vez surtida dicha gestión, se diligencian, aprueban y envían a la división administrativa o técnica correspondiente, los siguientes formatos:

- Formato de comisión de servicios de funcionarios al interior del país (A-GF-F007)
- Formato de autorización de desplazamiento de contratistas al interior del país (A-GF--F022)
- Solicitud de tiquetes aéreos (A-AR-F011)
- Formato cumplido de comisión (A-GF-F010). *(para funcionarios públicos)*
- Formato cumplido de comisión (A-GF-F025). *(para contratistas)*
- Formato autorización salida de elementos (A-AR-F003) *(para funcionarios públicos)*
- Planilla de cumplimiento del servicio de transporte terrestre y satisfacción del cliente
- Planilla de solicitud de servicio de transporte terrestre
- Formato de control de cumplimiento de especificaciones técnicas del servicio de transporte integral terrestre o equino.

Las actividades previas a la campaña de campo se reseñan en su totalidad en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*.

4.1.3. Disponibilidad de materiales y equipos de monitoreo glaciar de campo

Debido a las condiciones ambientales en las cuales se realiza la recolección de datos como lo son particularmente la altitud (>4800 m.s.n.m), temperatura (entre 0 a 6 grados Celsius), humedad relativa (entre 70 a 90%) y radiación solar incidente y reflejada (+- 800 watt/m²), el personal que realiza la recolección de datos debe contar con un equipo de alta montaña, idealmente compuesto por:

Vestimenta

Protección térmica:

- Primera capa: ropa de material licrado o térmico (permite transpirabilidad y retención del calor corporal)
- Segunda capa: ropa de material polar o de plumas (permite aislamiento y brinda protección calórica)
- Tercera capa: ropa de material impermeable (protección de lluvia, nevada o tormenta)

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 77 de 106

Otros accesorios:

- Cabeza: gorro de material polar
- Manos: 1 par de guantes térmicos y 1 par de guantes impermeables
- Pies: Botas trekking o para glaciar, medias de material sintético - polar
- Polainas

Seguridad en el glaciar:

- Cuerda dinámica (mínimo de 40 metros de longitud)
- Arnés
- Mosquetones (mínimo 2)
- Cordinos de seguridad (mínimo 2)
- Crampones
- Raquetas de nieve
- Casco
- Gafas de nieve (con filtro para rayos UVA UVB y UBC)
- Piolet de marcha
- Linterna frontal
- Navaja
- Bastones de caminata

Seguridad personal

- Botiquín de primeros auxilios:
 - (M) Material de curación (gasas, curas, vendajes, esparadrappo, suero de rehidratación, suero fisiológico, bloqueador solar)
 - (I) Instrumentos de curación (tijeras, jeringas, depiladores de ceja, termómetro, pulsoxímetro)
 - (M) Medicamentos personales
 - (A) Apósitos
- Cantimplora
- Alimentación

Los equipos especializados de monitoreo glaciar con la correspondiente inspección de correcto funcionamiento, previo a la campaña de campo, son:

- Cinta métrica de longitud 5 metros: verificación de su buen estado y graduación legible.
- GPS de navegación: Verificación de buen funcionamiento y archivos de rutas y puntos de monitoreo y recolección de datos.
- Baterías AA
- Sonda de nieve
- Cámara fotográfica
- Teléfono móvil con cámara fotográfica
- Lapiceros de tinta

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 78 de 106

- Libretas de campo
- Radios portátiles de comunicación para corta distancia (con cargador de baterías ó baterías)

Equipos ocasionales en caso de mantenimiento de la red de balizas:

- Perforadora de hielo a vapor con sus accesorios (manguera conectora de gas, manguera conductora de vapor de 6 metros, recipientes de agua, encendedores o mecheros a gas, kit de herramienta, estuche metálico del equipo). La verificación de funcionamiento se lleva a cabo al aire libre ensamblando todos sus componentes y poniéndola en funcionamiento durante algunos minutos verificando correcto encendido, funcionamiento del manómetro y ausencia de fugas.
- Cartuchos adaptables de gas propano/butano (para perforar 12 metros de hielo se necesita un cartucho de 450 gr)
- Plaquetas metálicas numeradas
- Cordino de 2 mm
- Navaja o cuchillo
- Tubos plásticos (PVC) de una pulgada de diámetro en secciones de 2 metros de longitud

Para los levantamientos topográficos periódicos:

- GPS diferencial marca Topcon referencia Hiper V con sus accesorios (trípodes, bastón para receptor móvil, baterías de fábrica, cargador de baterías, tableta digital para registro de puntos gps): Su inspección consiste en repaso del manual de usuario).

Para mediciones de densidad de nieve y neviza:

- Balanza digital de precisión (verificar su funcionamiento y calibración)
- Probeta graduada
- Muestreador de nieve

Los equipos antes mencionados están disponibles en el Grupo de Manejo y Control de Almacén e Inventarios. Las actividades necesarias para la disponibilidad de materiales y equipos de monitoreo glaciar de campo se reseñan en su totalidad en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*.

4.1.4. Impresión de documentos

Con anterioridad a la campaña de recolección de datos de campo se deben imprimir los siguientes documentos:

- Formato cumplido de comisión (A-GF-F010). *(para funcionarios públicos)*
- Formato cumplido de comisión (A-GF-F025). *(para contratistas)*
- Planilla de cumplimiento del servicio de transporte terrestre y satisfacción del cliente
- Formato de control de cumplimiento de especificaciones técnicas del servicio de transporte integral terrestre o equino.
- Formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar
- Formato para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación (si aplica)

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 79 de 106

- Datos de la medición de la campaña inmediatamente anterior (puede ser reemplazado por manuscrito o digital almacenado en teléfono móvil mediante foto a manuscrito o aplicativo de notas escritas o tableta o computador portátil)

4.2. Recolección de datos (Sección 8.2)

El detalle de la ejecución de la recolección de los datos de la operación estadística se describe en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*. El equipo recopila las evidencias de su aplicación 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, consistente en el diligenciamiento de los formatos *para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar* y *para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*; así como la información geográfica y cartográfica producto de los levantamientos topográficos.

4.3. Control en la recolección de datos (Sección 8.3)

El control de la recolección de datos se verifica el cumplimiento del “*Manual - Reglas de validación y consistencia de la operación estadística Balance De Masa Glaciar*” y las medidas de calidad de Cobertura y Porcentaje de no información. Adicionalmente, para el cierre del proceso de Recolección de datos de la operación estadística, se siguen los siguientes pasos:

4.3.1. Datos primarios

Una vez recolectados los datos de campo en el *formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar* o el *formato para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación* y salvaguardados según el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*, se registran en la hoja de cálculo de Microsoft Excel® descrita en la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

Además, la información de recolección de datos primarios diligenciados en el *Formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar* o el *Formato para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*, 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.

