

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 1 de 110



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

METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”

Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

Bogotá, junio de 2021

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 2 de 110

INTRODUCCIÓN

El Balance de Masa Glaciar es una estadística oficial única en todo el país y de importancia mundial, y 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 adscrita 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 conferirsele la dirección y coordinación de este (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 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 implementó 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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 3 de 110

más detallada y mediante técnicas cuantitativas las pérdidas o ganancias de masa glaciar de la criósfera¹ colombiana. 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 Balance de Masa Glaciar, 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 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.

En el cumplimiento de los requisitos de esta norma, los requisitos generales de la entidad 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 IDEAM.

FASE 1. DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE NECESIDADES

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

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

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> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 4 de 110

1.1. Identificar necesidades

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.

1.1.1 Necesidades externas

La Operación Estadística Balance de Masa Glaciar encuentra la principal razón de la necesidad para su desarrollo y viabilidad en el hecho que es de importancia mundial. La necesidad por el 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, 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 glaciar es mundial, es diferencial según la zona geográfica del planeta. Los glaciares tropicales andinos se consideran especialmente sensibles al actual cambio climático (Schoolmeester et al., 2018). Según el informe especial *El océano y la criósfera en un clima cambiante* del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, se prevé que las regiones donde predominan los glaciares más pequeños -por ejemplo, Europa central, el Cáucaso, Asia septentrional, Escandinavia, los Andes tropicales, México, África oriental e Indonesia- sufrirán la pérdida de más del 80 % de su masa de hielo actual en 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. Dos 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, que tienen como eje central la operación estadística Balance de Masa, el primero de estos glaciares ha sido incluido desde 2009 como un glaciar representativo con información detallada en los

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 5 de 110

boletines de cambio glaciar global de la 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/>). 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 de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar es anual e ininterrumpida y se identifica mediante una solicitud escrita vía correo electrónico denominado “*call for data*” que se especifica a continuación:

- “*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.



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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 6 de 110

Para el año 2020 los representantes de los países son:

- **Afganistán:** Abeer Ahmad Sajood. Earth Science Faculty University of Kabul Polytechnic University.
- **Alemania:** Christoph Mayer. Geodesy and Glaciology Bavarian Academy of Sciences.
- **Argentina/Antártida:** Pierre Pitte. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA).
- **Australia/Indonesia/Antártida:** Tas van Ommen. Australian Antarctic Division.
- **Austria:** Andrea Fischer. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung Österreichische Akademie der Wissenschaften.
- **Bolivia:** Alvaro Soruco. Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente – IGEMA.
- **Bután:** Phuntsho Tshering. Cryosphere Services Division National Center for Hydrology and Meteorology.
- **Canadá:** Laura Thomson. Department of Geography and Planning Queen’s University Mackintosh.
- **Chile/Antártida:** Marius Schaefer. Instituto de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- **China:** Li Zhongqin. Tianshan Glaciological Station Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute (CAREERI)
- **Colombia:** Jorge Luis Ceballos Lievano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Subdirección de Ecosistemas e Información Ambientales
- **Ecuador/Antártida:** Bolívar Ernesto Cáceres. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- **España/Antártida:** Guillermo Cobos. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Ingeniería del Terreno ETSICCP.
- **Estados Unidos:** Mauri Peltó. Nicols College.
- **Francia:** Delphine Six. Institut des Géosciences de l’Environnement (IGE).
- **Georgia:** Levan Tielidze. Institute of Geography Tbilisi State University.
- **Groenlandia:** Andreas Peter Ahlstrøm. Department of Marine Geology and Glaciology of The Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS).
- **Islandia:** Hrafnhildur Hannesdóttir. Icelandic Meteorological Office.
- **India:** Dwarika P. Dobhal. Centre for Glaciology Wadia Institute of Himalayan Geology.
- **Irán:** Neamat Karimi. Water Research Institute Ministry of Energy.
- **Italia:** Carlo Baroni. Università di Pisa Dipartimento di Scienze della Terra.
- **Japón:** Koji Fujita. Department of Hydrospheric-Atmospheric Science (DHAS).
- **Kazakstán:** Igor Severskiy. Institute of Geography of the Ministry-Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.
- **Kenia/Tanzania/Uganda:** Rainer Prinz. Institute of Atmospheric and Cryospheric Sciences University of Innsbruck.
- **Kirguizistán:** Ryskul Usabaliev. Central Asian Institute of Applied Geosciences.
- **México:** Hugo Delgado-Granados. Instituto de Geofísica Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- **Mongolia:** Otgonbayar Demberel. Institute of Earth Science and Technology Department of Geography Khovd University.
- **Nepal:** Sharad P. Joshi. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD).
- **Nueva Zelanda:** Brian Anderson. Antarctic Research Centre Victoria University of Wellington.
- **Noruega:** Hallgeir Elvehøy. Norwegian water resources and energy directorate (NVE). Jack Kohler. Norwegian Polar Institute (NPI).
- **Pakistán:** Ali Ghazanfar. Head Water Resources Section Global Change Impact Studies Center (GCISC).
- **Perú:** Luzmila Rosario Dávila. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- **Polonia:** Bogdan Gadek. University of Silesia Department of Geomorphology.
- **Reino Unido/Antártida:** James M. Lea. School of Environmental Sciences University of Liverpool.
- **Rusia:** Victor V. Popovnin. Moscow State University Geographical Faculty Leninskiye Gory.
- **Suecia:** Per Holmlund. Department of Physical Geography and Quaternary Geology University of Stockholm.
- **Suiza:** Matthias Huss. Department of Geosciences University of Fribourg.
- **Tayikistán:** Abdulkhamid Kayumov. State Scientific Institution, Center for Research of Glaciers of the Academy of Sciences.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”

Código: M-GCI-M029

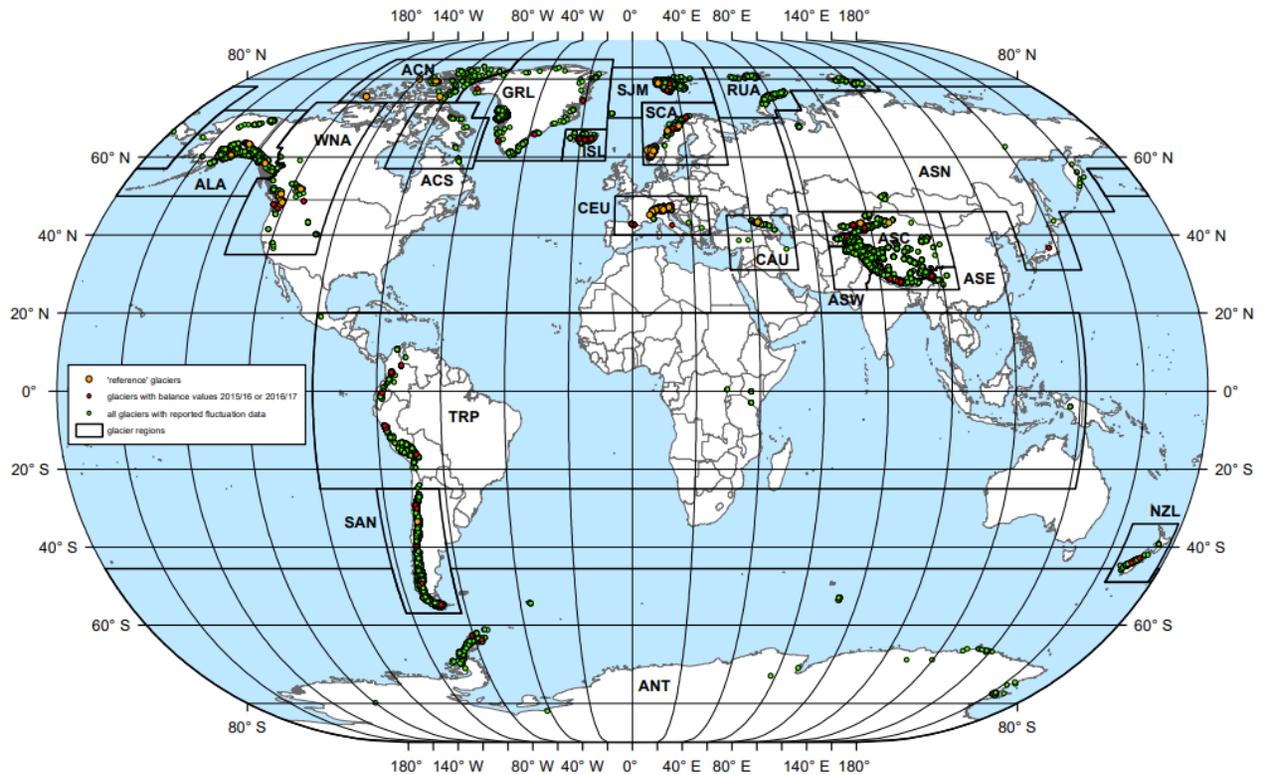
Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 7 de 110

- **Uzbekistán:** Andrey Yakovlev Uzbek. Scientific investigation and design survey institute (UzGIP).

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).



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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 8 de 110

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 disciplina en el monitoreo en Colombia, el segundo glaciar de estudio en terreno, sierra nevada El Cocuy, 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.

Boletín de balance de masa y boletines de cambio glaciar global con información detallada de Colombia.



Portadas de las publicaciones del WGMS

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 UNESCO² (PHI-LAC).

² 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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 9 de 110

En resumen, impulsada por el proceso estadístico, Colombia se ha posicionado en un nivel de reconocimiento internacional por su disciplinado seguimiento a sus pequeños pero importantes y sensibles glaciares; esto a partir del trabajo del IDEAM, que en menos de una década ha logrado importantes resultados que han sido periódicamente divulgados dentro y fuera del país. La Operación Estadística Balance de Masa Glaciar es de la mayor importancia y representatividad ambiental.

En lo relativo a otros usuarios externos de la operación estadística, la entidad productora ha establecido mecanismos e instrumentos de identificación y caracterización. Este reconocimiento y caracterización se realiza principalmente 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 los beneficios derivados de programas o estrategias cuya creación, adopción e implementación es potestativa de la entidad, como es el caso de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar, la cual está incluida dentro de los servicios (OPAS) publicados y listados en la sección "Ley de transparencia" del portal institucional (IDEAM, 2020 D).

Complementariamente a la información consolidada por el grupo de Atención al Ciudadano por el canal de PQRS, el IDEAM realiza una *caracterización de usuarios de información glaciológica*, por medio de la herramienta encuesta. Este documento, que 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 estadística a las que se dará respuesta teniendo en cuenta aspectos misionales de la entidad; la normatividad; los planes nacionales de desarrollo; las políticas, los requerimientos internacionales, el Plan Estadístico Nacional y el presupuesto en general. También funciona como un mecanismo de consulta desarrollado para evaluar el nivel de satisfacción de los usuarios externos.

Adicionalmente y desde el ámbito nacional, diferentes entidades han presentado necesidades de información glaciológica, directa o indirectamente dada la representatividad de los datos para la comprensión del medio ambiente y el cambio climático. Tal es el caso del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's), quienes a su vez también usan información registrada en el Estudio Nacional del Agua (ENA) y en el Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IEARNR).

Vale la pena destacar a la entidad de orden nacional Parques Nacionales Naturales de Colombia, encargada de la administración y manejo del Sistema de Parques Nacionales Naturales y la coordinación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, como otro usuario de información de glaciología; particularmente en los parques dentro de los cuales se están los glaciares estudiados.

1.1.2. 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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 10 de 110

estadística de la operación puede y ha sido usada en diferentes informes y comunicaciones eventuales de la entidad productora. A continuación, se reseñan los principales productos de otras dependencias dentro del IDEAM, que representan necesidades periódicas internas de la información estadística.

- *Estudio Nacional del Agua*

Los Estudios Nacionales del Agua (ENA) son documentos misionales del IDEAM, que de manera periódica dan cuenta del estado y dinámica del agua y los recursos hídricos en Colombia, uno de los cuales es el estado de los glaciares del país (IDEAM, 2015). El ENA contribuye aportando y actualizando información y conocimiento sobre la oferta, la demanda, la calidad, el riesgo, las respuestas hidrológicas a la variabilidad climática, las aguas subterráneas y la huella hídrica en Colombia (IDEAM, 2019). En esta publicación, con una periodicidad de cuatro años, se integra la información de 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 bienalmente y coordinado por el IDEAM, incluye información oficial y un análisis en temas ambientales como aire, ecosistemas, cambio climático, biodiversidad, residuos, meteorología y agua de todo el país. Este documento pone a disposición de la comunidad en general, la información generada por los Institutos de Investigación adscritos y vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en relación con el estado, el comportamiento, la calidad y la cantidad de los recursos naturales renovables del país; en los que se incluye información de los glaciares colombianos y su proceso de derretimiento, como parte integral del capítulo de evidencias y casos territoriales de un clima cambiante (IDEAM, 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 CANCELLERÍA, 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 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).

Adicionalmente, y desde el ámbito nacional, diferentes entidades presentan necesidades de información glaciológica, como es el caso del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), las Corporaciones Autónomas Regionales

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 11 de 110

(CAR's), quienes a su vez usan información registrada en el Estudio Nacional del Agua (ENA) y en el Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables.

Parques Nacionales Naturales de Colombia, entidad del orden nacional, encargada de la administración y manejo del Sistema de Parques Nacionales Naturales y la coordinación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, es otro usuario de información de glaciología, especialmente los parques dentro de los cuales se encuentran los glaciares estudiados a quienes se envía periódicamente datos intra-anales del balance de masa.

En suma, el IDEAM cuenta con una estrategia de revisión de las necesidades en aras de asegurar que la entidad genera la información estadística requerida; así como para hacer seguimiento en el tiempo y detectar cambios o nuevas necesidades a atender, fundamentalmente en forma de solicitudes de la información de usuarios internos y externos. Para fortalecer el tema de seguimiento y caracterización de usuarios, a partir del año 2021 y como una **acción de mejora**, se realiza la *Encuesta de caracterización de usuarios de información glaciológica* para las necesidades de información internas.

En términos de identificación de necesidades, también se cuenta con el *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. Dicho documento se alimenta a partir de 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; y a través de instrumentos como requerimientos electrónicos, directorios y PQRSD.

Concluyentemente, el IDEAM realiza una completa 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.

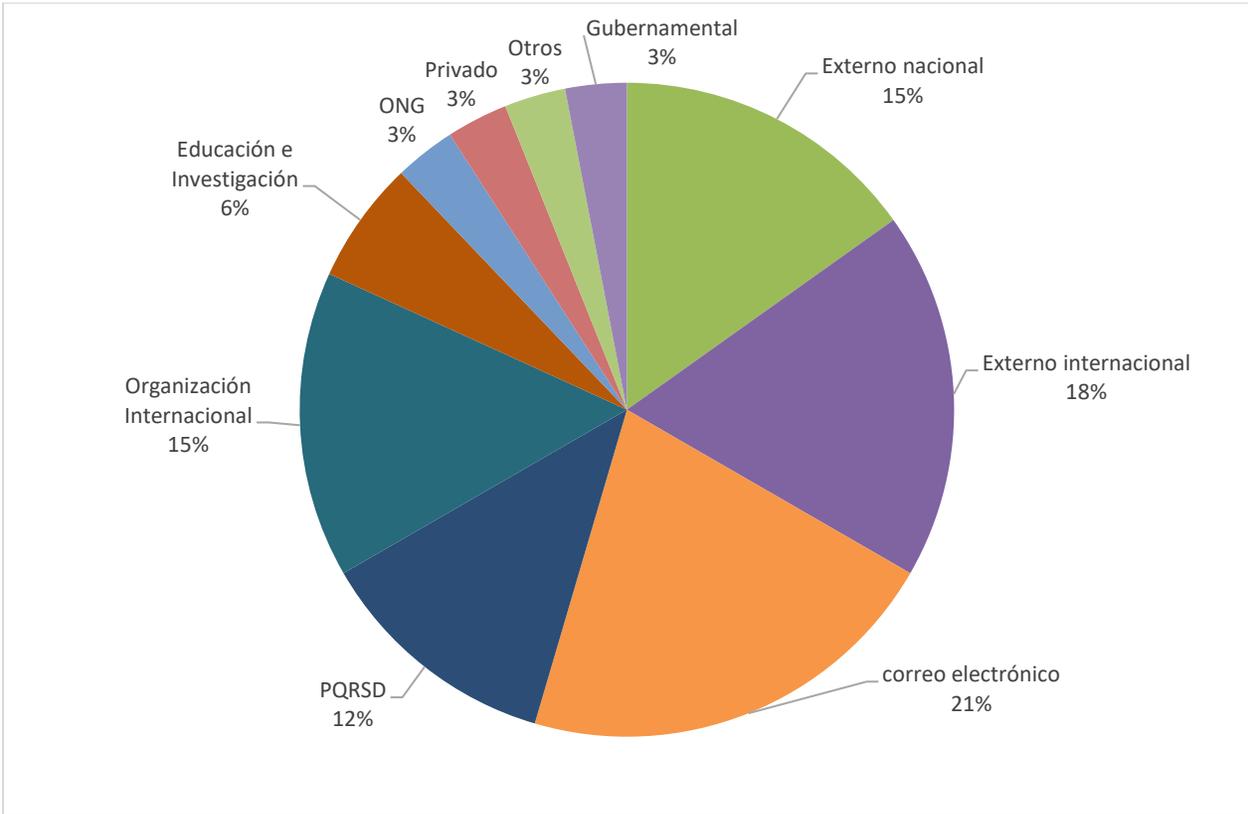
1.2 Consulta y confirmación de necesidades

El IDEAM, complementario al proceso de identificación de las necesidades, confirma las mismas teniendo en cuenta la importancia para el país y el fenómeno de estudio. La operación estadística Balance de Masa Glaciar se caracteriza porque varios de los principales usuarios de la información del proceso estadístico son organismos e institutos internacionales o investigadores de reconocido bagaje internacional. Por tal razón, es del mayor interés del Instituto que la operación sea permanentemente actualizada y con plena viabilidad y comparabilidad mundial. En tal sentido, eventualmente se llevan a cabo reuniones internas con expertos en la temática, se retroalimentan opiniones de expertos internacionales y se canalizan mediante mensajes consignados a través de la *Encuesta de caracterización de usuarios de información glaciológica*. De esta manera se establece, implementa, mantiene y actualiza una comunicación con las partes interesadas en la información estadística, mediante el registro no solamente de las solicitudes, sino de las necesidades confirmadas y satisfechas. El análisis de la información diligenciada en dicha

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 12 de 110

encuesta, realizado mediante informes periódicos, permite construir un marco de priorización de las variables requeridas por los usuarios y confirmar las necesidades de información para su inclusión en el plan general.

Con la información identificada a través de estas herramientas se realiza la caracterización de las solicitudes y usuarios de información con el fin de confirmar dichas necesidades. A continuación, el análisis histórico de solicitudes y usuarios de la operación:



Caracterización por tipo de necesidad satisfecha desde 2014 - 2019.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

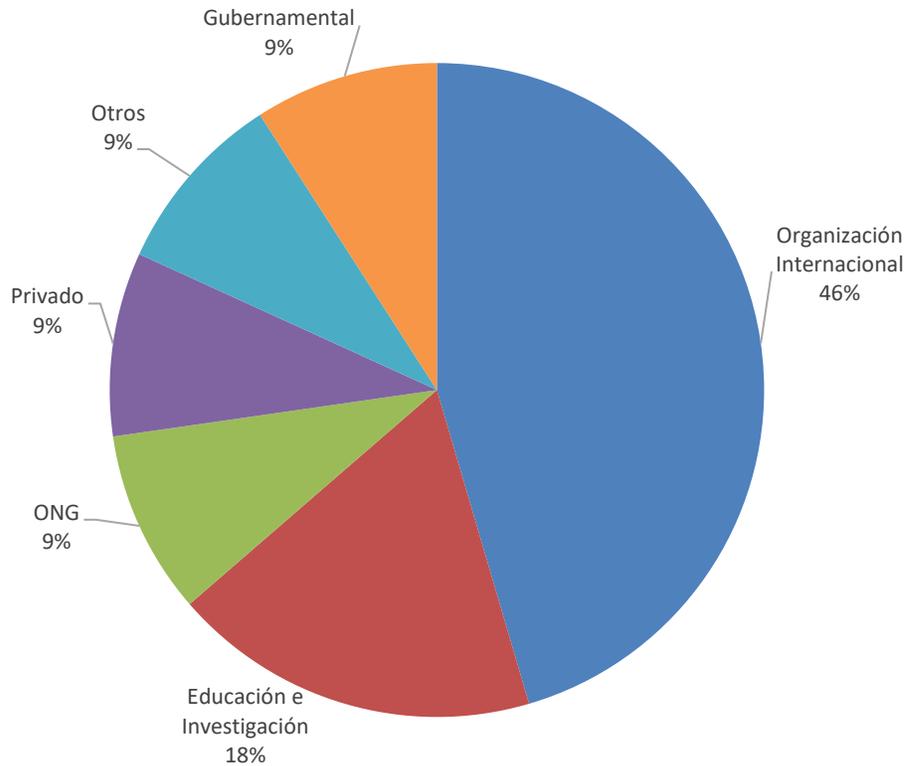
METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"

Código: M-GCI-M029

Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 13 de 110



Caracterización por sector de los usuarios que solicitaron información relacionada con Balance de Masa desde 2014 - 2019.

1.3 Definición de objetivos

La definición de objetivos se establece en este documento (*Metodología de la operación estadística Balance de Masa Glaciar*), 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 con el resto de los elementos de la operación en su conjunto.

Objetivo General

Generar estadísticas de la dinámica glaciar en Colombia, mediante el cálculo de balance de masa glaciológico por el método directo para el Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y la Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco), que permita identificar el estado del glaciar conociendo sus pérdidas y ganancias de masa durante un periodo establecido.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 14 de 110

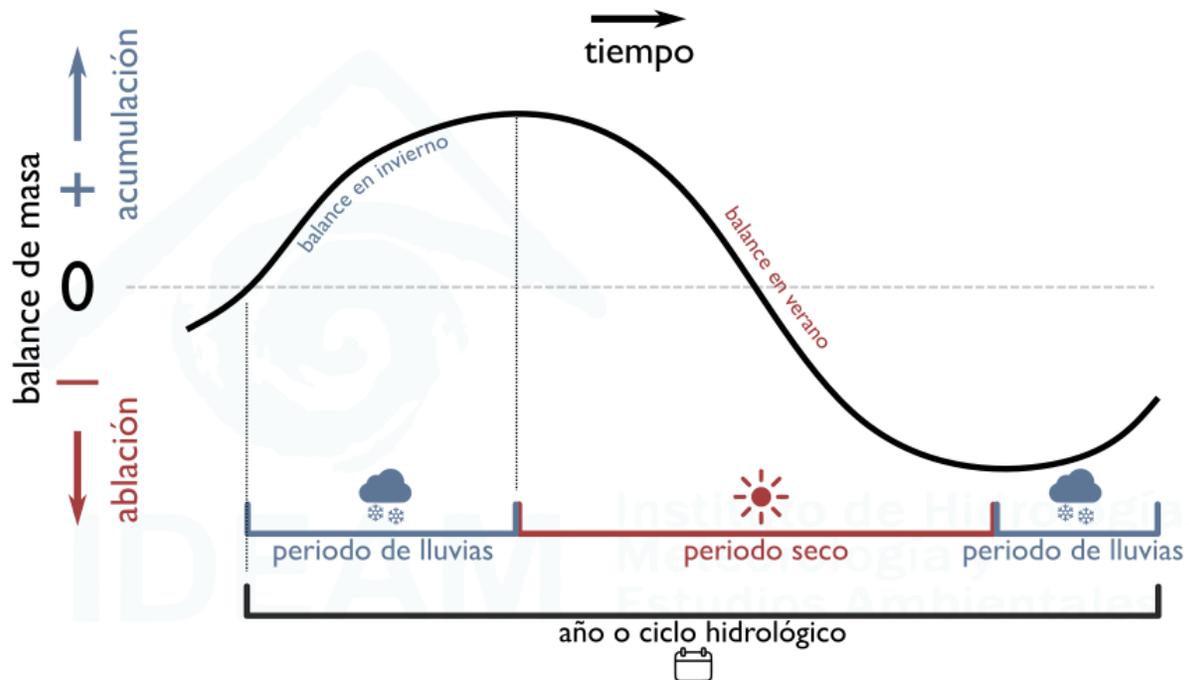
Objetivos específicos

- Obtener información intra-anual del comportamiento de los glaciares representativos.
- Determinar los lineamientos de la recolección de datos glaciológicos en el país.
- Generar información de alta calidad e importancia global.
- Calcular el indicador ambiental Balance de masa glaciológico.
- Poner a disposición del público en general la información glaciológica producida.

1.4 Identificación de conceptos

En este punto, con la mira en asegurar la coherencia, comparabilidad y 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: la generación de información sobre la dinámica glaciar en Colombia mediante el cálculo de balance de masa glaciológico, específicamente por un corpus teórico y consecuente método denominado método directo o glaciológico; realizado para los sitios piloto escogidos por el IDEAM y que permita determinar el estado de una masa glaciar, conociendo sus pérdidas o ganancias de masa durante un periodo establecido.

El balance de masa consiste en un cálculo periódico y cuantitativo de las pérdidas y ganancias de masa (hielo y nieve), derivado del monitoreo mensual y bimestral en campo que desarrolla el IDEAM en el sector Conejeras (Volcán Nevado Santa Isabel) y en el sector Ritacuba Blanco (Sierra Nevada El Cocuy o Güicán) respectivamente. 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 desprecia las pérdidas por evaporación y sublimación debido a su insignificante contribución en el balance y su difícil medición.



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 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.

Técnicamente la operación estadística corresponde al resultado de la suma algebraica de valores numéricos de la acumulación y la ablación. Permite determinar la variación de volumen del glaciar, el desplazamiento del hielo y las cantidades de nieve precipitada (Francou y Pouyaud, 2004). Adicionalmente, 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 esta variable.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”

Código: M-GCI-M029

Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 16 de 110



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

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.

Conceptos principales:

- **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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 17 de 110

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).
- **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).

Variables principales:

- **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).
- **BALANCE DE MASA ESPECÍFICO:** balance de masa para un punto cualquiera del glaciar, por ejemplo, una baliza o un pozo o calicata (Cogley et.al., 2011).

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 18 de 110

- **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).
- **ESPESOR 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).
- **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 Pouyaud, 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.
- **SUPERFICIE O 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).

Estos conceptos y variables constituyen un glosario de términos glaciológicos aplicado al proceso estadístico del balance de masa glaciar. La identificación de estos conceptos constituye una salida fundamental de marco de referencia para el plan general de la operación y será posteriormente profundizada en la fase de diseño temático del proceso. 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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 19 de 110

1.5 Comprobación de la disponibilidad de datos

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.

En primera medida y como aspecto central; 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, el trabajo realizado por el ideam es heredero de una importante historia nacional de captura de datos de los glaciares del país.

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 anteriormente. 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. En este mismo año se instaló la primera estación climatológica sobre el glaciar mencionado.

En 1989, se realizó la instalación de una segunda estación sobre una morrena a 4500 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 actualmente 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 operación estadística Balance de Masa Glaciar tiene varias características que permiten concluir que:

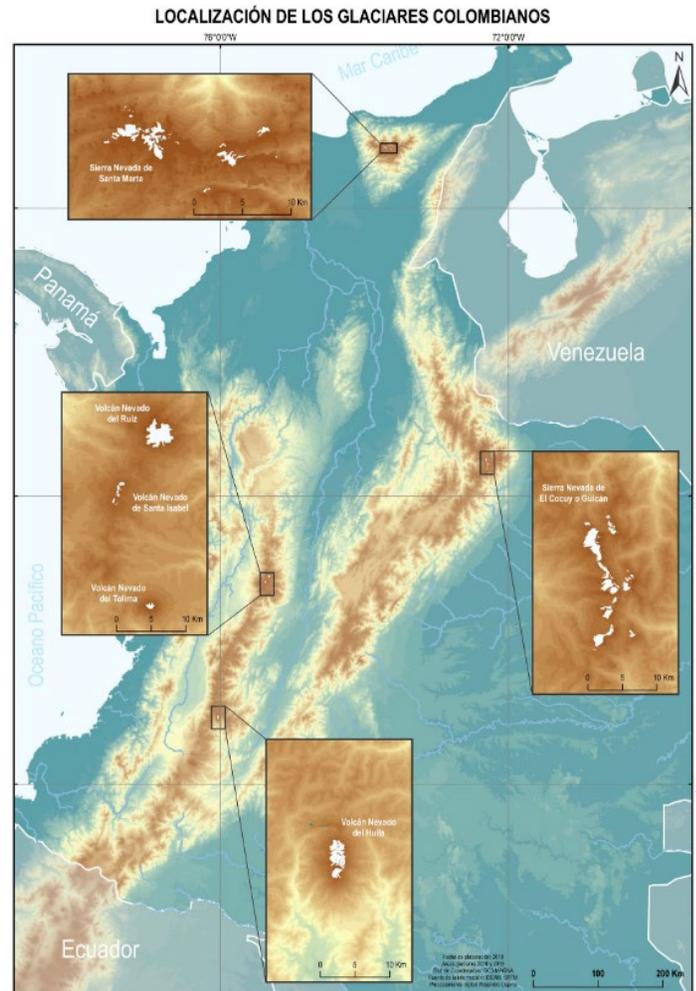
 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 20 de 110

- a) Reconociendo la inexistencia actual de datos oficiales de otras fuentes en el país, el IDEAM está comprometido con la calidad de la producción del registro al ser la única fuente oficial de datos.
- b) Es el único registro existente en el país que puede dar respuesta a solicitudes de información provenientes de compromisos internacionales de este tipo. 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) La operación estadística ha permitido la construcción de un indicador, que hace parte de la batería 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, 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).

1.6 Exploración de la metodología estadística

Posterior a la información recabada anteriormente, se identifican los aspectos metodológicos empleados necesarios para desarrollar la operación estadística, tanto los elementos básicos para el diseño estadístico como el marco estadístico de la operación. Los actuales seis glaciares o nevados del territorio colombiano desde el punto de vista teórico, pueden ser objeto de la operación estadística. En este sentido y teniendo en cuenta tanto la experiencia científica de 15 años del IDEAM en el tema de monitoreo glaciar, los criterios usados en glaciología para seleccionar las áreas de estudio son: representatividad, forma de la cuenca glaciar, morfología, acceso y seguridad para los investigadores.

Es necesario hacer una selección de la muestra según juicios de valor, pero basados en criterios técnicos y experticia. Por ende, no es una selección de muestra aleatoria debido a que cada glaciar o nevado colombiano tiene una dinámica particular, esto a pesar que la generalidad de los glaciares en Colombia es la tendencia al derretimiento por el actual cambio climático global. Estas particularidades se refieren a aspectos locales como topografía (pendiente del terreno), exposición a la radiación solar, altitud, precipitación, tamaño, acceso y actividad volcánica, y aspectos regionales como clima, localización dentro del territorio (cordillera, latitud y región natural) y acceso (distancia desde Bogotá). Adicionalmente, hay circunstancias sociales y político-administrativas como: decisiones autónomas de pobladores de no intervención territorial (caso Resguardos Indígenas) u orden público.



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

En Colombia actualmente existen seis masas glaciares clasificadas como ecuatoriales por su posición latitudinal, con coordenadas geográficas en su punto central y altitud máxima así:

- ✓ Sierra nevada El Cocuy o Güicán (6° 30'N; 72° 15'W; 5380m.).
- ✓ Sierra nevada de Santa Marta (10° 50'N; 73° 41'W; 5775m.).
- ✓ Volcán nevado del Ruiz (4° 53'N; 75° 19'W; 5330m.).
- ✓ Volcán nevado Santa Isabel (4° 48'N; 75° 22'W; 4968m.).
- ✓ Volcán nevado del Tolima (4° 39'N; 75° 19'W; 5280m.).
- ✓ Volcán nevado del Huila (2° 55'N; 76° 01'W; 5364m.).