De igual forma, se verifica la transmisión y digitalización de datos primarios acorde con lo descrito en el numeral 2.5.2 (Control y supervisión). Esta supervisión es importante y debe ser salvaguardada ya que constituye un control de validez y consistencia a la recolección.

4.3.2. Equipos, formatos y fotografías

Los equipos y materiales sobrantes que fueron utilizados en campo se reintegran o se almacenan en las instalaciones del IDEAM (Bodegas u oficinas centrales) previa verificación de su estado y funcionamiento. Los formatos diligenciados y las fotografías seleccionadas son almacenados en las oficinas de la Subdirección de Ecosistemas e Información

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 80 de 106

Ambiental del IDEAM o en 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.

4.3.3. Administrativos

En campo y en lugar adecuado para tal fin se diligencian:

- Formato cumplido de comisión (A-GF-F010)
- Formato cumplido de comisión (A-GF-F025)
- Planilla de cumplimiento del servicio de transporte terrestre y satisfacción del cliente.

En oficina y hasta tres días hábiles después de terminada la campaña de campo, se diligencia por cada uno de los participantes y se envían para trámite correspondiente:

- Formato legalización comisión de servicios funcionarios (A-GF-F008)
- Formato legalización autorización desplazamiento -contratistas (A-GF-F023)
- Formato informe de comisión (A-GF-F009)

5. PROCESAMIENTO (CAPÍTULO 9 NTC PE 1000-2020)

En esta fase se explican las actividades y tareas del procesamiento de los datos y de la información para el cálculo del balance de masa glaciar por el método directo.

5.1. Integración de datos (Sección 9.1)

La consolidación de los datos primarios se realiza de acuerdo a la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*. Los datos son integrados a la *hoja de cálculo de Microsoft Excel* ® para el cálculo del balance de masa glaciar y al aplicativo de Glaciares en el sistema DHIME.

5.2. Clasificación y codificación (Sección 9.2)

Cada dato de campo debe coincidir con el punto de monitoreo previamente codificado, es decir, los datos del número de la sección de la baliza, la emergencia y la nieve deben pertenecer al correspondiente número de baliza; acorde con la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

Adicionalmente, en línea con la clasificación y nomenclatura internacional del WGMS previamente descrita en el numeral 2.3.3 (Nomenclaturas y clasificaciones), la cual utiliza la operación estadística, se tiene en cuenta que los glaciares de estudio tienen las siguientes características. Esta clasificación se debe tener en cuenta para los archivos integrados con el fin de ser divulgados a este organismo, de la siguiente forma para las unidades de observación:

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 81 de 106

10. Unidades de observación

Nombre del campo de clasificación	Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras)	Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco)
POLITICAL UNIT [alphabetic code; 2 digits]	CO	CO
GLACIER NAME [alpha-numeric code; up to 60 digits]	CONEJERAS	RITACUBA BLANCO
WGMS ID [numeric code; 5 digits]	2721	2763
GEOGRAPHICAL LOCATION (GENERAL) [alpha-numeric code; up to 30 digits]	CORDILLERA CENTRAL	CORDILLERA ORIENTAL
GEOGRAPHICAL LOCATION (SPECIFIC) [alpha-numeric code; up to 30 digits]	VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL	SIERRA NEVADA EL COCUY O GÜICÁN
LATITUDE [decimal degree North or South; up to 6 digits]	4,815	6,494
LONGITUDE [decimal degree East or West; up to 7 digits]	-75,373	-72,31
CODE [numeric code; 3 digits]	636	636
EXPOSITION OF ACCUMULATION AREA [cardinal point; up to 2 digits]	NW	W
EXPOSITION OF ABLATION AREA [cardinal point; up to 2 digits]	NW	W
PARENT GLACIER [numeric code; 5 digits]	2721	2749
GLACIER REGION [alphabetic code; 3 digits]	TRP	TRP
GLACIER SUBREGION [alpha-numeric code; 6 digits]	TRP-01	TRP-01

5.3. Revisión y validación de datos (Sección 9.3)

El examen a los datos integrados en *hoja de cálculo de Microsoft Excel*® para el cálculo del balance de masa glaciar y al aplicativo de Glaciares en el sistema DHIME se realiza en el marco de una reunión técnica del equipo de monitoreo posterior a las comisiones de campo. El equipo debe levantar un acta de reunión en donde se especifique la revisión y validación de los datos recolectados.

5.4. Edición e imputación (Sección 9.4)

Si no se tiene información primaria de las balizas del rango altitudinal, se realiza imputación de las variables *Profundidad al hielo* y *Espesor de la nieve*, mediante el método de Ponderación de distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés). Este método supone que se realizan mediciones de la variable de interés Z en los puntos x_i con

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 82 de 106

$i = 1, 2, 3, \dots, n$, y se desea predecir la medición del punto x_o , calculando una media ponderada de los valores muestrales, empleando la siguiente ecuación (Wagner, P. D., et al. 2012):

$$\hat{Z}(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

En donde λ_i son las ponderaciones de los valores originales calculados a partir de la proximidad entre las balizas, y $Z(x_i)$ son las mediciones de la variable de interés en los puntos i .

$$\lambda_i = \frac{d_{ix_o}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{ix_o}^{-p}} \text{ donde } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Con d_{ix_o} como la distancia entre los puntos i y x_o ; p la rapidez con que decrece el peso de un punto dado. Se emplea $p=2$, de acuerdo con Deckerdq (1996) esta potencia ofrece resultados empíricos satisfactorios y requiere menor esfuerzo computacional. Este proceso se realiza en Rstudio, las instrucciones para la imputación son ampliadas en la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

5.5. Cálculo de ponderadores (Sección 9.5)

El balance de masa glaciar por el método directo en el cual se distribuyen uniformemente (x, y, z) sobre la superficie estudiada una serie de medidas puntuales (medidas en la red de balizas), se considera una estimación ya que los balances específicos (de cada punto o baliza) representan el balance de la totalidad de la superficie. Debido a que los glaciares ecuatoriales tienen una dinámica que varía con la altitud, la superficie del glaciar estudiado se debe dividir por rangos altitudinales (generalmente cada 50 metros) y cada rango tiene por lo menos una baliza que lo representa. Debido a que las áreas de los rangos son diferentes, se debe asumir que el valor promedio de los balances específicos de cada rango altitudinal tendrá un peso relativo con respecto al área total, es decir, una ponderación. Así, los rangos altitudinales con las áreas más grandes tendrán mayor influencia en el valor del balance total. La explicación matemática del cálculo de ponderadores corresponde con el numeral 2.3.2 (Marco de referencia) de este documento. Las instrucciones para el cálculo se realizan de acuerdo a la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.