La posición geográfica de los glaciares colombianos, aproximadamente entre los 3° y 11° de latitud norte, los clasifica como glaciares ecuatoriales; lo que implica una alta sensibilidad al desplazamiento intraanual de la Zona de

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 22 de 110

Confluencia Intertropical y a fenómenos extremos de variabilidad climática interanuales como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Su ubicación ecuatorial implica igualmente que el seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia se debe abordar de acuerdo a la especificidad de cada glaciar, con base en su dinámica propia, las condiciones atmosféricas locales u otros factores que reflejan la necesidad o prioridad por parte del Instituto para ejecutar dicho proceso. Los nevados colombianos son particularmente sensibles a las condiciones climáticas actuales, pero a pesar de que existe una condición global de cambio climático, hay circunstancias locales que acentúan o menguan la reducción.

El área glaciar total para Colombia en 2019 fue de 36.1 km². En el transcurso de los últimos 30 años, se extinguieron en Colombia 47,1 km² de masa glaciar (que representan el 56% de los 87 Km² estimados para la década de 1980) y en lo que va corrido de la última década, el área glaciar colombiana se ha reducido un 22% (10,6 Km²). Para el año 2017, las masas glaciares cubrían un área total aproximada de 37 Km². La causa principal se atribuye al desequilibrio con las actuales condiciones climáticas del planeta; no obstante, como ya se ha dicho, cada glaciar colombiano tiene una dinámica y evolución propia que responde a las condiciones atmosféricas de escala global, regional y local, además de sus características topográficas, geológicas y geomorfológicas (Ceballos, Ospina & Rojas, 2020).

La selección de la muestra se hace teniendo en cuenta lo arriba descrito, teniendo en cuenta que el fenómeno no puede ser medido en todos los puntos del espacio en intervalos de tiempo de forma altamente regular. Con base en lo anterior, se expone que debido a diferentes condicionantes entre ellos: dinámica, acceso, seguridad y recursos financieros, entre otros, se perfilan los glaciares **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)**, como individuos que logran expresar de forma general la dinámica glaciar en Colombia, pero teniendo presente la particularidad de cada uno de ellos.

Ambos sitios de estudio permiten abarcar el criterio del tamaño del sitio de estudio, ya que tanto un glaciar pequeño como el glaciar en el sector Conejeras es más vulnerable, en extinción y responde rápidamente a los pequeños cambios atmosféricos, así como un glaciar más grande como la Sierra Nevada El Cocuy el sector Ritacuba Blanco, permite realizar un estudio más extenso a lo largo del tiempo. Es importante recalcar que, estadísticamente, es viable incluir más glaciares o cambiar las unidades de observación en el proceso estadístico y el marco muestral es susceptible de actualizaciones o novedades en el transcurso del tiempo, teniendo en cuenta estos mismos criterios.

Para su aplicación, la metodología explorada requiere de la visita periódica a los glaciares, pues la implementación y mantenimiento de la red de instrumentos de medición, así como la recolección de los datos dependen de ello. En cuanto a la periodicidad definida por la exploración metodológica aquí reseñada, se prevé visitas de campo mensuales para el volcán nevado Santa Isabel y bimestrales para la sierra nevada El Cocuy o Güicán. 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). Así mismo, la diferenciación entre las mediciones mensuales o bimestrales, responde básicamente a características propias de cada glaciar objeto de estudio en lo relativo a la altitud y el tamaño. Por un lado, el volcán nevado Santa Isabel (altitud máxima 4968 m. aprox.) es el de menor altitud y el más pequeño de los glaciares colombianos; esta condición hace que sea muy dinámico y tenga una variabilidad muy alta entre meses. Por otro lado, la sierra nevada El Cocuy o Güicán (altitud máxima 5330 m. aprox.) es el complejo glaciar más grande del país, lo cual lo hace relativamente más estable.

En un segundo momento, hace parte de la exploración de la metodología estadística el establecimiento del método y las técnicas para la recolección de datos. Tal como se ha dicho en la identificación de conceptos, la operación responde

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 23 de 110

a la aplicación del método glaciológico y las correspondientes técnicas de recopilación de los datos, todo lo cual surge de la identificación y aplicación de conceptos estandarizados de referencia internacional y la metodología de *balance de masa glaciar*, utilizados por el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS) a escala mundial. En Latinoamérica son especialmente importantes los aportes científicos de los glaciólogos francés Bernard Francou y austriaco Georg Kaser, quienes con sus trabajos en diferentes países de los Andes centrales constituyen un hito en los aportes de la glaciología mundial y latinoamericana en el tema, lo cual ha permitido homologar las metodologías en la región³.

Además de este método, existen otros para estimar el balance volumétrico de masa como los métodos topográfico/geodésico o de restitución aerofotogramétrica o método indirecto por balance hidrológico⁴. No obstante, el método glaciológico, también conocido como directo, es el más común en todo el mundo para medir el cambio de masa de un glaciar (Francou y Pouyaud, 2004). Además, se considera el método más preciso hasta la fecha y proporciona la información más detallada sobre la variación espacial de las magnitudes del balance de masa (Kaser et.al., 2003). Complementariamente, puede lograr la mayor precisión, pero se basa en mediciones de campo repetidas, que deben llevarse a cabo en condiciones a veces bastante desafiantes, por lo que implica una tasa de adquisición de datos lenta y gastos que pueden ser elevados en cuanto a logística y mano de obra (Kaser et.al., 2003). Concluyentemente, el único método para el monitoreo detallado y a largo plazo del balance de masa es el método glaciológico directo; no sin dejar claro que las series de datos climatológicos e hidrológicos representan un complemento para realizar un análisis más detallado y una mejor interpretación de los datos (Kaser et.al., 2003).

La medición directa, es decir, sobre la superficie del glaciar, se lleva a cabo a partir de la instalación de una red de balizas o estacas (*balises* o *stakes* en francés e inglés respectivamente) en una parte del glaciar y atendiendo a un criterio de distribución espacial lo más uniformemente posible. No obstante, debido a condiciones fácticas de la naturaleza de los glaciares como su topografía o dinamismo, es imposible establecer una red perfectamente equidistante desde el punto de vista cartesiano. Generalmente dichas estacas se utilizan para medir la ablación glaciar; pero en la zona alta de un glaciar, donde en condiciones normales la acumulación supera la ablación, se excavan pozos (*puits* o *pits* en francés e inglés respectivamente) donde se mide directamente la cantidad de nieve o de hielo acumulada(o) entre el inicio y el fin del año hidrológico (Francou y Pouyaud, 2004).

En términos generales, el procesamiento de datos por este método se lleva a cabo a través de tres etapas. La primera es una división del glaciar de estudio en porciones denominadas rangos o franjas altitudinales relativamente paralelas

³ Para mayor alcance ver fundamentalmente el *manual para monitorear el balance de masa en glaciares de montaña* de Georg Kaser, Andrew Fountain y Peter Jansson (Kaser et.al., 2003) y los *métodos de observación de glaciares en los Andes Tropicales: mediciones de terreno y procesamiento de datos* de Bernard Francou y Bernard Pouyaud (Francou y Pouyaud, 2004).

⁴ Acorde con Kaser (et.al., 2003) el método topográfico/geodésico tiene varias limitaciones. Este debe aplicarse sobre toda la superficie del glaciar, lo cual puede resultar complicado. Además, el levantamiento de la superficie requiere que todas las partes del glaciar estén cubiertas, incluidas las regiones muy empinadas y con grietas. En cuanto a las imágenes remotas, normalmente tienen problemas en la zona de acumulación donde una definición de superficie insuficiente puede conducir a errores significativos en la estimación de la elevación de la superficie. Sumado a esto, la densidad de la neviza y del cuerpo de hielo debe ser muy parecida; por lo cual los cambios importantes en las áreas de acumulación son difíciles de determinar con precisión. Finalmente, este método no arroja valores puntuales de balance de masa, como su variación con la elevación (Kaser et.al., 2003). El método por restitución aerofotogramétrica se ve limitado en los Andes centrales por la calidad de las fotografías aéreas como la resolución espacial (Francou y Pouyaud, 2004) y el método indirecto hidrológico implica mediciones comparadas, a escala anual, entre la cantidad de hielo acumulado por las precipitaciones sólidas medidas/estimadas y la ablación medida/estimada por evaporación y sublimación (Francou y Pouyaud, 2004), lo cual hace que sea mucho más apto para un régimen climático de otra latitud.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 24 de 110

que fluctúan generalmente entre 50 y 100 metros de diferencia altitudinal. En la segunda etapa cada rango de estos es afectado por el valor medido con la baliza (o del pozo) localizada en el rango en cuestión. Finalmente, se pondera y calcula el balance total para el glaciar. El proceso matemático para hacer este cálculo se ahonda en el subproceso del diseño temático.

1.7 Plan General

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.

FASE 2. DISEÑO

En esta fase de la operación estadística se llevan a cabo los diseños de los métodos, técnicas, procedimientos y estrategias que se aplicarán para reunir, procesar los datos y analizar e interpretar los resultados (DANE, 2020 C). Esta fase describe la estructuración de la operación y en ella se construyen los documentos metodológicos que, teniendo en cuenta los referentes internacionales, son la base del diseño propio del proceso estadístico del balance de masa glaciar. Es fundamental ya que en este punto se definen todas las fases y procesos que se ejecutan posteriormente.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 25 de 110

2.1 Diseño temático

El primer paso en aras de diseñar la operación estadística es comprobar que la concordancia entre las necesidades de información recibidas y analizadas en la Fase 1, respecto a los objetivos que se plantearon en ella. Las estadísticas de balance de masa glaciar son una demanda tanto internacional como nacional (interna y externa), e igualmente responden a diferentes sectores de la sociedad, desde entes gubernamentales, organizaciones internacionales, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas e investigativas. Esto se encuentra en sincronía con el objetivo de la operación que es generar información que permita establecer el comportamiento de las masas de hielo del país. El alcance de esta operación es generar información sobre la dinámica glaciar en Colombia mediante el cálculo de balance de masa glaciológico. El tema principal al que pertenece el estudio de los glaciares, dentro del IDEAM, es el grupo de operaciones de ‘calidad y condiciones ambientales’. Ahora bien, para sustentarlo, es necesario desarrollar primeramente el marco de referencia, así como los fundamentos teóricos, conceptuales y referentes internacionales del estudio de la criosfera terrestre, con énfasis en los glaciares.

2.1.1 Necesidades de información

El análisis de necesidades de información está descrito en la Fase 1, Detección y Análisis de Necesidades.

2.1.2 Formulación de objetivos

Se encuentran formulados en el ítem 1.4 de este documento

2.1.3 Alcance

El alcance de la operación se confirma como la generación de información sobre la dinámica glaciar en Colombia mediante el cálculo de balance de masa glaciológico, específicamente por un corpus teórico y consecuente método denominado “método directo o glaciológico”, desarrollado en el Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y la Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco), que permita identificar el estado del glaciar conociendo sus pérdidas y ganancias de masa durante un periodo establecido. 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 dos glaciares antes mencionados.

2.1.4. Marco de referencia

Marco teórico, conceptual y referentes internacionales

- **Glaciares**

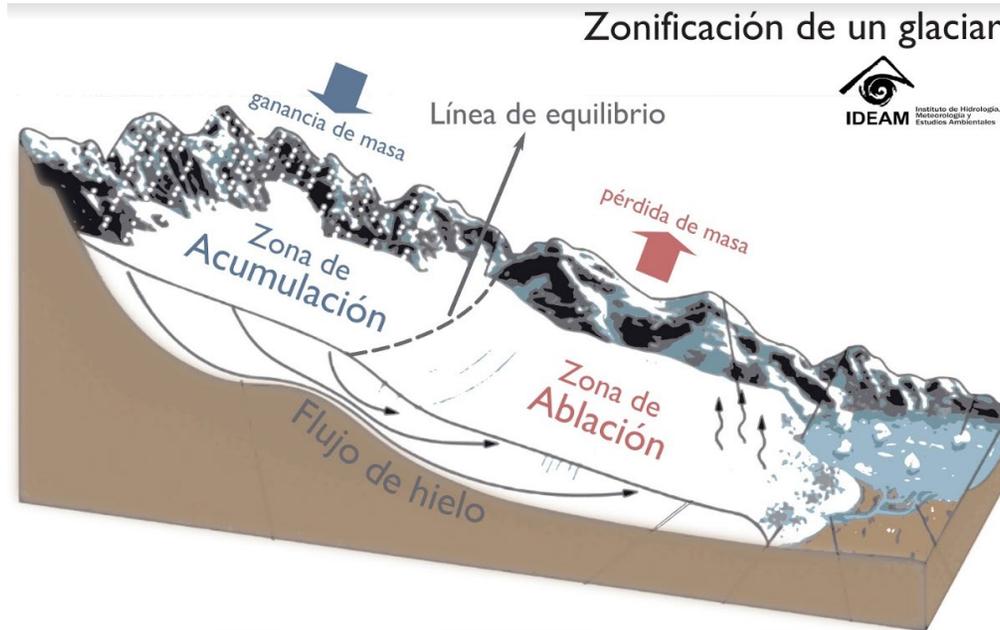
Desde los inicios de su trasegar por el planeta, el ser humano ha estado acompañado por el hielo. En el inconsciente colectivo de generaciones enteras han quedado fijos paisajes montañosos, coronados por cuerpos blancos o por delgadas líneas de nieve que marcan los surcos de los relieves más altos (IDEAM, 2012). 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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 26 de 110

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 y 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 temperados ya que la mayor parte de su masa tiene la temperatura del punto de fusión. La condición “temperada” 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).

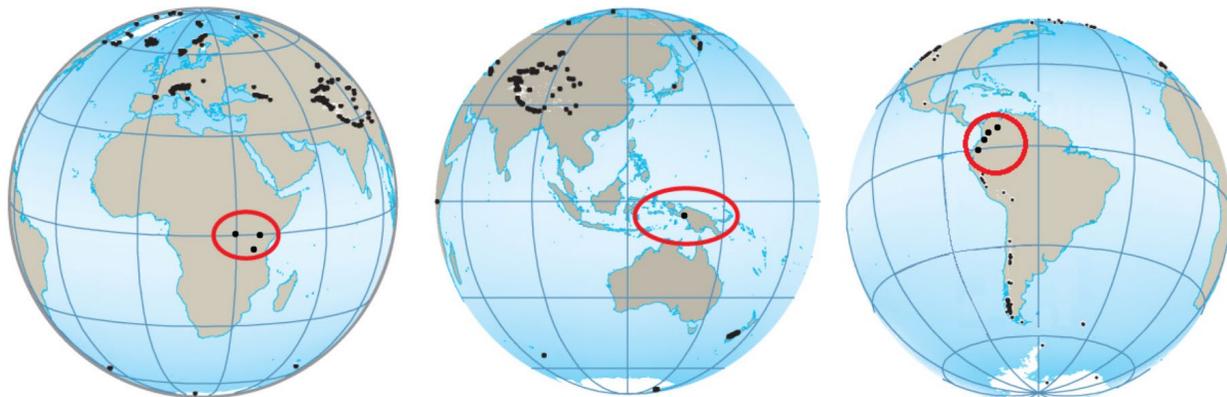


Esquema de la zonificación o partes de un glaciar. Elaboración propia. IDEAM, 2020.

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.

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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 28 de 110



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).

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 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.

- **Balance de masa glaciar**

Previamente se ha mencionado que el balance de masa consiste en un cálculo periódico y cuantitativo de las pérdidas y ganancias de masa (hielo y nieve), derivado del monitoreo mensual y bimestral en campo que desarrolla el 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-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 29 de 110

en dos sitios de estudio. En aras de dar mayor alcance al diseño temático, el balance de masa 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, el balance de masa representa un equivalente en agua líquida de la masa en hielo que un glaciar pierde o gana en un tiempo determinado.