IDEAM
Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”

Código: M-GCI-E-M029

Versión: 02

Fecha: 30/03/2022

Página: 83 de 106

BalanceMasaRitacuba_OFICIAL - Excel

Jorge Luis Ceballos Lievano

Año	Periodo	Balizas del Rango1				Balizas del Rango2				Balizas del Rango3				Balizas del Rango4				Balizas Rang5	
		1	2	Balace promedio del rango	Área relativa por rango (%)	3	4	Balace promedio del rango	Área relativa por rango (%)	5	6	Balace promedio del rango	Área relativa por rango (%)	7	8	Balace promedio del rango	Área relativa por rango (%)		
	2/09/2014 a 21/10/2014	132	160	146	16,06%	252	260	256	13,18%	84	244	164	23,57%	76	168	122	23,62%	4	
	21/10/2014 a 2/03/2015	-305	-488	-397	16,06%	33	-559	-263	13,18%	-260	-408	-334	23,57%	-136	-144	-140	23,62%	4	
	2/03/2015 a 24/06/2015	-278	316	19	16,06%	-81	-425	-653	13,18%	100	-75	13	23,57%	-164	-188	-176	23,62%	4	
2015	24/06/2015 a 15/08/2015	246	148	197	16,06%	555	787	671	13,18%	108	144	126	23,57%	140	280	210	23,62%	4	
	15/08/2015 a 7/12/2015	-268	-68	-168	16,06%	-140	-875	-507	13,18%	-220	-112	-166	23,57%	-520	-660	-590	23,62%	4	
	7/12/2015 a 23/02/2016	-1320	-4	-662	16,06%	-1441	-1304	-1373	13,18%	-250	-1313	-782	23,57%	-92	-92	-92	23,62%	4	
	23/02/2016 a 26/04/2016	-1596	-1628	-1612	16,06%	-1212	-1196	-1204	13,18%	-1036	-1266	-1151	23,57%	-256	460	102	23,62%	4	
	26/04/2016 a 14/06/2016	-589	-594	-592	16,06%	-606	-587	-596	13,18%	26	20	23	23,57%	20	20	20	23,62%	4	
2016	14/06/2016 a 23/08/2016	307	209	258	16,06%	367	-16	176	13,18%	398	234	316	23,57%	330	312	321	23,62%	4	
	23/08/2016 a 19/10/2016	-228	-95	-162	16,06%	-92	99	3	13,18%	57	38	48	23,57%	1120	-20	30	5	23,62%	4
	19/10/2016 a 7/12/2016	-35	18	-9	16,06%	89	-116	-13	13,18%	245	68	157	23,57%	3689	168	619	394	23,62%	4
	7/12/2016 a 13/02/2017	-595	-453	-524	16,06%	-165	-305	-235	13,18%	-221	-181	-201	23,57%	-87	-410	-248	23,62%	4	
	13/02/2017 a 25/04/2017	-485	-304	-395	16,06%	-285	-94	-190	13,18%	245	166	205	23,57%	98	123	111	23,62%	4	
	25/04/2017 a 14/06/2017	-240	-157	-199	16,06%	-14	369	178	13,18%	95	94	94	23,57%	2223	92	106	99	23,62%	4
	14/06/2017 a 24/08/2017	205	155	180	16,06%	157	413	285	13,18%	314	132	223	23,57%	5257	110	75	92	23,62%	4
2017	24/08/2017 a 19/10/2017	-113	-63	-88	16,06%	-113	-104	-122	13,18%	51	-250	-99	23,57%	-241	-365	325	-20	23,62%	4
	19/10/2017 a 6/12/2017	-143	-161	-152	16,06%	67	-720	-327	13,18%	-12	342	165	23,57%	3885	36	93	65	23,62%	4
	6/12/2017 a 14/02/2018	-438	-243	-341	16,06%	-69	-69	-69	13,18%	163	39	101	23,57%	2386	62	109	85	23,62%	4

31. En la pestaña “3.BM Total Ponderado” de la hoja de cálculo se pondera el balance de masa según las áreas relativas

5.6. Finalización de los archivos de datos (Sección 9.6)

El cálculo del balance de masa finaliza en la pestaña “OFICIAL_ResumenANUAL” de la hoja de cálculo de Microsoft Excel® para el cálculo del balance de masa glaciario.

Posterior al uso de la hoja de cálculo de Microsoft Excel®, se consolida la información de salida en una base de datos depurada que permite la identificación de este archivo de datos en términos de nombre y descripción de los campos, así como características básicas y reglas de validación. El archivo finalizado se almacena en el 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. El uso de esta plataforma asegura confidencialidad, disponibilidad, control de acceso, copias de seguridad, versionaje, protección ante pérdida y modificaciones.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 84 de 106

6. ANÁLISIS (CAPÍTULO 10 NTC PE 1000-2020)

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 Balance de Masa Glaciar teniendo en cuenta los siguientes elementos.

6.1. Limitaciones de los resultados (10.2)

El IDEAM atiende criterios científicos, técnicos y logísticos de desagregación y cobertura geográfica del universo de estudio, lo cual es la mayor limitación. Debido fundamentalmente a la dificultad logística, técnica y económica, no es posible realizar mediciones directas sobre todas las masas glaciares del país. Esto implica que el cumplimiento de los objetivos de la operación estadística se realiza únicamente sobre las muestras definidas.

En tal sentido y en relación con las medidas de calidad especificadas en el numeral 2.4.6, se cumple la primera medida al ser necesario evaluar como mínimo una unidad de muestreo. Adicionalmente, para el análisis de información y generación de resultados es necesario tener un Porcentaje de no información límite del cuarenta por ciento (40%) de los rangos altitudinales de la masa glaciar y por lo tanto una imputación para las variables de las balizas de máximo dicho porcentaje de rangos. Cuando no se cumple el porcentaje de no información o se pierde más información de la que puede ser imputada, no se genera el balance de masa para esa unidad de muestreo.

6.2. Cálculo de agregaciones -resultados (Sección 10.3)

El cálculo de los resultados esperados especificados en el *Plan general para la operación estadística Balance de Masa Glaciar*, así como los indicadores y parámetros descritos en la *Ficha metodológica para la operación estadística Balance de Masa Glaciar* y en este documento, son calculados en la fase de procesamiento.