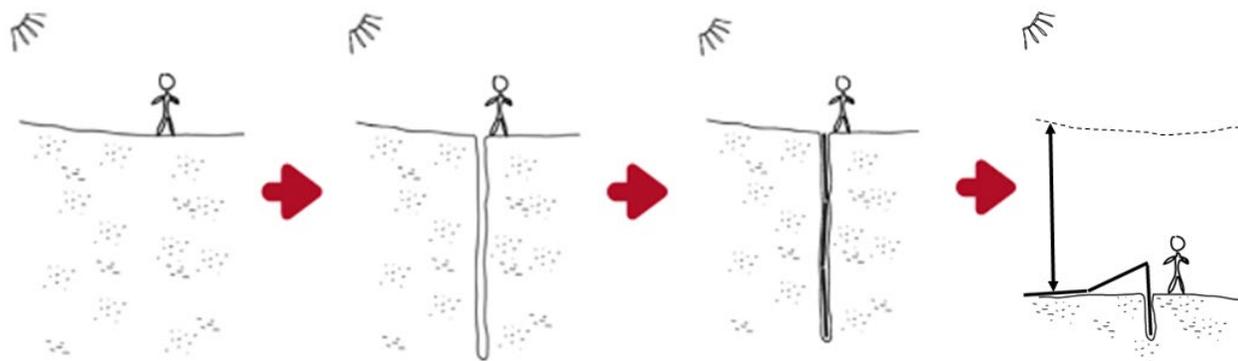
En resumen, los conceptos y variables de la operación estadística son una adopción y aplicación de directrices y experiencias internacionales existentes sobre el objeto (los glaciares) y método (balance de masa) de estudio. En aras de ello, se toman conceptos estandarizados de referencia internacional 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).

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 (I) 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 30 de 110

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.



Secuencia de ablación glaciar y su medida mediante baliza o estaca en la superficie glaciar

- **Método directo (in situ)**

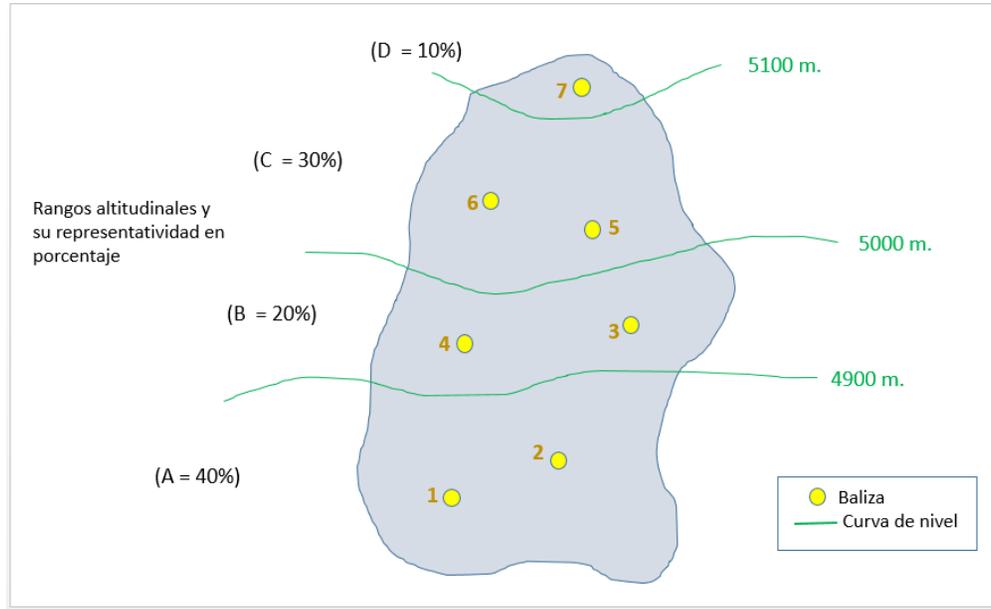
El método usado para obtener el dato de balance de masa para un glaciar de estudio y durante un periodo determinado es el método glaciológico de forma directa o in-situ. A grandes rasgos, el método denominado directo o glaciológico, consiste en mediciones que se realizan directamente en terreno y se 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 de la superficie glaciar. A continuación, se detalla el mismo, así como sus implicaciones en la teoría y la práctica.

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).



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

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 Pouyaud, 2004). Esta división se hace en oficina con base en el levantamiento topográfico que se explica más adelante.



Ejemplo de rangos altitudinales determinados a partir del levantamiento topográfico.

El cálculo algebraico: 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 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 db/dt , por lo cual la ecuación básica teniendo en cuenta esta cualidad es:

$$db/dt = \rho dh/dt$$

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:

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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 33 de 110

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 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:

$$B_n = (1/S) [\sum (b_1S_1 + b_2S_2 + \dots + b_jS_j)]$$

donde S corresponde a la superficie total del glaciar estudiado; b_1, b_2, b_j al balance ponderado por área S_j 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):

$$B_n = \sum B_i (s_i / S)$$

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

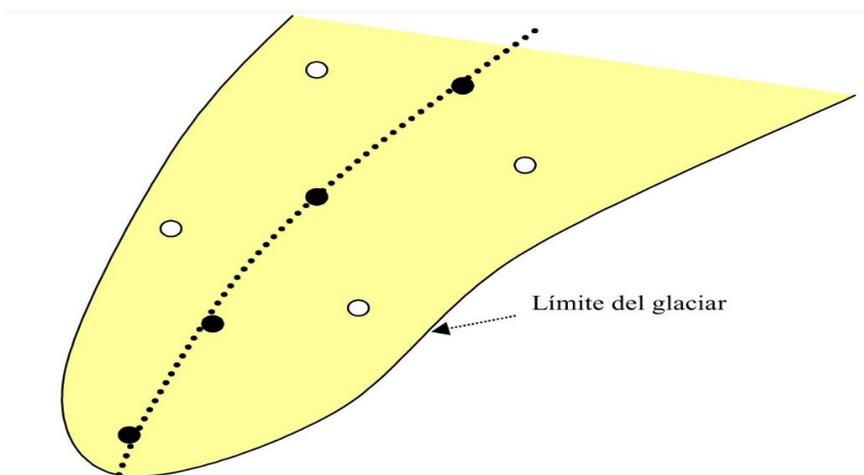
	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 34 de 110

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).

La red de balizas

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.



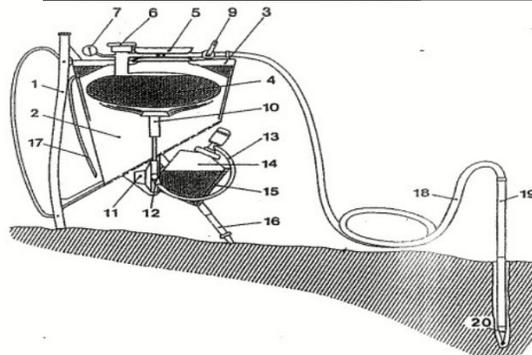
 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 35 de 110

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).



Una baliza de ablación glaciar y su medición de la emergencia

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 |

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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 37 de 110

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 nos 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.



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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 38 de 110

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 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*.



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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 39 de 110

- 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*.

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 *Formato para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

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

Código: M-GCI-M029

Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 40 de 110

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

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

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

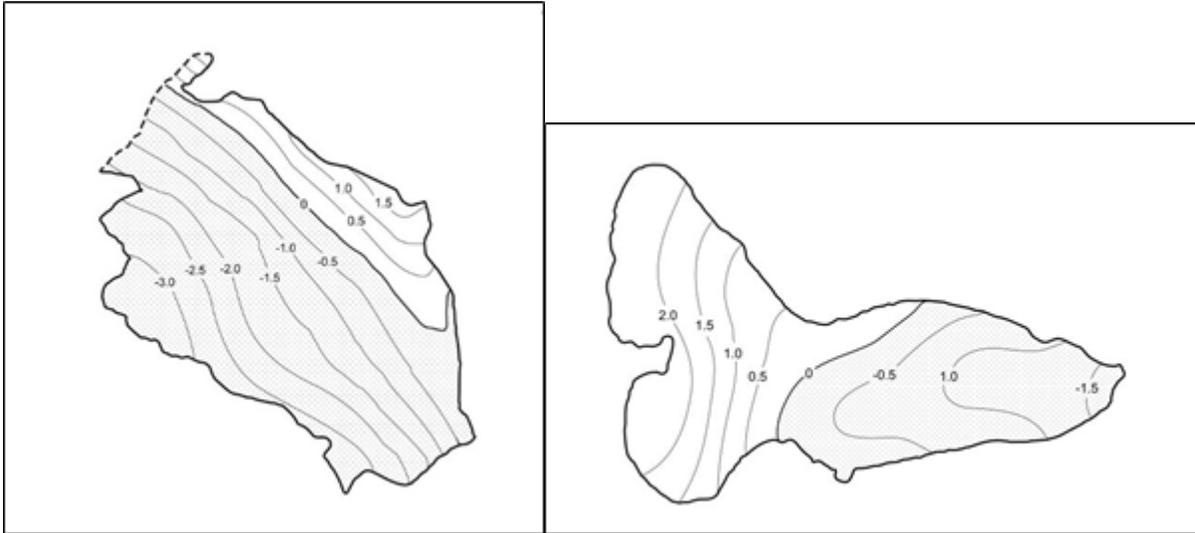


Medidas de emergencia sobre balizas de ablación. IDEAM, 2020.

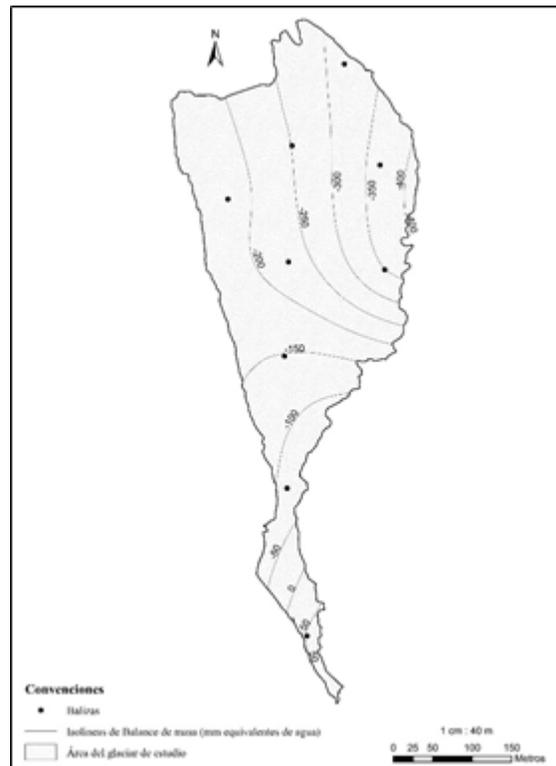


Toma de medidas sobre pozos de acumulación. IDEAM, 2020.

Complementariamente, se diseñan y producen productos geospaciales 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 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*.



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



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

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 43 de 110

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.

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 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 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.

2.1.5 Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos

Se confirman las variables consignadas en el numeral 1.5. de este documento.

A su vez, como base para esta operación estadística ha sido construido un indicador ambiental 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 de decisiones informadas a través de la generación de información estratégica organizada de forma sintética y producida periódicamente (IDEAM, 2020 E). Este indicador se denomina: Balance de masa glaciar. La hoja metodológica, datos y gráfica de este indicador ambiental se puede consultar en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas1>

2.1.6 Plan de resultados

Desde que se inició el cálculo del balance de masa para dos glaciares colombianos, la forma de los resultados (diseño, contenido y difusión) han variado poco debido a que, en el ámbito mundial y desde hace décadas, se reporta este tipo de datos de forma anual. El resultado anual que es un dato numérico de la suma algebraica de mediciones sucesivas, es decir, un balance, va acompañado de datos adicionales que dan explicación del comportamiento de los glaciares objeto de estudio y generaliza la dinámica de lo que acontece en Colombia en materia de dinámica glaciar. Estos resultados son documentos escritos tipo informe técnico anuales o intra-anuales, informes especiales como por ejemplo cuando ocurren fenómenos climáticos extremos tipo “El Niño” o “La Niña” que impactan de manera especial a los glaciares colombianos. Los resultados del balance también se incluyen en informes institucionales como el Estudio

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 44 de 110

Nacional del Agua e Informe del Estado del Ambiente. En el ámbito mundial y desde 2009, año en el que Colombia fue aceptado para hacer parte de los países que reportan al WGMS los datos de balance de masa, los resultados se envían en formatos de esa entidad en hojas de cálculo Excel. Debido al aumento del derretimiento de los glaciares nacionales, desde 2018 y de forma anual se elabora un informe institucional especial denominado "Estado de los glaciares colombianos". Los resultados esperados corresponden con las actividades descritas en el *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*.

Cuadros de salida

Se ha esquematizado de acuerdo con las variables e indicadores diseñados, la tabla de salida que contempla los datos difundidos para la operación estadística.

Título. Balance de masa Glaciar (el contemplado en la medición)

(1) Unidad de medida (mm e.a)

Año hidrológico (2)	Balance de masa (3)	Balance de masa acumulado

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.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 45 de 110

2.1.7 Estándares estadísticos utilizados

Es perenne recordar que esta operación estadística no tiene comparación en nuestro territorio. Por esta razón se basa en estándares internacionales. 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”* de los autores Bernard Francou y Bernard Pouyaud (Francou y Pouyaud, 2004). En suma, el método glaciológico directo se utiliza para determinar el balance de masa de forma directa o in-situ, por medio de medidas sucesivas de acumulación y ablación, generalmente balizas y pozos sobre el glaciar. Se considera el mejor método con base en la relación costo-beneficio y proporciona la información para cumplir el objetivo. Constituye la identificación y aplicación de conceptos estandarizados de referencia internacional y la metodología de balance de masa, sugeridos por el WGMS. El uso estandarizado de este método de referencia internacional garantiza la integración, comparabilidad e interoperabilidad de la información estadística.

Ahora bien, 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]

Por último, 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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 46 de 110

2.1.8 Diseño del cuestionario

Los datos para la operación estadística se obtienen mediante la recolección de información diseñada a través del *formato de recolección de datos e información de medidas sobre la superficie del glaciar* y del *instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar* y desagregado en la fase de recolección. Consiste básicamente en qué medidas se deben tomar en campo, cómo registrarlas, cómo controlarlas, salvaguardarlas y cómo dar solución a situaciones anómalas.

2.1.9 Normas, especificaciones o reglas de edición e imputación de datos

No aplica. En la operación estadística balance de masa glaciar no se realiza imputación de datos, en tanto no hay ninguna sustitución de valores que no hayan sido informados.

2.2 Diseño estadístico

A continuación, la definición y formulación del marco estadístico, el universo, la población, las unidades estadísticas, los periodos y el diseño muestral de la operación estadística balance de masa glaciar

2.2.1 Universo de estudio

La masa glaciar de la totalidad de los glaciares en el territorio colombiano.

2.2.2 Población objetivo

La masa glaciar de

1. Sierra nevada El Cocuy o Güicán (6° 30'N; 72° 15'W; 5380m.).
2. Volcán nevado Santa Isabel (4° 48'N; 75° 22'W; 4968m.).

2.2.3 Cobertura geográfica

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.

2.2.4 Desagregación geográfica

La desagregación geográfica está dada por la ubicación del Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco), en el territorio colombiano

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 47 de 110

2.2.5 Desagregación temática

La información estadística incluye un análisis cruzado con variables complementarias del seguimiento a la dinámica de los glaciares como variables hidrometeorológicas y climatológicas, balance de energía, balance hidrológico, retrocesos del frente glaciar, espesores de hielo o topografía glaciar.

Adicionalmente, al ser la operación estadística única en el país, se puede utilizar como indicador de los ecosistemas y de la evolución del clima de la alta montaña de Colombia en general.

2.2.6 Fuentes de datos

La fuente de información es primaria y única, corresponde con los datos capturados en los puntos de observación sobre la superficie de los glaciares objeto de estudio directo por parte del IDEAM. En dichos términos, según los numerales 6.3.6 y 6.3.7 (pertinencia y desgaste de la fuente) se asegura la pertinencia y minimización del desgaste de la fuente al constituir la superficie del glaciar la fuente idónea para medir el fenómeno de estudio, así como un elemento geofísico que comprobadamente no sufre desgaste por motivo del levantamiento de información⁵.

2.2.7 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 Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco) en el territorio colombiano. Desde 2006 y 2009 respectivamente, se han realizado sistemática y periódicamente observaciones a estas unidades; que con base en una red de instrumentos sobre y alrededor de las superficies glaciares seleccionados han arrojado datos que permiten una mejor comprensión del actual estado de la criósfera colombiana, así como de la dinámica de la baja tropósfera.

- **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;

⁵ 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 respetable, la evidencia científica comprueba 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 48 de 110

que con base en una red de instrumentos sobre y alrededor de las superficies glaciares seleccionados han arrojado datos que permiten una mejor comprensión del actual estado de la criósfera colombiana, así como de la dinámica de la baja troposfera.

El cálculo de la selección de la muestra obedece principalmente a la característica principal del diseño muestral: es imposible, por factores presupuestarios, humanos y logísticos, visitar en campo los seis glaciares del país. Por ende, se selecciona la muestra a partir de criterios técnico-científicos de representatividad y accesibilidad.

2.2.8 Periodo de referencia

La operación estadística hace referencia a la generación de información de balance de masa durante un periodo establecido por el IDEAM, normalmente un 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.

2.2.9 Periodo de recolección/acopio

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).

Adicionalmente, se prevén visitas de campo mensuales para el volcán nevado Santa Isabel y bimestrales para la sierra nevada El Cocuy o Güicán. 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 correcto funcionamiento de las unidades estadísticas.

2.2.10 Marco estadístico

Esta operación estadística es tipo **no probabilística**, por lo cual la selección de la muestra se hace teniendo en cuenta que el fenómeno no puede ser medido en todos los puntos del espacio en intervalos de tiempo de forma altamente regular. Con base en lo anterior, la selección de la muestra se hace por medio de un análisis temático indirecto y geométrico en terreno, a partir de los siguientes criterios de selección que idealmente debe tener un glaciar de estudio:

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).

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 49 de 110

2. **Tamaño del glaciar:** un glaciar pequeño es más vulnerable y responde rápidamente a los pequeños cambios atmosféricos, mientras que un glaciar grande permite realizar un estudio más extenso a lo largo del tiempo
3. **Morfología de la cuenca:** Es fundamental para la medición de un balance glaciológico e hidrológico una cuenca con sus límites bien 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.
4. **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.
5. **Viabilidad, accesibilidad y seguridad:** el glaciar debe tener adecuada rutas de acceso, que permita instrumentarlo, que en lo posible sea uniforme y no se encuentre demasiado agrietado, que no presente lugares peligrosos para la integridad física de los investigadores como zonas de avalanchas, desprendimiento de bloques, pendientes muy fuertes y grietas.

2.2.11 Diseño muestral

Para el diseño de la muestra se parte de la base que los nevados colombianos presentan las siguientes situaciones (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 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 50 de 110

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 es 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.

Teniendo en cuenta los criterios de selección explicados en el marco muestral y como resultado de esta evaluación, se definen dos unidades estadísticas de observación y análisis, a saber:

1. **El volcán nevado Santa Isabel (sector Conejeras)**
2. **La sierra nevada El Cocuy o Güicán (sector Ritacuba Blanco).**

En razón a lo expuesto, esta operación estadística se cataloga como un muestreo **No Probabilístico** por conveniencia, en donde se seleccionan muestras de la población por conveniencia técnico-científica en la cual cada muestra tiene su propio comportamiento sin que ello afecte la representatividad respecto al universo de estudio.

Además, para el correcto muestreo y consecuentes resultados se debe realizar, como mínimo, el levantamiento de tres (3) datos para la totalidad del glaciar ó una (1) toma de datos por rango altitudinal. Estos son los parámetros mínimos para realizar el cálculo algebraico descrito en el numeral 2.1.4 de este documento y constituyen la principal medida de calidad del proceso estadístico. El *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística balance de masa glaciar* ahonda en aspectos complementarios que deben ser cumplidos en aras de la calidad de la información.

- **Mantenimiento de la muestra**

La muestra establecida por los criterios anteriormente mencionados a conveniencia, se mantendrá en el tiempo y en el espacio, y su variación estará sujeta a la inclusión de una nueva unidad de observación, o al impedimento de seguir monitoreando el volcán nevado Santa Isabel (sector Conejeras) ó la sierra nevada El Cocuy o Güicán (sector Ritacuba Blanco) por el no cumplimiento de los criterios anteriormente expuestos. Este mantenimiento está igualmente soportado en el cumplimiento del cronograma de trabajos de campo.

2.2.12 Ajustes de cobertura

El IDEAM atiende criterios científicos, técnicos y logísticos de desagregación y cobertura geográfica del universo de estudio. Esto debido fundamentalmente a la dificultad logística, técnica y económica de realizar mediciones directas sobre todas las masas glaciares del país. Se define por tanto una red de medición para dos sitios de observación que permiten lograr los objetivos de la operación estadística, seleccionando las muestras a partir de los siguientes criterios

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 51 de 110

anteriormente mencionados. Estadísticamente, es viable incluir más o cambiar las unidades de observación en el proceso estadístico y el marco muestral es susceptible de actualizaciones o novedades en el transcurso del tiempo, teniendo en cuenta estos mismos criterios.

A esto se añade el control del sesgo (numeral 6.4.3 de la norma) 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 (Riesgo 80)*. Estos documentos ahondan en identificar y controlar las situaciones que pueden afectar el proceso de recolección, así como garantizar el entrenamiento del personal.

2.3 Diseño de la recolección/acopio

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.

2.3.1 Métodos y estrategias de recolección o acopio de datos

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 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.

Los aspectos necesarios para considerar en la planificación y ejecución de la recolección hacen parte del entrenamiento del personal y se detallan en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*. Las acciones a seguir y controles a aplicar ante la ocurrencia de eventos que imposibiliten la ejecución del monitoreo glaciar en campo, se identifican en el *formato matriz de riesgo (E-SGI-F006) del IDEAM en el Riesgo 80*.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 52 de 110

2.3.2 Estructura organizacional del operativo y conformación del equipo

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.

Para el desarrollo de toda la operación estadística se requiere de por lo menos dos personas con un nivel académico de pregrado aprobado. El perfil profesional es profesional en Geografía, Geología, Ingeniería Geográfica o Ambiental o Ecología, con experiencia profesional relacionada en trabajos biofísicos de alta montaña o monitoreo glaciar en Colombia.

2.3.3 Esquema de entrenamiento del personal

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 requiere de dos etapas:

a) *Oficina:*

- Manejo y utilidad de archivos digitales (ubicación, nombres, control, responsabilidad, salvaguarda, reporte de cambios).
- Repaso de programas computacionales que se usan para el cálculo del balance de masa (ArcGis, excel,
- Lecturas de conceptos del Balance de Masa.
- Ejercicios prácticos para el cálculo del balance de masa (uso de la tabla de cálculo, cuidados, errores y validación).
- Ejercicio práctico de ingreso de información a la web institucional.
- Ejercicios prácticos del uso de equipos de monitoreo glaciar, sede IDEAM Puente Aranda (GPS de navegación, GPS diferencial, Perforadora de hielo a vapor y sonda de nieve). Lectura de manuales del usuario.
- Gestión administrativa pre-campo (formatos de comisión de campo, formato de solicitud de tiquetes aéreos, formato de solicitud de transporte terrestre, formatos del Grupo de Almacén e Inventarios)

b) *Campo:*

- Descripción de rutas y tiempos de desplazamiento (senderos autorizados, opciones de rutas y manejo de horarios)
- Progresión sobre el glaciar para la identificación y recorrido de la red de balizas.
- Ejercicio práctico de recolección del dato (medición, registro, toma de fotografías y fuentes de error).

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 53 de 110

- Ejercicio práctico de manipulación, cuidado y contingencias de los equipos de monitoreo glaciar (GPS de navegación, GPS diferencial, Perforadora de hielo a vapor y sonda de nieve).
- Descripción y manejo de situaciones anómalas particulares de los sitios de monitoreo (atmosféricas, logísticas y sociales).

Calendario de recolección

Se tiene previsto 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 sector Ritacuba Blanco debido a su dinámica más estable en cortos periodos de tiempo.

El cronograma 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. Con esto se asegura tanto el dato de balances de masa intra-anual para investigación como el dato final de reporte anual (sumatoria de los balances intra-anales).

2.3.4 Convocatoria y selección del personal

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*.

2.3.5 Proceso de sensibilización y acuerdos de intercambio

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.

2.3.6 Elaboración de manuales

Los documentos que detallan conceptos y procesos establecidos para la recolección de la información son:

- *Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar*
- *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*
- *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística balance de masa glaciar*
- *Formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar*

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 54 de 110

- *Formato para la recolección de datos en campo - pozo de acumulación*

Complementariamente, como una **acción de mejora** en el diseño de la recolección y en aras de una mayor validación del dato y una medida de calidad, se prevé la construcción y aplicación del *manual para la operación y mantenimiento de equipos para la operación estadística balance de masa glaciar*.

2.3.7 Diseño de las estrategias de comunicación y plan de contingencias

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 riesgo, así como su evaluación y definición de controles, se encuentra documentado en el documento *Formato matriz de riesgo E-SGI-F006 del IDEAM (Riesgo 80)*.

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.

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 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 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.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 55 de 110

2.3.8 Diseño de la estrategia de seguimiento y control

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 quien(es) comprobará(n) su ejecución y liderarán la validación y registro de los datos primarios.

Durante la recolecta 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.

2.3.9 Diseño de sistemas de captura y transmisión de datos

Se encuentra descrito en el documento *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar* y se soporta 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*

2.3.10 Transmisión de datos

Se encuentra descrito en el documento *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa*.

Adicionalmente, para las siguientes iteraciones se prevé una **acción de mejora** en la evaluación de la fase de recolección. Esta mejora consta de una reunión en oficina del grupo encargado del monitoreo glaciar incluyendo los participantes en la campaña de campo y posterior a su finalización y liderada por el responsable de la Operación Estadística. En dicha reunión donde se levanta Acta se abordan los siguientes temas:

- 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)
- Posterior a la reunión y aprobación del acta, los datos primarios son digitados uno a uno en el sistema informático dispuesto para tal fin. El responsable de la operación estadística verifica que la transcripción haya sido correcta (cada dato en su campo correspondiente), exacta (cada valor es igual al dato de campo) y oportuna.

Indicador de evaluación previsto como mejora:

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Reunión post-campo de grupo encargado de monitoreo glaciar.	Calidad de insumos	Acta de Reunión / Lista de asistencia	Trimestral	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 56 de 110

2.4 Diseño del procesamiento

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.

2.4.1 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 está consolidada 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 Excel y que aplica a un glaciar colombiano, ecuatorial o de montaña. Este proceso se detalla en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa*. A su vez, posterior al uso de la hoja de cálculo excel, 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.

Es importante señalar que, **como una acción de mejora** en el procesamiento de los datos de la operación estadística, se prevé la creación de un ambiente de producción del componente de Glaciares dentro del Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos del IDEAM (DHIME) a partir del año 2021. El módulo o aplicativo de glaciares para la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar en el DHIME, consiste en un ambiente de producción en el que se consolida la base de datos de la información levantada en campo, se hace el cálculo automático del balance de masa total y se generan unas salidas de información susceptibles a un análisis posterior. Este espacio es administrado por la Oficina de Informática. El ambiente de procesamiento de datos en el DHIME cuenta con los mecanismos de seguridad y respaldos implementados por el IDEAM para garantizar la recuperación y la integridad de la base de datos.

2.4.2 Codificación

La operación estadística balance de masa glaciar no utiliza un proceso de codificación de variables

2.4.3 Diccionario de datos

La operación estadística balance de masa glaciar no utiliza un diccionario de datos. No obstante, las características de las variables utilizadas y los datos que serán incluidos en el procesamiento, son definidos en la operación estadística, en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa* y en la *Ficha metodológica para la operación estadística Balance de Masa Glaciar*.

No obstante, posterior al uso de la hoja de cálculo 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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 57 de 110

2.4.4 Revisión y validación

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*.

2.4.5 Diseño de instrumentos de edición e imputación de datos

Para el establecimiento de las herramientas tecnológicas (software y hardware) para el procesamiento de los datos, es necesaria una infraestructura tecnológica que soporte dicho procesamiento. En tal sentido, el IDEAM asegura la disponibilidad de los recursos técnicos, tecnológicos, informáticos, presupuestales y humanos para el procesamiento de los datos de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar, por medio de varias dependencias. Para el procesamiento de datos primarios se soporta en la infraestructura institucional bajo responsabilidad de la Oficina de Informática por medio de licencias de software (Microsoft Office, ArGis), 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.

El principal instrumento de edición es un archivo homogéneo de procesamiento, consistente en una hoja de cálculo Excel. Las reglas o especificaciones, acompañada de instrucciones del correcto uso y manejo de esta herramienta, se encuentran especificadas en la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

Por último, en la operación estadística balance de masa glaciar no se realiza imputación de datos, en tanto no hay ninguna sustitución de valores que no hayan sido informados.

2.4.6 Diseño para la generación de cuadros de resultados

La generación de cuadros de resultados en el marco del procesamiento de los datos, se especifican en la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

2.5 Diseño del análisis

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

Por la naturaleza del 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. Adicionalmente, las herramientas tecnológicas requeridas para la validación y el análisis de la información estadística y geoespacial obtenida se sustentan, al igual que en el procesamiento de datos, en los equipos informáticos de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental utilizados y asignados al profesional especializado (líder temático) y los profesionales a cargo del monitoreo glaciar. En resumen, las herramientas para el análisis estadístico y geoespacial

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 58 de 110

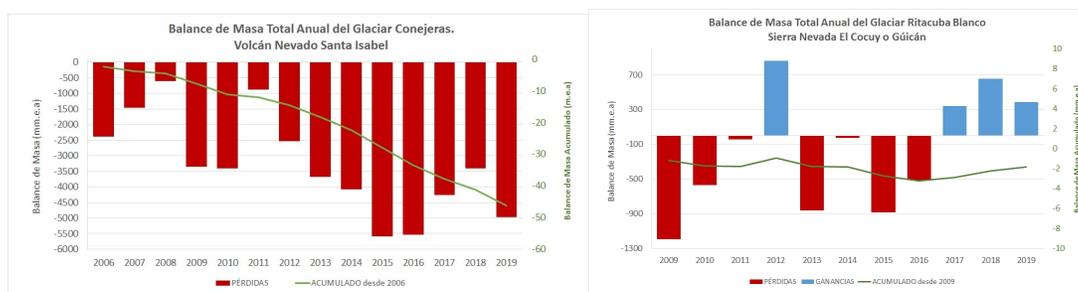
se relacionan directamente con la capacidad tecnológica y humana de la cual dispone el IDEAM, materializada en infraestructura computacional (que permite el almacenamiento completo y la realización de copias de respaldo), la red de estaciones hidrometeorológicas y la profesionalidad de los intérpretes de la información.

2.5.1 Métodos de análisis de resultados

Dado que el balance de masa de un glaciar se relaciona directamente con el comportamiento del clima, la revisión, validación y aprobación del dato final, este es, el balance de masa total anual (del ciclo hidrológico) consiste en compararlo con el balance del año anterior y así mismo hacer un análisis comparativo con el comportamiento del clima (principalmente precipitación) durante ese mismo periodo, para lo cual se utilizan los reportes y boletines que divulga la Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas del IDEAM. La experticia y conocimiento de esta relación clima-glaciar es fundamental para validarlo. De igual manera, el WGMS en sus formatos de reporte de balance de masas que envían sus representantes alrededor del mundo tienen una serie de verificaciones y controles de calidad realizados por expertos de ese organismo.

La información estadística se difunde a partir del análisis consistente en una combinación de métodos tales como análisis de contexto, de series de tiempo o estadístico básico.