Excepcionalmente, los profesionales a cargo del monitoreo de la dinámica glaciar calculan agregaciones de datos hidrológicos y meteorológicos. Para llevar a cabo este proceso, se realiza el siguiente proceso. En primer lugar, se revisa el estado, funcionamiento y stock de datos de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM -convencionales, automáticas o satelitales según corresponda- presentes y funcionando en inmediaciones de los glaciares objeto de estudio. La mencionada revisión se realiza a través del Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos – DHIME. Las estaciones principales ubicadas en la alta montaña y en cercanía a los sitios de estudio son:

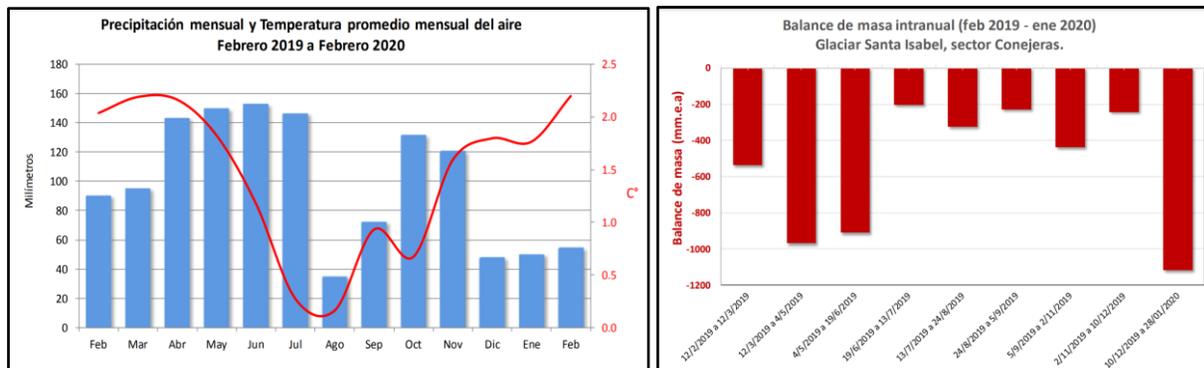
11. Estaciones principales ubicadas en la alta montaña y en cercanía a los sitios de estudio

Nombre de la estación	Código IDEAM	Altitud aproximada	Nevado más cercano
La Laja-Ritacuba Negro	24037630	4307	Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
La Playa, Cardenillo	24037001	3742	Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
Puente Vda. Calvario	24037620	3106	Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 85 de 106

Ritacuba Blanco EMMA 2	24035440	5028	Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
Nevado del Cocuy	24035380	4676	Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
Nev Santa Isabel	26135320	4686	Volcán Nevado Santa Isabel
Conejeras2	26157170	4700	Volcán Nevado Santa Isabel
Páramo Conejeras	26155250	4413	Volcán Nevado Santa Isabel
Estación meteorológica móvil de altitud EMMA	26155501	4750	Volcán Nevado Santa Isabel

En segundo lugar, se preparan y generan salidas gráficas con series de tiempo de los datos climáticos, particularmente temperatura y precipitación, que permitan la comparación. Esto de acuerdo a la disponibilidad de datos. La preparación de la información climática permite un análisis comparativo visual de los datos registrados por las estaciones y los datos procesados en el marco de la operación estadística.



32. Ejemplo de gráfica correlacionada de precipitación y temperatura con gráfica de balance de masa para el mismo sitio de estudio y amplitud temporal.

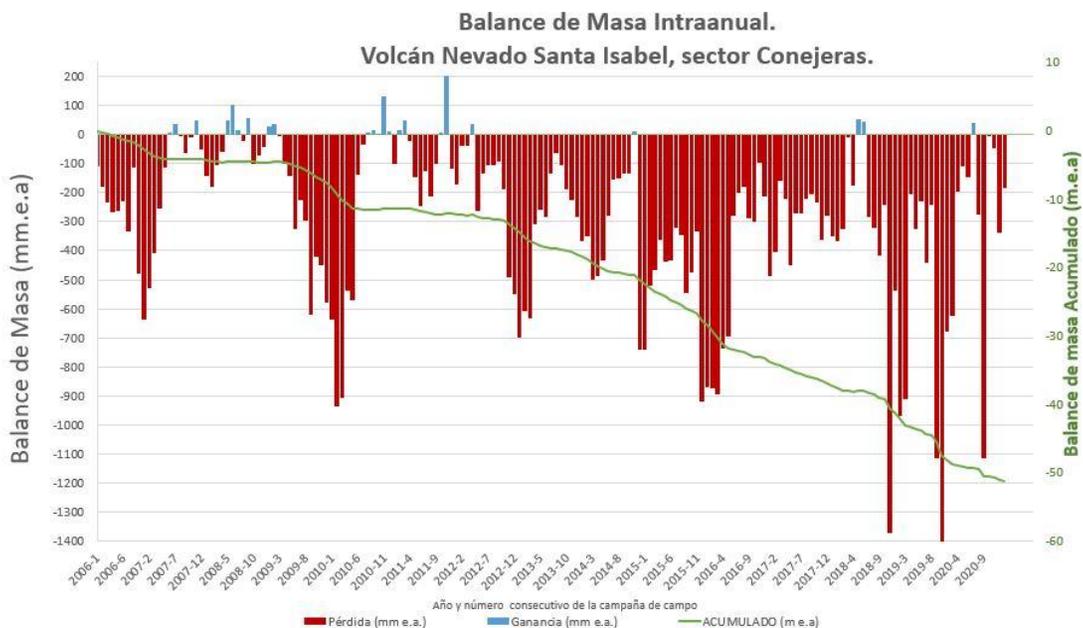
En un tercer momento se confirma la concordancia o discordancia de los datos según sea el caso, lo cual nutre el análisis en términos de consistencia y coherencia de la información obtenida. Adicionalmente, si producto de la búsqueda de datos climatológicos, se encuentre fallas en los sensores de registro o de transmisión, el grupo de profesionales a cargo del monitoreo glaciar en Colombia envía una comunicación, según corresponda a: la Oficina de Informática, el Grupo de Automatización o Área operativa correspondiente de la Subdirección de Hidrología o al Grupo de Gestión de datos y red meteorológica de la Subdirección de Meteorología.

Finalmente, teniendo en cuenta que la fuente de datos es un elemento geofísico, la OE BMG no obtiene microdatos que deban ser anonimizados. De la misma manera, no se requiere mantener confidencialidad de la fuente.