Se realiza un análisis de contexto de la información obtenida en la iteración de la operación, así como por series de tiempo, previo a su divulgación lo cual garantiza coherencia y correspondencia entre resultados anteriores de la misma operación.



Series de tiempo de la operación estadística balance de masa glaciar en unidades de observación

Esta fase también incluye el análisis cruzado con variables complementarias del seguimiento a la dinámica de los glaciares como variables hidrometeorológicas y climatológicas, balance de energía, balance hidrológico, retrocesos del frente glaciar, espesores de hielo o topografía glaciar. 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). En el caso del volcán Nevado Santa Isabel se analiza, por ejemplo, que en el año 2019 y a pesar de la incidencia en la región Andina colombiana de un periodo con mayor precipitación (2017-2018), acentuada por el fenómeno climático extremo La Niña, el derretimiento del glaciar continuó siendo alto. Se estima que, de continuar el mismo ritmo de pérdida de masa, el declive de este glaciar tomaría de diez a quince años (Ceballos et al., 2020).

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 59 de 110

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.

2.5.2 Anonimización de microdatos

La fuente de información es primaria y única, corresponde con los datos capturados en los puntos de observación sobre la superficie de los glaciares objeto de estudio directo por parte del IDEAM. Por ende, no se vislumbra como necesario salvaguardar la confidencialidad e identidad de la fuente. No obstante, en aras de dar cumplimiento a la norma en el numeral 4.3 relacionado con la confidencialidad de la información recolectada, se aclara que 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 vislumbra en la Resolución 3158 de 2018 del IDEAM 'por la cual se adopta la política de seguridad y privacidad de la información del IDEAM'. Específicamente para 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 la nube/drive del grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña: https://drive.google.com/drive/folders/1iob5i4ClaiCzneEiRr4l3W8x0xKPM_XF?usp=sharing

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.

2.5.3 Verificación de la anonimización de datos

La fuente de información es primaria y única, corresponde con los datos capturados en los puntos de observación sobre la superficie de los glaciares objeto de estudio directo por parte del IDEAM. Por ende, no son personas naturales o jurídicas las que suministran los datos para generar la información estadística.

2.5.4 Comités de expertos

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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 60 de 110

2.6 Diseño de la difusión/ comunicación

La información producto de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar debe ser de conocimiento público y general y 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.

2.6.1 Diseño de los sistemas 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.

Los mecanismos o formas de difusión de la información estadística son múltiples. El balance de masa se difunde a manera de informes, cuadros de salida y resultados, gráficos, bases de datos o mapas temáticos. El principal medio de difusión es la página web institucional.

Los cuadros de salida prevén también la atención de necesidades externas internacionales de información glaciológica, tales como: el llamado de datos o call-for-data, solicitud oficial del Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar – WGMS; y necesidades internas y externas nacionales, tales como: Estudios Nacionales del Agua (ENA) e Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IEARNR). Esto se realiza mediante solicitudes internas o externas, según corresponda, previstas en la primera fase de la operación estadística y consignadas en el *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*. Dado que el dato anual es el fin del proceso del cálculo del Balance de Masa y es el que se divulga, éste se obtiene posterior a la última campaña de recolección en febrero (cierre del ciclo hidrológico) y posteriormente de cumplir la fase de procesamiento que sucede durante el mes de marzo, se elaboran los documentos escritos que acompañan el dato con el análisis, lo que lleva a programar anualmente que su divulgación ocurra al finalizar el primer semestre del año en los medios previstos estas fechas.

2.6.2 Diseño de productos de comunicación y difusión

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

En tal sentido, la información de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar 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

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 61 de 110

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 anuales 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>)

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*

2.6.3 Entrega de productos

En línea con las políticas operacionales del documento *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia*, la información producida que se divulga, socializa y apropia mediante la página web, lo es previa aprobación por parte del Comité Científico del IDEAM y una vez se surta esto, 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. Los principales productos entregados son:

1. Informe anual del estado de los glaciares de estudio
2. Informe periódico del estado de los glaciares colombianos.
3. Indicador ambiental Balance de Masa glaciar

Estos reportes anuales se socializan y divulgan durante el segundo trimestre del año en razón a que, al finalizar el periodo de medición o ciclo hidrológico, es decir, febrero, se tarda alrededor de dos meses el proceso de cálculo, escritura de informes y aprobación. Los tiempos de difusión de estos productos, se establecen en el *calendario para la difusión de la operación estadística balance de masa glaciar*, con el fin de garantizar la oportunidad y el cumplimiento en la difusión de resultados de acuerdo con las fechas establecidas.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 62 de 110

2.6.4 Estrategia de servicio

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.

INICIO ENTIDAD TRÁMITES Y CONSULTAS SERVICIO AL CIUDADANO SALA DE PRENSA

IDEAM

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

MONITOREO DE ECOSISTEMAS GESTIÓN DE INFORMACIÓN AMBIENTAL

ECOSISTEMAS / MONITOREO DE ECOSISTEMAS / GLACIARES / BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO [Regresar](#)

BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO: EL ESTADO DE SALUD DE UN GLACIAR

El IDEAM aplica métricas de cuantificación y cualificación de parámetros glaciológicos, hidroglaciológicos y atmosféricos que permitan evaluar la dinámica y evolución de los glaciares. La principal de estas métricas es el balance de masa glaciológico.

¿Qué es el balance de masa?

Consiste en un cálculo periódico y cuantitativo de las pérdidas y ganancias de masa (hielo y nieve), derivado del monitoreo mensual y semestral en campo que desarrolla el IDEAM en el sector Cordillera (Volcán Nevado Santa Isabel) y en el sector Altiplano Blanco (Sierra Nevada El Condor o Qullín) respectivamente. Representa el estado de salud de un glaciar, pues indica cuánto ha perdido o ganado en determinado periodo de tiempo de manera específica.

Técnicamente, corresponde al resultado de la suma de la acumulación y la ablación. Permite determinar la variación de volumen del glaciar, el desplazamiento del hielo y las cantidades de nieve precipitada (Franou y Poyaud 2004. Métodos de observación de glaciares en los Andes Tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento de datos. GRET SA. BRD, Francia). Adicionalmente, se expresa generalmente en milímetros o metros equivalentes de agua (mm e.a. o en inglés: mm w.e.). La siguiente imagen permite dimensionar la medida del mismo:

Un metro equivale la pérdida de 2000 milímetros equivalentes de agua en un glaciar*. IDEAM 2019. Autor: Alejandro Ojeda. (Clic sobre la imagen para ampliar)

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-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 63 de 110



Portadas de documentos de reporte del estado de los glaciares colombianos



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

2.7 Diseño de la evaluación de las fases del proceso

Con el fin de establecer criterios metodológicos para la valoración de todo el desarrollo de las fases del proceso estadístico, así como para determinar en qué medida se ha logrado el cumplimiento de los objetivos planteados, en contraste con las necesidades de información de los usuarios y con los resultados obtenidos, se diseñan indicadores de evaluación tanto de gestión como técnicos.

A nivel de gestión, la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar 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 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 64 de 110

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, se contempla la evaluación de cada una de las fases, en la cual se confirma el cumplimiento y alcance de objetivos, a partir de la aplicación de indicadores, verificación de criterios de evaluación, procedimiento o ejecución de acciones que den cuenta de dicha verificación y responsable de la misma, tal como se muestra a continuación:

Fase 1. Detección y análisis de necesidades

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Necesidades de información glaciológica confirmadas. (No. necesidades de necesidades atendidas / No. necesidades allegadas)	Oportunidad	Formato Caracterización de usuarios de información glaciológica, diligenciado.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar
Planeación operación estadística BMG (Programación física y presupuestal de la Operación estadística).	Funcionalidad / Aplicabilidad	Plan general de la operación estadística BMG. Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística balance de masa glaciar, diligenciado.	Anual	Coordinador (a), Profesional Especializado (líder temático)

Fase 2. 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	Documento Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar. Actas de reunión y/o entrenamiento.	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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 65 de 110

Fase 3. 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
Hoja de cálculo Excel del BMG	Uso / Aplicabilidad	Formato de hoja de cálculo Excel actualizada	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

Fase 4. Recolección

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
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

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Hoja de cálculo 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

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Hoja cálculo Excel 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

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Publicaciones anuales de BMG (No. de documentos publicados sobre BMG /	Disponibilidad y acceso de información generada, a grupos de interés.	Informe anual del estado de los glaciares de estudio, publicado.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 66 de 110

documentos planeados para publicación sobre BMG	Facilidad de acceso	Informe periódico del estado de los glaciares colombianos publicado (si aplica), publicado. Indicador ambiental Balance de Masa glaciar, publicado.		
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)

Fase 8. Evaluación

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)

Finalmente, vale la pena señalar que, como una **acción de mejora** de la fase de evaluación del proceso estadístico, se prevén tres espacios de seguimiento y evaluación que permitan determinar la eficiencia y eficacia de los procesos, procedimientos y productos de la operación:

- Reunión anual de evaluación por parte de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, en la que se revise y actualice (de ser necesario) la metodología de la operación estadística, asegurando la coherencia con el resto de los elementos de la operación en su conjunto.
- Mesa técnica de socialización de resultados con las dependencias u oficinas del IDEAM, que hagan uso de la información glaciológica generada en marco de la operación estadística.
- Mesa de expertos, en la cual se socialicen los resultados y se retroalimente el proceso estadístico.

A través de estos mecanismos, se detectan las fortalezas, 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, que desembocan en asignar los recursos respectivos para la implementación de las acciones del plan en la siguiente aplicación de la operación estadística.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 67 de 110

Indicadores previstos como mejora:

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Evaluación y seguimiento de la OE BMG (No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación ejecutados / No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación planeados). <i>Espacios previstos:</i> 1. <i>Reunión anual de evaluación - Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental.</i> 2. <i>Mesa técnica de socialización de resultados con las dependencias u oficinas del IDEAM.</i> 3. <i>Mesa de expertos.</i>	Uso / Aplicabilidad / Funcionalidad	Acta de Reunión / Lista de asistencia de las mesas realizadas. Informe acciones de mejora	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar
Nivel de satisfacción de necesidades	Funcionalidad / cobertura	Encuesta de satisfacción aplicada. Informe satisfacción de necesidades	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

2.8 Diseño de los sistemas de producción y de los flujos de trabajo

La arquitectura general y los procesos de la Operación Estadística Balance de Masa Glaciar en términos de equipos de trabajo, productos intermedios y finales, así como los riesgos asociados a su ejecución se vislumbran en los siguientes documentos:

1. *Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia.*
2. *Metodología de la operación estadística Balance de Masa Glaciar.*
3. *Plan general para la operación estadística Balance de Masa Glaciar.*
4. *Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística balance de masa glaciar.*
5. *Formato matriz de riesgo (E-SGI-F006) del IDEAM en el Riesgo 80*

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 68 de 110

FASE 3. CONSTRUCCIÓN

3.1 Conformación del marco estadístico y selección de la muestra

El marco estadístico de la operación estadística Balance de Masa Glaciar, con base en el diseño establecido y los recursos asignados, es:

- Tipo de operación: **Muestreo No Probabilístico**
- Universo de estudio: La masa glaciar de la totalidad de los glaciares en el territorio colombiano.
- Población objetivo: La masa glaciar de la Sierra nevada El Cocuy o Güicán (6° 30'N; 72° 15'W; 5380m.) y el Volcán nevado Santa Isabel (4° 48'N; 75° 22'W; 4968 m.).
- Unidades estadísticas: La masa glaciar medida en el Volcán Nevado Santa Isabel (sector Conejeras) y Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco) en el territorio colombiano. Desde 2006 y 2009 respectivamente, se han realizado sistemática y periódicamente observaciones a estas unidades; que con base en una red de instrumentos sobre y alrededor de las superficies glaciares seleccionados han arrojado datos que permiten una mejor comprensión del actual estado de la criósfera colombiana, así como de la dinámica de la baja tropósfera.
- Marco muestral: El IDEAM atiende criterios científicos, técnicos y logísticos de desagregación y cobertura geográfica del universo de estudio. Esto debido fundamentalmente a la dificultad logística, técnica y económica de realizar mediciones directas sobre todos los glaciares del país. Se define por tanto una red de medición para dos sitios de observación que permiten lograr los objetivos de la operación estadística, seleccionando las muestras a partir de los siguientes criterios: representatividad del glaciar, tamaño del glaciar, morfología de la cuenca, estado del frente glaciar e hidrología y viabilidad, accesibilidad y seguridad. Teniendo en cuenta los criterios se seleccionan muestras de la población por conveniencia técnico-científica en la cual cada muestra tiene su propio comportamiento sin que ello afecte la representatividad respecto al universo de estudio.
- Fuentes: La fuente de información es primaria y única, corresponde con los datos capturados en los puntos de observación sobre la superficie de los glaciares objeto de estudio directo por parte del IDEAM.
- Tamaño de la muestra: Dos (2) unidades de observación. Es viable incluir más o cambiar las unidades de observación en el proceso. 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). El cálculo de la selección de la muestra obedece principalmente a la característica principal del diseño muestral: es imposible, por factores presupuestales, humanos y logísticos, visitar en campo los seis glaciares del país. Por ende, se selecciona la muestra a partir de criterios técnico-científicos de representatividad y accesibilidad.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 69 de 110

- **Mantenimiento de la muestra:** La muestra se mantendrá en el tiempo y en el espacio, y su variación estará sujeta a la inclusión de una nueva unidad de observación, o al impedimento de seguir monitoreando el volcán nevado Santa Isabel (sector Conejeras) ó la sierra nevada El Cocuy o Güicán (sector Ritacuba Blanco) por el no cumplimiento de los criterios anteriormente expuestos.
- **Cobertura geográfica:** 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.
- **Periodo de referencia:** normalmente un 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. Por esta razón el criterio de inicio y finalización de un periodo de medición no está estrictamente determinado por el calendario gregoriano. Históricamente, la duración del año hidrológico ha tenido gran variabilidad en los sitios de estudio. A continuación, se detallan estas fechas para los dos glaciares objeto de estudio:
 - **Volcán nevado Santa Isabel (sector Conejeras):**
 - 2006: inicia el 03/03/2006 y finaliza el 31/12/2006
 - 2007: inicia el 26/01/2007 y finaliza el 31/12/2007
 - 2008: inicia el 26/01/2008 y finaliza el 31/12/2008
 - 2009: inicia el 10/02/2009 y finaliza el 31/12/2009
 - 2010: inicia el 12/01/2010 y finaliza el 31/12/2010
 - 2011: inicia el 18/01/2011 y finaliza el 31/12/2011
 - 2012: inicia el 04/01/2012 y finaliza el 31/12/2012
 - 2013: inicia el 19/01/2013 y finaliza el 31/12/2013
 - 2014: inicia el 22/01/2014 y finaliza el 31/12/2014
 - 2015: inicia el 03/02/2015 y finaliza el 31/12/2015
 - 2016: inicia el 03/01/2016 y finaliza el 31/12/2016
 - 2017: inicia el 21/01/2017 y finaliza el 31/01/2018
 - 2018: inicia el 31/01/2018 y finaliza el 12/02/2019
 - 2019: inicia el 12/02/2019 y finaliza el 28/01/2020
 - 2020: inicia el 28/01/2020 y finaliza el 26/02/2021
 - **Sierra nevada El Cocuy o Güicán (sector Ritacuba Blanco):**
 - 2009: inicia el 01/01/2009 y finaliza el 31/12/2009
 - 2010: inicia el 24/03/2010 y finaliza el 31/12/2010
 - 2011: inicia el 17/02/2011 y finaliza el 31/12/2011
 - 2012: inicia el 15/03/2012 y finaliza el 31/12/2012
 - 2013: inicia el 14/01/2013 y finaliza el 17/02/2014
 - 2014: inicia el 17/02/2014 y finaliza el 02/03/2015
 - 2015: inicia el 02/03/2015 y finaliza el 23/02/2016
 - 2016: inicia el 23/02/2016 y finaliza el 13/02/2017
 - 2017: inicia el 13/02/2017 y finaliza el 14/02/2018

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 70 de 110

- 2018: inicia el 14/02/2018 y finaliza el 23/02/2019
 - 2019: inicia el 23/02/2019 y finaliza el 02/12/2019
- Periodicidad de recolección: Calendario estimado de recolección consiste en una visita mensual al sitio de estudio sector glaciar Santa Isabel (sector Conejeras) y una visita bimestral al sitio de estudio sierra nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco); es decir 12 y 6 visitas al año respectivamente. Por circunstancias de tiempo meteorológico, logístico, presupuestal o de fuerza mayor, la periodicidad corresponderá a una visita a cada sitio por cada periodo seco o de lluvias de la región Andina, es decir, 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 comportamiento bimodal de esta región natural.

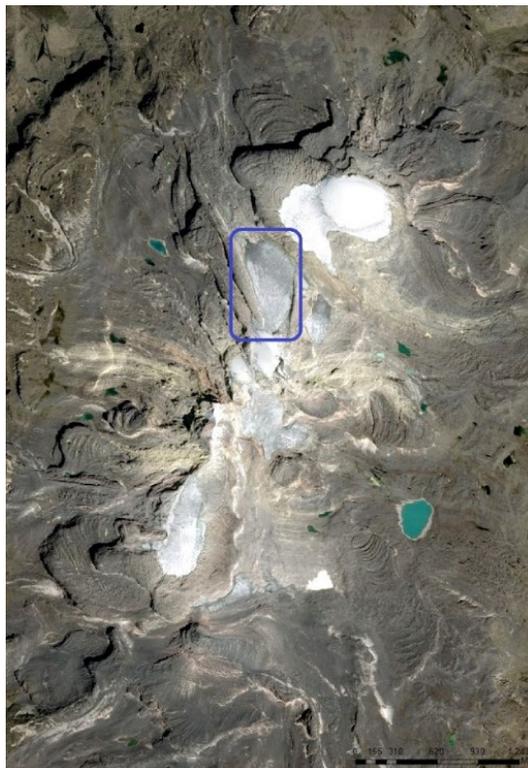
A continuación, se presenta una explicación más detallada de la selección de la muestra, consistente en las dos unidades estadísticas de observación y análisis.

- **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 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 71 de 110



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 climáticas interdecadales o intra-anales 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 72 de 110



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

3.2 Construcción de instrumentos de recolección

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 construidos.

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)
 - Formato autorización salida de elementos (A-AR-F003)
 - Formato cumplido de comisión (A-GF-F010). *(para funcionarios)*

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 73 de 110

- 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:

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.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 74 de 110

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*

3.3 Construcción o mejora de componentes para el procesamiento y análisis

El procesamiento y análisis de la información se lleva a cabo en oficina, luego de realizar el trabajo en campo se procesa la información mediante un tratamiento matemático. Dicho procedimiento se encuentra sistematizado en la aplicación informática *hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar*, que permite la manipulación de datos numéricos y alfanuméricos dispuestos en forma de tablas para la operación sobre cálculos ya establecidos en el diseño.

Cada “pestaña” de cada hoja de cálculo corresponde a una manipulación de datos que se hace de forma semiautomática y tiene una secuencia construida siguiendo los pasos lógicos que llevan al dato del balance de masa para un periodo determinado. Las fórmulas matemáticas establecidas están incluidas en esa aplicación informática en la cual sólo es necesario actualizar la tabla correspondiente a “datos de campo” del balance de masa con los datos obtenidos en campo recientemente y se calculará automáticamente el balance de masa glaciológico para el periodo de observación y para cada baliza (Balance de masa específico). Posteriormente, se recorre cada pestaña en orden numérico y se realizan los demás pasos, los cuales se detallan en el documento *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

Para cada una de las unidades de observación existe un archivo en la hoja de cálculo Excel y de esta manera se constituyen como mecanismos para la consolidación, integración y el tratamiento de los datos recolectados. Este mismo archivo compone los mecanismos necesarios para la generación de los cuadros y gráficos de salida y demás resultados de acuerdo con el diseño.

METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"

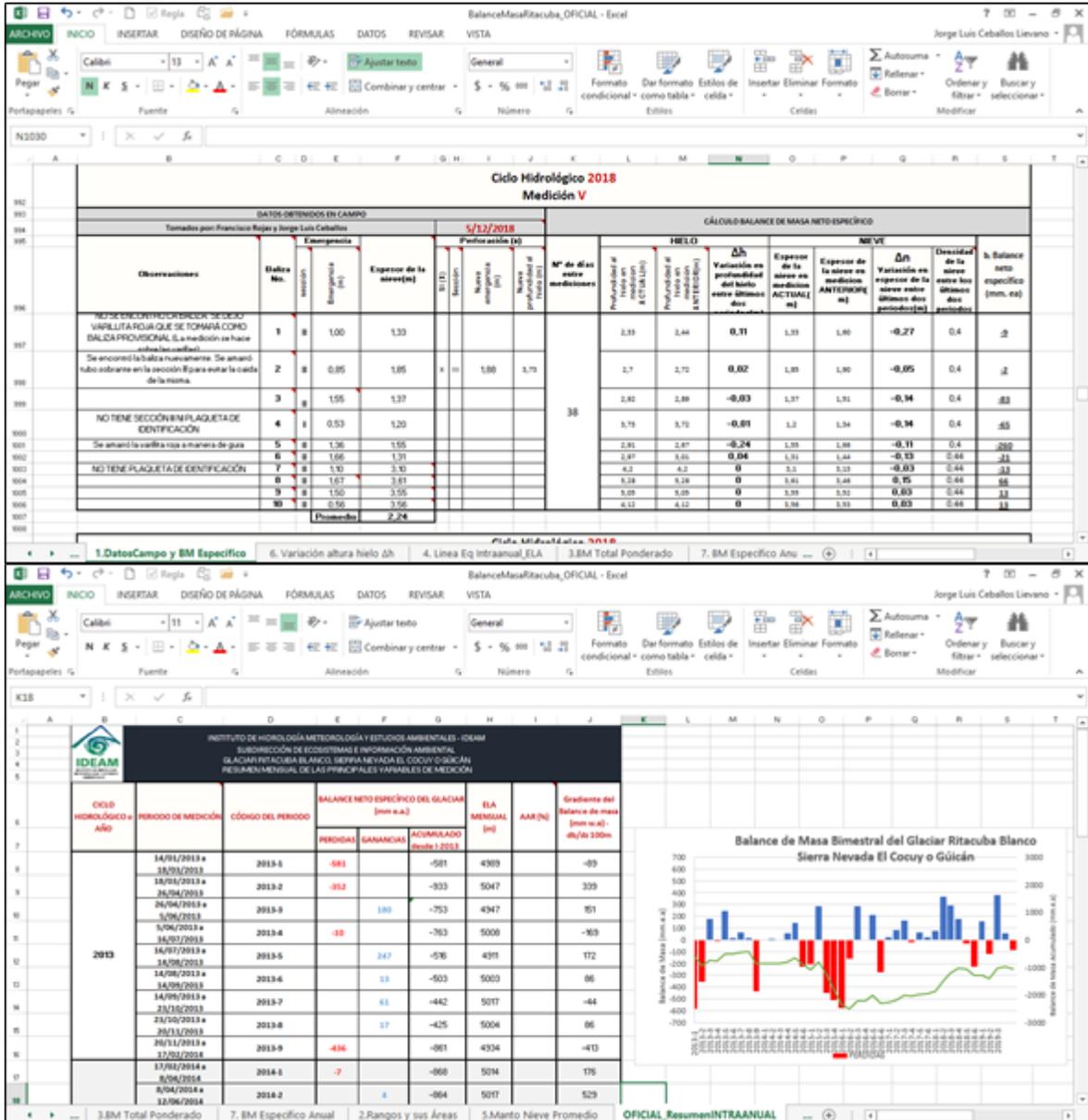
Código: M-GCI-M029

Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 75 de 110

En la fase de construcción de los componentes del procesamiento los profesionales a cargo del monitoreo glaciar preparan y disponen el formato de archivo mencionado.



Ejemplo de la construcción en hoja de cálculo (Excel) que permite el paso a paso del procesamiento y análisis de los datos de 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-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 76 de 110

3.4 Construcción o mejora⁶ de componentes de difusión / comunicación

El principal medio de difusión es la página web del IDEAM mediante el canal de comunicación de Internet. Es el principal mecanismo para poner a disposición de los usuarios los resultados de la operación estadística. En la fase de construcción se disponen los componentes previstos en el diseño para la difusión y comunicación de los resultados. En esta fase el equipo productor de la operación se asegura de la disponibilidad del medio. Esto se realiza principalmente a través de 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*.

En aras de la construcción de los principales componentes de la difusión, a saber: Informe anual del estado de los glaciares de estudio, Informe periódico del estado de los glaciares colombianos e Indicador ambiental Balance de Masa glaciar; se preparan y disponen correctamente los productos anteriores y se planea la realización de estos componentes para la iteración correspondiente.

3.5 Configuración de flujos de trabajo

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 el análisis espacial y el procesamiento de Sistemas de Información Geográfica, investigación y apoyo en diversos temas de ecosistemas de alta montaña, glaciología en general, realización de informes hidrometeorológicos, entre otras actividades.

Para la operación estadística se ha definido el riesgo operativo No. “*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).

⁶ La mejora de componentes se presenta desde la segunda iteración o aplicación de la operación estadística, teniendo en cuenta los resultados de las evaluaciones.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 77 de 110

Dicha evaluación del riesgo hace parte integral del documento *Formato matriz de riesgo* E-SGI-F006 del IDEAM (Riesgo 80).

3.6 Pruebas al sistema de producción

Se prevé que el sistema de producción, compuesto por los instrumentos de recolección y los aplicativos informáticos e infraestructura tecnológica tenga un componente de pruebas a partir de la iteración del proceso estadístico. Esto, sustentado en la arquitectura documental prevista, la cual se compone de los siguientes documentos que cubren todas las fases del proceso estadístico:

- *Formato de caracterización de usuarios de información glaciológica*
- *Formato directorio de usuarios de información glaciológica*
- *Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar*
- *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*
- *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística balance de masa glaciar*
- *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*
- *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar.*

3.7 Prueba piloto del proceso estadístico

Debido a la reiteración periódica que se realiza desde hace 15 años sobre el cálculo del balance de masa glaciar en el IDEAM, para la iteración del año hidrológico 2019 no se realiza una prueba piloto de la operación. La iteración sujeta a certificación constituye la propia prueba piloto de la operación estadística.

3.8 Evaluación del diseño y la construcción

Aplicación de indicadores de evaluación diseñados para las fases de diseño y construcción:

Indicadores Fase 2. 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	Documento Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar. Actas de reunión y/o entrenamiento.	Anual	Profesional Especializado (líder temático)

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 78 de 110

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

Indicadores Fase 3. 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
Hoja de cálculo Excel del BMG	Uso / Aplicabilidad	Formato de hoja de cálculo Excel actualizada	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

3.9 Finalización del sistema de producción

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.

FASE 4. RECOLECCIÓN

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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 79 de 110

4.1 Preparación de la recolección

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.

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 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)*

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 80 de 110

- 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)

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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 81 de 110

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
- 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

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 82 de 110

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)
- 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 Ejecución de la recolección

El detalle de la ejecución de la recolección de los datos de la operación estadística se describe detalladamente en el *Instructivo para la recolección de datos primarios del balance de masa glaciar*.

4.3 Cierre de la recolección

Para el cierre del proceso de Recolección de datos de la operación estadística, se siguen los siguientes pasos:

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 83 de 110

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 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 la nube/drive del grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña: https://drive.google.com/drive/folders/1iob5i4ClaiCzneEiRr4i3W8x0xKPM_XF?usp=sharing

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 son almacenados en las oficinas de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental del IDEAM o en la nube/drive del grupo de monitoreo de ecosistemas de alta montaña: https://drive.google.com/drive/folders/1iob5i4ClaiCzneEiRr4i3W8x0xKPM_XF?usp=sharing

Las fotografías digitales son seleccionadas y salvaguardadas en los computadores dispuestos para tal 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)

4.4 Evaluación de la recolección

Aplicación de indicadores de evaluación diseñados para la fase de recolección:

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 84 de 110

Indicadores Fase 4. Recolección

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
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

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

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*.

5.2 Clasificación y codificación

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, la cual utiliza la operación estadística, se tiene en cuenta que los glaciares de estudio tienen las siguientes características:

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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 85 de 110

		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

El examen a los datos integrados en la *hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar*, se realiza de acuerdo a la *Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del balance de masa glaciar*.

5.4 Edición e imputación

En la operación estadística balance de masa glaciar no se realiza imputación de datos, en tanto no hay ninguna sustitución de valores que no hayan sido informados. No obstante, cuando se identifica alguna inconsistencia, error o desconfianza en algún dato, acorde con el *Manual de reglas de validación y consistencia de la operación estadística balance de masa glaciar*, se puede evaluar y decidir en grupo una de las siguientes opciones:

- Eliminar el dato.
- Si el dato a eliminar corresponde con un solo dato de un rango altitudinal, mejorar el mismo mediante la interpolación con datos de la baliza más cercana de los rangos altitudinalmente inferior y superior y se evalúa su representatividad según el dato de la campaña anterior y el comportamiento del clima para la época de medición.

Esta decisión se incluye en la columna “Observaciones” de la pestaña *1.DatosCampo y BM Específico* de la *hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar*.



METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"

Código: M-GCI-M029

Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 86 de 110

5.5 Derivación de nuevas variables y unidades

No aplica

5.6 Cálculo de ponderadores

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 2.1.4 del 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*.

Año	Periodo	Balizas del Rango1				Balizas del Rango2				Balizas del Rango3				Balizas del Rango4								
		1	2	Balance promedio del rango	Área relativa por rango (%)	3	4	Balance promedio del rango	Área relativa por rango (%)	5	6	Balance promedio del rango	Área relativa por rango (%)	7	8	Balance promedio del rango	Área relativa por rango (%)					
2015	2/09/2014 a 21/10/2014	132	160	146	16,06%	23,44	252	260	256	13,18%	33,74	84	244	164	23,57%	38,66	76	168	122	23,62%	28,82	116
	21/10/2014 a 2/03/2015	-305	-488	-397	16,06%	-63,66	33	-559	-263	13,18%	-34,67	-260	-408	-334	23,57%	-78,74	-136	-144	-140	23,62%	-33,07	4
	2/03/2015 a 24/06/2015	-278	316	19	16,06%	3,05	-881	-425	-653	13,18%	-86,07	100	-75	13	23,57%	2,95	-164	-188	-176	23,62%	-41,58	-352
	24/06/2015 a 15/08/2015	246	148	197	16,06%	31,63	555	787	671	13,18%	88,41	108	144	126	23,57%	29,70	140	280	210	23,62%	49,61	366
	15/08/2015 a 7/12/2015	-268	-68	-168	16,06%	-26,97	-140	-875	-507	13,18%	-66,86	-220	-112	-166	23,57%	-39,13	-520	-660	-590	23,62%	-139,38	-744
2016	7/12/2015 a 23/02/2016	-1320	-4	-662	16,06%	-106,29	-1441	-1304	-1373	13,18%	-180,91	-250	-1313	-782	23,57%	-184,23	-92	-92	-92	23,62%	-21,73	-80
	23/02/2016 a 26/04/2016	-1596	-1628	-1612	16,06%	-258,82	-1212	-1196	-1204	13,18%	-158,66	-1036	-1266	-1151	23,57%	-271,34	-256	460	102	23,62%	24,15	303
	26/04/2016 a 14/06/2016	-589	-594	-592	16,06%	-94,97	-606	-587	-596	13,18%	-78,59	26	20	23	23,57%	5,37	20	20	20	23,62%	4,72	20
	14/06/2016 a 23/08/2016	307	209	258	16,06%	41,42	367	-16	176	13,18%	23,13	398	234	316	23,57%	74,54	330	312	321	23,62%	75,83	374
	23/08/2016 a 19/10/2016	-228	-95	-162	16,06%	-25,93	82	99	3	13,18%	0,43	57	38	48	23,57%	11,20	-20	30	5	23,62%	1,18	10
2017	19/10/2016 a 7/12/2016	-35	18	-9	16,06%	-1,36	89	-116	-13	13,18%	-1,75	245	68	157	23,57%	36,89	168	619	394	23,62%	92,96	464
	7/12/2016 a 13/02/2017	-595	-453	-524	16,06%	-84,13	-165	-305	-235	13,18%	-30,97	-221	-181	-201	23,57%	-47,36	-87	-410	-248	23,62%	-58,68	-256
	13/02/2017 a 25/04/2017	-485	-304	-395	16,06%	-63,34	-285	-94	-190	13,18%	-24,98	245	166	205	23,57%	48,42	98	123	111	23,62%	26,10	154
	25/04/2017 a 14/06/2017	-240	-157	-199	16,06%	-31,87	14	369	178	13,18%	23,40	95	94	94	23,57%	22,23	92	106	99	23,62%	23,39	241
	14/06/2017 a 24/08/2017	205	155	180	16,06%	28,90	157	413	285	13,18%	37,57	314	132	223	23,57%	52,57	110	75	92	23,62%	21,83	70
2017	24/08/2017 a 19/10/2017	-113	-63	-88	16,06%	-14,13	140	-104	-122	13,18%	-16,08	51	-250	-99	23,57%	-23,41	-365	325	-20	23,62%	-4,63	36
	19/10/2017 a 6/12/2017	-143	-161	-152	16,06%	-24,40	67	-720	-327	13,18%	-43,04	-12	342	165	23,57%	38,85	36	93	65	23,62%	15,24	387
	6/12/2017 a 14/02/2018	-428	-243	-341	16,06%	-54,67	-69	-69	-69	13,18%	-9,09	169	39	101	23,57%	23,86	62	109	85	23,62%	20,15	274

En la pestaña "3.BM Total Ponderado" de la hoja de cálculo es donde se pondera el balance de masa según las áreas relativas

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 87 de 110

5.7 Cálculo de agregaciones

No aplica

5.8 Finalización de los archivos de datos

El cálculo del balance de masa finaliza en la pestaña “OFICIAL_ResumenANUAL” de la *hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar*.