6.3. Consistencia y coherencia de resultados (Sección 10.4)

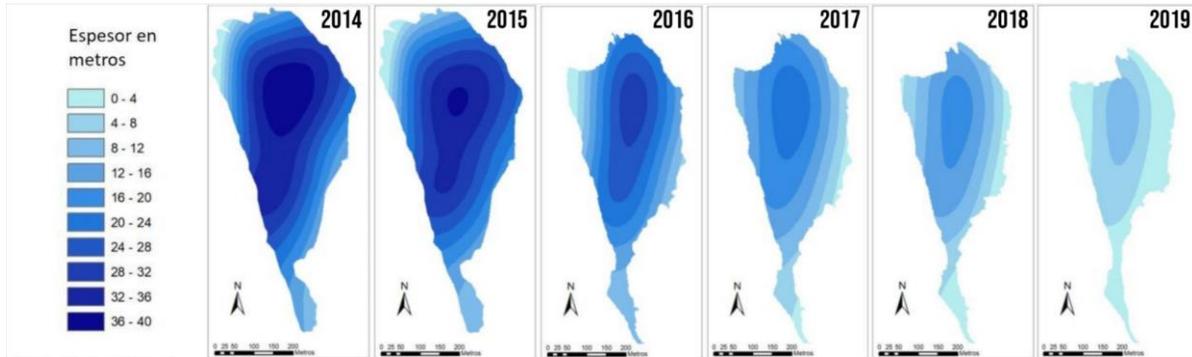
El análisis de los resultados de balance de masa consiste principalmente en la comparación y contraste del resultado obtenido para cada unidad de observación con su propia serie de datos a escala intraanual o anual. No hay mejor grupo de datos para asegurar la consistencia y coherencia del resultado, que la correspondencia y conexión lógica con resultados anteriores. El uso estandarizado del método glaciológico reseñado en la fase de diseño, la cual es de referencia internacional garantiza integración, comparabilidad e interoperabilidad mínima de la información estadística.

Adicionalmente, desde las fases de recolección y procesamiento, el tratamiento de datos lleva un proceso a partir de la aplicación del *Manual - reglas de validación y Consistencia de la operación estadística Balance de masa glaciar*, con el cual se busca garantizar la consistencia de los datos para aumentar la confiabilidad y validez de los resultados.



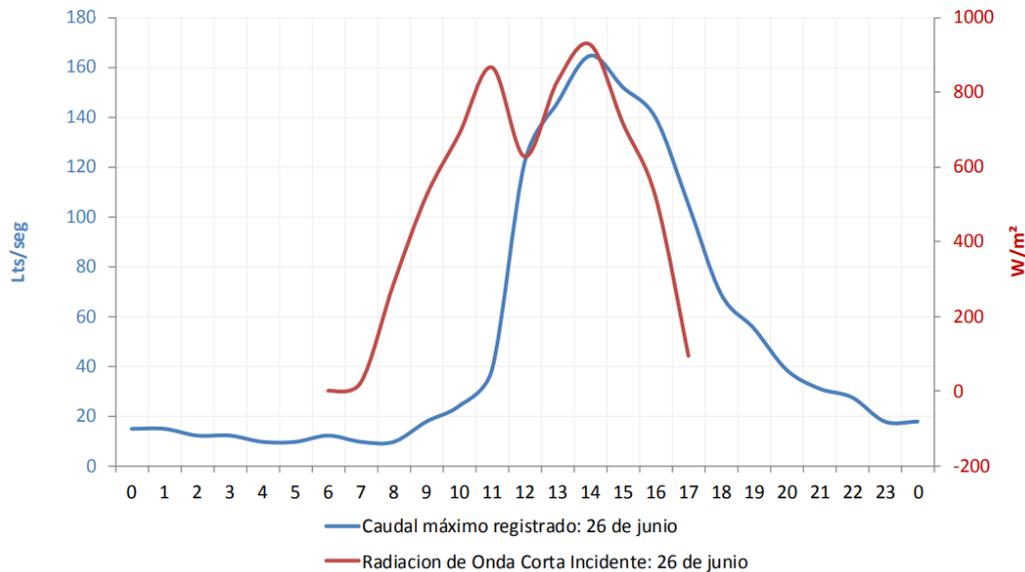
33. Serie histórica de datos de balance de masa intraanual que permite visualizar correspondencia temporal respecto a una tendencia de derretimiento.

Adicionalmente a esto, el análisis se puede fortalecer con estudios complementarios de seguimiento a la dinámica de los glaciares como: balance de energía, balance hidrológico, retrocesos del frente glaciar, espesores de hielo o topografía glaciar. Es particularmente notorio el uso de los datos de radiación solar tomados por el sensor instalado en la estación meteorológica móvil de altitud EMMA, ubicada en la superficie de uno de los glaciares de estudio.



34. Ejemplo de una serie histórica de datos de espesor de hielo en una unidad de observación.

**Caudal de agua de fusión glaciario y radiación solar de onda corta incidente
Junio 26 de 2019**



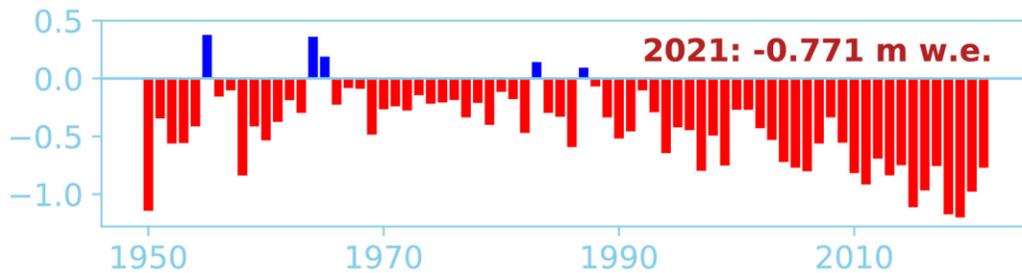
35. Ejemplo de una serie de datos usada para correlación de coherencia con datos de caudal y radiación solar.

Igualmente se realiza un análisis comparativo con el comportamiento del clima (principalmente precipitación) durante el mismo periodo de los resultados, para lo cual se utilizan los reportes y boletines que divulga la Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas (OSPA) del IDEAM. El uso de la información producida por esta oficina se enfoca en 1) asistencia a los comités mensuales de predicción climática, en los que se prevé el comportamiento meteorológico en las siguientes semanas o meses para las zonas de estudio; 2) consulta directa con los profesionales y 3) boletines de condiciones hidrometeorológicas actuales. De la misma forma se consultan los datos recolectados y adquiridos por la red de estaciones hidrometeorológicas del IDEAM en concordancia con el numeral 6.2.

Finalmente, la información de la dinámica glaciario es contrastada con balances de masa reportados alrededor del mundo y recogidos por el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciario (*World Glacier Monitoring Service -WGMS-*) en su página web en la sección 'exploración de datos' (https://wgms.ch/data_exploration/) o en los boletines de cambio glaciario

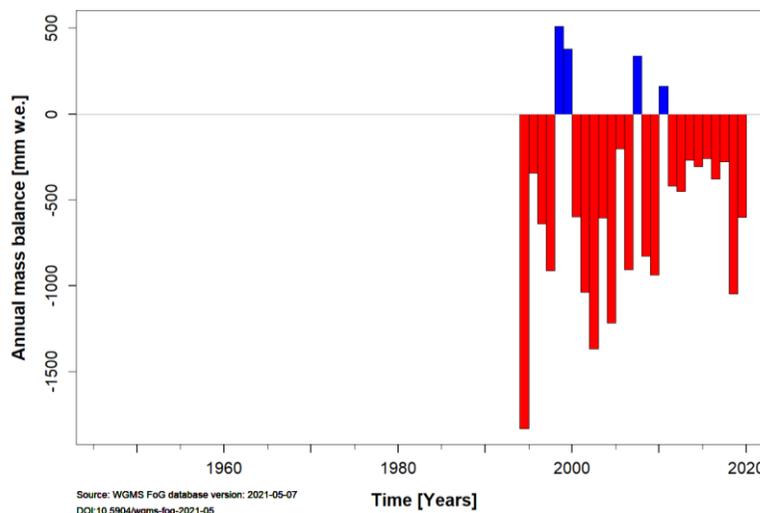
	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 88 de 106

global (*Global Glacier Change Bulletin*) disponibles en la web (<https://wgms.ch/ggcb/>). Lo último con especial énfasis en los glaciares ecuatoriales, de acuerdo a la definición en el marco de referencia de este documento.



36. Serie de datos de balance de masa global con las mediciones históricas de los glaciares representativos-

ANTIZANA15ALPHA, EC (WGMS_ID: 1624)



37. Ejemplo de series de datos del glaciar de estudio en el volcán Antisana (Ecuador), otro glaciar ecuatorial.

6.4. Validar y documentar resultados (Sección 10.5)

En suma, la validación e interpretación de los datos finales y estadísticas complementarias se lleva a cabo principalmente mediante comparación entre los datos anteriores (balance de masa del periodo anterior, balance de masa del mismo periodo del año hidrológico anterior y balance de masa del año hidrológico anterior) y con el comportamiento del clima (precipitación y temperatura) para la región geográfica correspondiente y durante el ciclo hidrológico anual o intra-anual. Adicionalmente, se hace comparación con el balance anual de glaciares de un país vecino ecuatorial como lo es el caso de Ecuador. En todas las comparaciones debe existir coherencia ya que el comportamiento del glaciar va ligado al del clima. Por ejemplo, eventos climáticos extremos tipo “El Niño” y “La Niña” se reflejan en el Balance de masa. Igualmente, la dinámica de la precipitación para la región Andina (influenciada evidentemente por la ubicación de la Zona de Confluencia Intertropical) se refleja en los balances intra-anales.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 89 de 106

Para el caso del balance de masa del sitio Sierra Nevada El Cocuy sector Ritacuba Blanco, se debe prestar mayor atención, ya que por encontrarse entre las zonas naturales Andina y Orinoquia, se ha evidenciado un comportamiento del balance de masa que refleja influencias de ambas regiones, para lo cual se deben hacer comparaciones del comportamiento de la precipitación en ambas vertientes de la Cordillera Oriental.

Para la obtención de resultados anuales de la operación estadística se realiza un análisis de contexto; resultado de series de tiempo o información histórica de la evolución de la cobertura glaciar, no solamente de la propia operación sino mediante el análisis de información producto del procesamiento de sensores remotos (fotografías aéreas e imágenes satelitales) que permiten estimar el área de los glaciares en el país (Ceballos et.al., 2020). Esto se relaciona con la *Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*, producida por la misma entidad.

Los resultados del análisis tienden a concluir que el volcán Nevado Santa Isabel (a partir del estudio en los sectores Conejeras o El Hongo) es el glaciar más inestable del país. Presenta un acelerado derretimiento, particularmente desde 2016, y se prevé su extinción aproximadamente hacia las décadas de 2020 y 2030. Presenta comúnmente balances de masa totales anuales con valores que superan los -4000 milímetros equivalentes de agua (Ceballos et.al., 2020). Por otro lado, la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (a partir del estudio del sector Ritacuba Blanco) es el glaciar más estable del país: Esto debido a precipitaciones sólidas (nieve y granizo) registradas durante varios años desde 2017.

Al comparar los dos glaciares de estudio en terreno en cuanto a sus acumulaciones de nieve, puede observarse también una dinámica diferenciada. Las condiciones climáticas y meteorológicas que explican la diferencia de precipitaciones tan marcada en ambos lugares están relacionadas con condiciones geográficas particulares. Respecto a la precipitación de nieve en los glaciares, es conocida la influencia de fenómenos climáticos extremos como El Niño o La Niña; no obstante, en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán no se evidencia una correlación tan fuerte con estos fenómenos climáticos de gran escala, más bien son las condiciones locales o de meso y microescala las que tendrían mayor influencia. En cuanto a la alta precipitación de nieve en El Cocuy o Güicán, se explica por un régimen de lluvias más relacionado con la estacionalidad de la región de la Orinoquia que con la de los Andes centrales. Además, el comportamiento meteorológico anómalo en algunos meses se debe a otros factores, como el tránsito de ondas tropicales, condiciones locales de subsidencia o influencia de variabilidades climáticas interdecadales o intra estacionales, como la oscilación de Madden y Julian (Ceballos et.al., 2020).

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).

El análisis validado, por ende, refleja consistencia interna de las variables y series históricas, tiene en cuenta estadísticas similares como la *Operación Estadística Área y Cambio de Cobertura Glaciar*, considera el entorno ambiental de los glaciares estudiados y se soporta en el uso de los estándares estadísticos definidos en el diseño temático de la operación.

6.5. Métodos de análisis (10.6)

La aplicación de los métodos de análisis de información de Balance de Masa permite comprobar la correspondencia entre el comportamiento mundial, regional o ecuatorial de los glaciares (resultados esperados) con los resultados

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 90 de 106

obtenidos para los glaciares colombianos, por ende, la coherencia de los mismos. Además, al tener en cuenta el comportamiento de otras variables glaciológicas, así como el de las variables hidrometeorológicas, se garantiza el conocimiento de fenómenos internos o externos que influyen en la información.

Es así que las series o cuadros de salida principales producto del análisis se consignan en la *hoja de cálculo de Microsoft Excel® para el cálculo del balance de masa glaciar* utilizada desde la fase de procesamiento, en las pestañas “OFICIAL_ResumenINTRAANUAL” y “OFICIAL_ResumenANUAL”. Allí se concentra la información de los resultados finales que han sido objeto de controles, evaluaciones, revisiones y aprobaciones. En tal sentido, los datos, sus estadísticas y gráficas asociadas allí consignados, son los finales y son fuente de información para la elaboración de documentos de divulgación. Cada periodo de análisis del ciclo hidrológico quedará allí consignado alimentando la serie de datos históricos.

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 balance de masa 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. Reuniones con expertos (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, es normal que eventualmente se desarrollen 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 NTC PE 1000-2020)

La difusión consiste en la fase del proceso estadístico en la que se pone a disposición de los usuarios la información estadística, a través de los medios de divulgación establecidos previamente en el numeral 2.8 ‘diseño de la difusión’.

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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 91 de 106

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 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.



38. Información divulgada en la página web del IDEAM sobre la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 92 de 106



39. Portadas de documentos de reporte del estado de los glaciares colombianos



40. Eventos de difusión de resultados de la operación estadística. IDEAM, 2018.

Los productos principales consisten en la entrega de:

- Informes periódicos del estado de los glaciares de estudio.
- Informes periódicos del estado de los glaciares colombianos.
- Indicador Ambiental Balance de Masa Glaciar.
- Envío de información requerida en el llamado de datos o *call-for-data* al WGMS.

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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 93 de 106

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 BMG 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 balance de masa 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 BMG sigue con puntualidad y oportunidad las fechas de publicación establecidas en el *Calendario de difusión para la operación estadística Balance de Masa Glaciar*, el cual es publicado en en el mapa de procesos del Sistema de Gestión Integrada del IDEAM, el cual 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.

7.5. Publicación de medidas de calidad (Sección 11.5)

La difusión de los datos está acompañada de las tres medidas de calidad: cobertura, porcentaje de no información e imputación, de acuerdo a lo señalado en el numeral 2.4.6. (Diseño muestral – Medidas de calidad). La estructura documental de la OE BMG lo 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 balance de masa glaciar.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 94 de 106

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

Al ser un dato final de un proceso procedente de una institución de carácter público y miembro del SINA, éste es público. Los datos fuente o datos primarios son obtenidos en terreno por personas naturales vinculadas al IDEAM, ya sean profesionales de carrera administrativa, provisionales, contratistas, consultores o pasantes que tienen dentro de sus funciones laborales o contractuales el monitoreo glaciar en campo y en oficina, 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 Balance de Masa glaciar

El *Indicador ambiental balance de masa glaciar* 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 aprobados por el 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:

12. Roles y responsabilidades dentro del proceso de difusión de los informes

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	Producto publicado acorde con

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 95 de 106

	temático)	calendario de difusión
--	-----------	------------------------

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

13. 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 NTC PE 1000-2020)

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

La evaluación del desempeño se realiza de acuerdo a la aplicación de los indicadores de evaluación diseñados en el numeral 2.12 ‘diseño de la evaluación del desempeño’, junto con la descripción específica de dicho indicador y los documentos y/o registros de soporte. A continuación, se presenta una matriz general de los indicadores aplicados:

14. Evaluaciones de desempeño

Fase	Indicador	Objetivo del Indicador	Documentos y/o registros soporte
Fase 2. Diseño	Entrenamientos realizados en BMG (Número de entrenamientos realizados en BMG).	Verificar la elaboración de documentos metodológicos y de apoyo para el entrenamiento del personal en BMG. Verificar la aplicación de dichos documentos.	Evaluación del entrenamiento por parte de líder temático en el Documento Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar.



**METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA
“BALANCE DE MASA GLACIAR”**

Código: M-GCI-E-M029

Versión: 02

Fecha: 30/03/2022

Página: 96 de 106

	Programación trabajos de campo BMG. (Calendario de recolección de datos)	Verificar la planeación para la toma de datos en campo.	Cronograma de trabajos de campo.
	Planeación de la difusión -BMG (Programación de la difusión del BMG).	Verificar la planeación para la difusión de diferentes productos estadísticos a los usuarios y partes interesadas.	Calendario de difusión.
Fase 3. Construcción	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.
	Sistema DHIME - Módulo Glaciares.		Módulo DHIME - Glaciares en funcionamiento.
Fase 4. Recolección	Monitoreo glaciar en campo (No. Comisiones de campo ejecutadas/ No. comisiones de campo planeadas).	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.	Formatos de campo diligenciados. Cumplidos de comisión. Informe de comisión.
Fase 5. Procesamiento	Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® del BMG diligenciada post-campo.	Verificar el desarrollo de actividades que garanticen el adecuado procesamiento de los datos de entrada y su preparación para ser analizados.	Hoja calculo Excel BMG actualizada post-campo
Fase 6. Análisis	Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® del BMG diligenciada post-campo con análisis.	Verificar la coherencia y la consistencia de los resultados con el fin de asegurar su calidad y posibilitar el análisis.	Actualización post-campo y análisis de datos de hoja de cálculo de Microsoft Excel ® del BMG.
Fase 7. Difusión	Publicaciones anuales de BMG (No. de documentos publicados sobre BMG / documentos planeados para publicación sobre BMG) Solicitudes de la WGMS, atendidas. (No. Solicitudes de la WGMS atendidas / No. Solicitudes de la WGMS allegadas)	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.	Informes periódicos que incluyen el estado de los glaciares de estudio directo. Indicador ambiental Balance de Masa glaciar, publicado. Correos de solicitud WGMS y respuesta por parte del IDEAM

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 97 de 106

Fase Evaluación final	8. Ejecución física y presupuestal de la operación estadística (% de ejecución física y financiera).	Verificar el cumplimiento de objetivos de la operación estadística en términos de ejecución física y presupuestal.	Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística balance de masa glaciar, con seguimiento. Contratos y/o convenios suscritos y/o celebrados.
	Reunión anual de evaluación - Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. de Evaluación y seguimiento de la OE BMG.	Revisar y 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. Detectar fortalezas, debilidades y las oportunidades de mejora en las distintas fases del proceso estadístico para retroalimentar la operación estadística en sus iteraciones posteriores.	Acta de Reunión / Lista de asistencia.

8.2. Revisión al diseño

De acuerdo con el *Procedimiento Seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, se realiza una revisión anual en la cual se evalúan posibles cambios en el objeto de estudio, las necesidades de los usuarios, la normatividad, los métodos de producción estadística y la disponibilidad de datos 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 mínima del (la) Subdirector(a) de Ecosistemas e Información Ambiental, Coordinador(a) del Grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña y el líder temático (profesional especializado). 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.

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 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 98 de 106

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 dar 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- 2017/2020, 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.

Producto de las auditorías internas, se generan informes de auditoría y en respuesta a ello el respectivo plan de mejora, con el fin de subsanar los hallazgos identificados y 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 NTC PE 1000-2020)

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 acción anual (PAA) de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental.

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 y a partir de esto 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 de las acciones correctivas, corresponde 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 99 de 106

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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 100 de 106

DOCUMENTOS RELACIONADOS

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

DANE. *Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico (NTCPE 1000:2020)* Recuperado de <https://www.sen.gov.co/files/RegulacionEstadistica/NTC%20PE%201000-2020.pdf> [fecha de consulta: 31 de enero de 2022]

-----. *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 [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 [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 [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 [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 [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 101 de 106

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Ceballos, J., Ospina, J, y 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), disponible en: https://www.sen.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estad%C3%ADstico_v2.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].
- DANE, (2020 B). *GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN GENERAL DE LAS OPERACIONES ESTADÍSTICAS*, disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/lineamientos> [fecha de consulta: 8 de septiembre de 2020].
- DANE, (2020 C). *GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO METODOLÓGICO DE OPERACIONES ESTADÍSTICAS*, disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/lineamientos> [fecha de consulta: 8 de septiembre de 2020].
- Declercq, F. (1996): Interpolation methods for scattered sample data: accuracy, spatial patterns, processing time. *Cartography and Geographic Information Systems* Vol. 23, N° 3, pp. 128-144.
- Francou y Pouyaud (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
- 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:

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 102 de 106

- Heucke, Erich. (1999). A light portable steam-driven ice drill suitable for drilling holes in ice and firm. Geografiska Annaler. 81 A(4): 603-609
- 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 (2012). *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo*. IDEAM. Bogotá. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2012. Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 344p
- IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá D.C.
- IDEAM (2015 B) 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. (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>
- 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 – Ley de transparencia-trámites y servicios. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/tramites-servicios>
- IDEAM. (2020 E). Página web del IDEAM – Indicadores ambientales. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>
- IDEAM. (2020 F). Página web del IDEAM – Glaciares. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares>
- IDEAM y Universidad Nacional de Colombia (1997). Geosistemas de la Alta Montaña. IDEAM, Subdirección de Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 103 de 106

- 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, INVEMAR, IIAP e IAvH. (2017). Informe del Estado del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2016. Bogotá D.C.
- 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
- IDEAM, IAvH, INVEMAR, IIAP y SINCHI (2019). Informe del estado del ambiente y los recursos naturales renovables, 2017-2018. Bogotá: IDEAM, 276 pp.
- IDEAM, IAvH, Invemar, IIAP y Sinchi (2019). Informe del estado del ambiente y los recursos naturales renovables, 2017-2018. Bogotá: IDEAM, 276 pp. ISSN: 2346-1586
- 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.
- Kaser, G., Fountain, A., & Jansson, P. (2003). A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers. IHP-VI- Technical documents in hydrology.
- 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
- Marangunic, C. (2008). Manual de Glaciología. Volumen 2. Geoestudios LTDA, Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile. Santiago
- NSIDC-National Snow and Ice Data Center. 2020 'Cryosphere Glossary' Recuperado de: <https://nsidc.org/cryosphere/glossary/all>
- Ospina Botero, D. (2001). Introducción al muestreo. Universidad Nacional De Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas y Estadística. Unibiblos. Bogotá. 262pag
- 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
- Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, C., Muñoz, C., Vuille, M. (2016). Balance de masa glaciar. Ediciones CECs. Valdivia, Chile

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 104 de 106

- Schoolmeester, T., Johansen, K.S., Alfthan, B., Baker, E., Hespings, 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.
- Secretaría General de la Comunidad Andina de Naciones (2007). *¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina*. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Agencia Española de Cooperación Internacional. Lima, Perú.
- Toro Trujillo, A. M., Arteaga Ramírez, R., Vázquez Peña, M. A., & Ibáñez Castillo, L. A. (2015). Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(3), 577-588.
- Wagner, P. D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S., & Schneider, K. (2012). Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology*, 464, 388-400.
- WGMS 2013. Glacier Mass Balance Bulletin No. 12 (2010–2011). Zemp, M., Nussbaumer, S. U., Naegeli, K., Gärtner-Roer, I., Paul, F., Hoelzle, M., and Haeberli, W. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 106 pp., publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2013-11.
- WGMS 2015. Global Glacier Change Bulletin No. 1 (2012–2013). Zemp, M., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Hüsler, F., Machguth, H., Mölg, N., Paul, F., and Hoelzle, M. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 230 pp., publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2015-11.
- WGMS 2017. Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014–2015). Zemp, M., Nussbaumer, S. U., Gärtner-Roer, I., Huber, J., Machguth, H., Paul, F., and Hoelzle, M. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 244 pp., publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2017-10.
- WGMS 2020. Global Glacier Change Bulletin No. 3 (2016–2017). Zemp, M., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Bannwart, J., Rastner, P., Paul, F., and Hoelzle, M. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 274 pp., publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2019-12

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 105 de 106

RELACIÓN DE AUTORES Y VERSIÓN DE LA GUÍA

Relación de autores, versión y control de cambios de la guía metodológica de la operación estadística “Balance de Masa Glaciar”			
Fecha	Versión	Datos del autor o de quien ajustó la guía	Descripción de los ajustes
Junio 2021	1,0	<p>Jorge Luis Ceballos Liévano Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental jceballos@ideam.gov.co</p> <p>José Alejandro Ospina Niño Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental jaospina@ideam.gov.co</p> <p>Leslie Briyith Sacristán Vega Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental lsacristan@ideam.gov.co</p> <p>Cítese como: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Alta Montaña. (2021). Metodología de la operación estadística “Balance de Masa Glaciar” (Versión 1,0). 113 pág.</p>	Elaboración del documento metodológico
Marzo 2022	2,0	<p>Jorge Luis Ceballos Liévano Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental jceballos@ideam.gov.co</p> <p>José Alejandro Ospina Niño Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental jaospina@ideam.gov.co</p> <p>Leidy Marcela Cepeda Buitrago Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental lcepeda@ideam.gov.co</p> <p>Leslie Briyith Sacristán Vega Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental lsacristan@ideam.gov.co</p> <p>Cítese como:</p>	Actualización del documento metodológico

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-E-M029
		Versión: 02
		Fecha: 30/03/2022
		Página: 106 de 106

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Alta Montaña. (2022). Metodología de la operación estadística "Balance de Masa Glaciar" (Versión 2,0). 106 pág.	
--	--	--

<p><u>ELABORÓ:</u></p>  <p>Jose Alejandro Ospina Niño Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental</p>  <p>Leidy Marcela Cepeda Buitrago Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental</p>  <p>Leslie Briyith Sacristán Vega Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental</p>	<p><u>REVISÓ:</u></p>  <p>Jorge Luis Ceballos Liévano Profesional Especializado Subdirección de Ecosistemas e Información</p>	<p><u>APROBÓ:</u></p>  <p>Ana Celia Salinas Martín Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental</p>
---	---	---