Posterior al uso de la hoja de cálculo 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.

5.9 Evaluación del procesamiento

Aplicación de indicadores de evaluación diseñados para la fase de procesamiento:

Indicadores Fase 5. Procesamiento

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento / Evidencia	Periodo de evaluación	Responsable
Hoja de cálculo 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

6.1 Preparación de borradores de resultados

El dato anual del balance de masa se presenta tanto intra-anual (resultado de campañas periódicas) como el final anual para el ciclo hidrológico observado.

Las pestañas “OFICIAL_ResumenINTRAANUAL” y “OFICIAL_ResumenANUAL” de la *hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar*, consolidan los resultados del cálculo del balance de masa y las gráficas correspondientes “Balance intra-anual...” y “Balance anual...” las cuales son el resultado visual de los datos intra-anales y anuales de los periodos de medición e históricos.

Adicionalmente, se calcula y se grafica la Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA, por sus siglas en inglés), la cual representa la altitud a la cual el balance de masa es cero. Este indicador es importante en el ámbito mundial ya que se considera también un indicador de cómo está impactando el actual cambio climático a los glaciares y masas de hielo ya que su tendencia es a ascender. Se calcula con base en los Balances de masa de cada punto monitoreado

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 88 de 110

(baliza) y la altitud de ese punto, es decir, se establece una regresión. La *hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar* facilita el cálculo exacto mediante la fórmula “intersección”. Con la serie de datos histórica, la representación gráfica y las estadísticas complementarias como líneas de tendencia, valores promedio, mínimos y máximos se facilitan dada la variedad de opciones disponibles en la herramienta informática Excel. Todas las estadísticas asociadas y su representación gráfica quedan plasmadas en las mismas pestañas de cada paso del procesamiento en la hoja de cálculo Excel.

6.2 Validación, interpretación y explicación de los resultados

La validación e interpretación de los datos finales y estadísticas complementarias se lleva a cabo 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. 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 iteración en el año 2019 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).

El volcán Nevado Santa Isabel es el glaciar más inestable del país. Continúa su acelerado derretimiento particularmente desde 2016, y se prevé su extinción en diez a quince años. Presenta un balance de masa total anual de -4320 milímetros equivalentes de agua (Ceballos et.al., 2020).

La Sierra Nevada El Cocuy o Güicán es el glaciar más estable del país durante el año hidrológico del 2019, gracias a las precipitaciones sólidas (nieve y granizo) ocurridas durante los periodos de lluvia de 2017, 2018 y 2019. Presenta un balance de masa total anual de 470 milímetros equivalentes de agua (Ceballos et.al., 2020).

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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 89 de 110

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 intraestacionales, como la oscilación de Madden y Julian (Ceballos et.al., 2020).

6.3 Aplicación del control a la divulgación

Al ser un dato final de un proceso procedente de una institución gubernamental 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 o contratistas 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.

6.4 Finalización de resultados

Como se ha enunciado en subprocesos de fases anteriores, las pestañas “OFICIAL_ResumenINTRAANUAL” y “OFICIAL_ResumenANUAL” de la *hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar*, concentran la información resultante del proceso estadístico de los periodos anuales de estudio y 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 como por ejemplo el “Informe del estado de los glaciares colombianos 2019 (Ceballos et.al., 2020). 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.

6.5 Evaluación del análisis

Aplicación de indicadores de evaluación diseñados para la fase de análisis:

Indicadores Fase 6. Análisis

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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 90 de 110

FASE 7. DIFUSIÓN

7.1 Actualización de los sistemas de salida Generación de productos de difusión / comunicación

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.
- Los informes individuales del estado de los glaciares donde se desarrolla la operación estadística deben contener al menos los siguientes temas: presentación, balance de masa glaciológico, acumulación de la nieve y condiciones hidrometeorológicas.

Los 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 anual del estado de los glaciares de estudio
2. Informe periódico del estado de los glaciares colombianos.
3. Indicador ambiental Balance de Masa glaciar

7.1.1 Tablas y gráficas de salida del indicador ambiental balance de masa glaciar

Para la operación estadística Balance de Masa Glaciar se ha diseñado un indicador ambiental, el cual hace parte del conjunto de indicadores del IDEAM y se ha denominado: Balance de masa glaciar. A continuación, se describe la tabla y gráfica de salida del mismo, para cada uno de los glaciares de estudio.

7.1.1.1 TABLA DE SALIDA PARA EL INDICADOR “Balance de masa, Glaciar Conejeras (Volcán Nevado Santa Isabel)”

Se genera una tabla de salida, que describe en las columnas el año hidrológico; el balance de masa asociado a las pérdidas, y el balance de masa acumulado en milímetros equivalentes de agua (mm e.a.); en las filas se registran los años observados y la información asociada a cada uno de las variables establecidas en las columnas. Esta tabla se encuentra publicada en el portal web institucional, Indicadores Ambientales, ubicado en el link <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas1>.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 91 de 110



**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

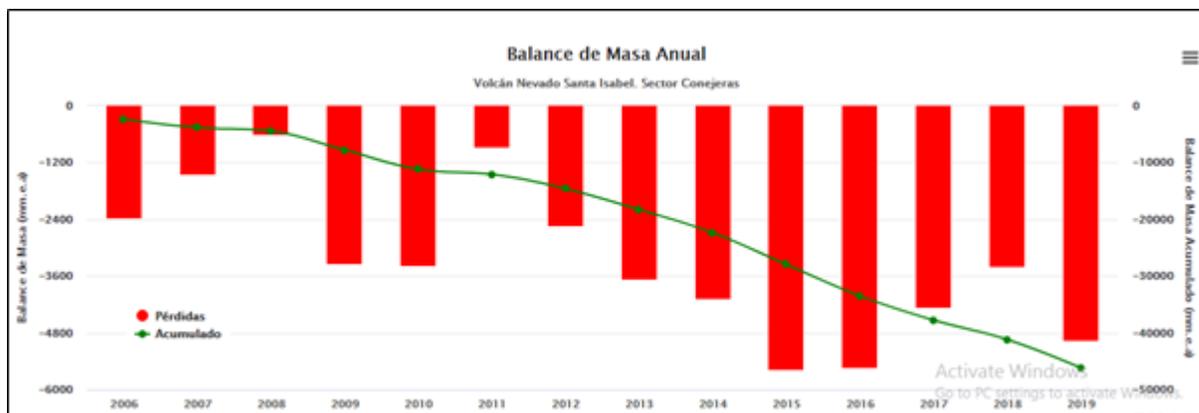
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM-. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Suelos y Tierras. 2020.

Notas:

- 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.).
- 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
- El Balance de masa y el Balance de masa acumulado fueron recalculados.
- 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 92 de 110

Balance de masa, Glaciar Conejeras (Volcán Nevado Santa Isabel)



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

La gráfica expresa el comportamiento del Balance de masa (pérdidas) y el acumulado en el eje primario y secundario respectivamente en tendencia negativa; en barras rojas las pérdidas, 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.).

7.1.1.2 TABLA DE SALIDA PARA EL INDICADOR "Balance de masa, Glaciar Ritacuba Blanco (Sierra Nevada El Cocuy o Güicán)"

Se genera una tabla de salida, que describe en las columnas el año hidrológico; el balance de masa asociado a las pérdidas, y el balance de masa acumulado en milímetros equivalentes de agua (mm e.a.); en las filas se registran los años observados y la información asociada a cada uno de las variables establecidas en las columnas. Esta tabla se encuentra publicada en el portal web institucional, Indicadores Ambientales, ubicado en el link <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/ecosistemas1>.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 93 de 110



**Colombia. Balance de masa¹, Glaciar Ritacuba Blanco
(Sierra Nevada El Cocuy o Güicán). Enero de 2009 a diciembre de 2019**

mm e.a.⁴

Año hidrológico ²	Balance de masa ³	Balance de masa acumulado ³
2009	-1195	-1195
2010	-570	-1765
2011	-42	-1807
2012	860	-947
2013	-861	-1808
2014	-27	-1835
2015	-884	-2719
2016	-513	-3232
2017	340	-2892
2018	656	-2236
2019	384	-1852

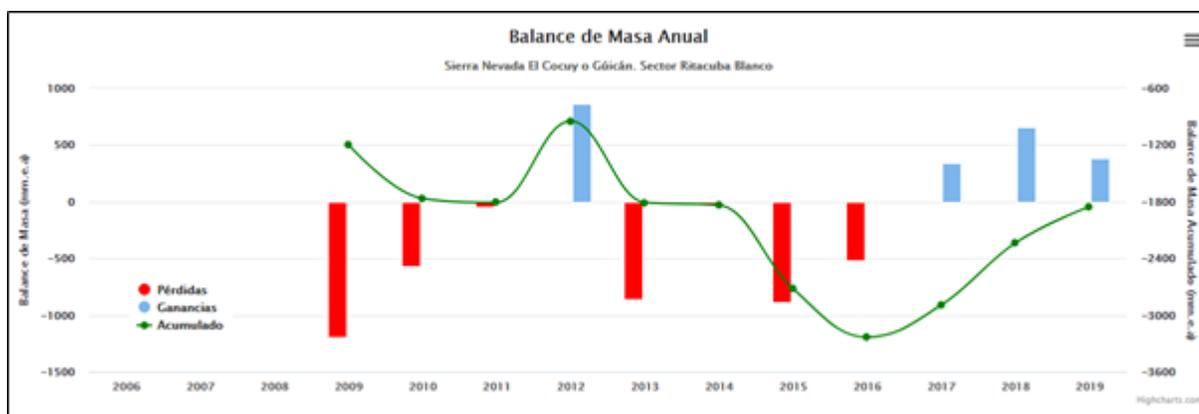
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM-. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de Suelos y Tierras. 2020.

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 pérdidas.
2. Año hidrológico 2009: inicia el 01/01/2009 y finaliza el 31/12/2009
Año hidrológico 2010: inicia el 24/03/2010 y finaliza el 31/12/2010
Año hidrológico 2011: inicia el 17/02/2011 y finaliza el 31/12/2011
Año hidrológico 2012: inicia el 15/03/2012 y finaliza el 31/12/2012
Año hidrológico 2013: inicia el 14/01/2013 y finaliza el 17/02/2014
Año hidrológico 2014: inicia el 17/02/2014 y finaliza el 02/03/2015
Año hidrológico 2015: inicia el 02/03/2015 y finaliza el 23/02/2016
Año hidrológico 2016: inicia el 23/02/2016 y finaliza el 13/02/2017
Año hidrológico 2017: inicia el 13/02/2017 y finaliza el 14/02/2018
Año hidrológico 2018: inicia el 14/02/2018 y finaliza el 23/02/2019
Año hidrológico 2019: inicia el 23/02/2019 y finaliza el 02/12/2019
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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 94 de 110

Balace de masa, Glaciar Ritacuba Blanco (Sierra Nevada El Cocuy o Güicán)



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

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.)

7.2 Gestión de la publicación de productos de difusión / comunicación

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.

Sumado a ello, se presentan los 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 temático)	Producto publicado acorde con calendario de difusión

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 95 de 110

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

7.3 Promoción de productos de difusión / comunicación

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).

7.4 Gestión de soportes de usuarios

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).

7.5 Evaluación de la difusión

Aplicación de indicadores de evaluación diseñados. Para la fase de difusión son:

Indicadores Fase 7. 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	Informe anual del estado de los glaciares de estudio, publicado. Informe periódico del estado de los glaciares colombianos publicado (si aplica), publicado. Indicador ambiental Balance de Masa glaciar, publicado.	Anual	Profesionales a cargo del monitoreo glaciar

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 96 de 110

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)
--	---	--	-------	--

8. FASE 8. EVALUACIÓN

8.1 Concentración de insumos para la evaluación

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

8.2 Evaluación

La evaluación se enmarca en la aplicación del siguiente indicador:

Indicador Fase 8. Evaluación

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)

8.3 Determinación de un plan de acción

Con base en los resultados de la evaluación se generan acciones a implementar dentro del proceso estadístico del siguiente año glaciológico. Estas acciones de mejora se consolidan en el plan de acción anual (PAA) de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA "BALANCE DE MASA GLACIAR"	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 97 de 110

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.

Adicionalmente, se dispone de indicadores operativos y de calidad para evaluar el desarrollo de cada una de las fases y determinar en qué medida se logra 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.

A continuación, se presenta una matriz general de indicadores aplicados en cada etapa del proceso estadístico:

Indicadores de las fases del proceso estadístico BMG

Fase	Indicador	Objetivo del Indicador	Documentos y/o registros soporte
Fase 1. Detección y análisis de necesidades	Necesidades de información glaciológica confirmadas. (No. necesidades de necesidades atendidas / No. necesidades allegadas)	Identificar las necesidades de información glaciológica y confirmar la oportunidad en respuesta.	Formato Caracterización de usuarios de información glaciológica, diligenciado.
	Planeación operación estadística BMG (Programación física y presupuestal de la Operación estadística).	Establecer los aspectos necesarios para una planeación efectiva del proceso.	Plan general de la operación estadística BMG. Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística balance de masa glaciar, diligenciado.
	Interacción con usuarios (Aplicación de encuesta a usuarios internos y externos)	Identificar y confirmar necesidades de información glaciológica. Analizar si en algún momento es necesario el rediseño de la operación estadística.	Aplicación de Encuesta

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.	Documento Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar. Actas de reunión y/o entrenamiento
	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.
	Hoja de cálculo Excel del BMG		Hoja de cálculo Excel actualizada
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.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

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

Código: M-GCI-M029

Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 99 de 110

Fase 5. Procesamiento	Hoja de cálculo Excel del BMG diligenciada post-campo.	Verificar el desarrollo de actividades que garantizan 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 cálculo Excel 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 Excel del BMG.
Fase 7. Difusión	Publicaciones anuales de BMG (No. de documentos publicados sobre BMG / documentos planeados para publicación sobre BMG)	Verificar la disposición de la información estadística generada como resultado de la operación estadística, a los usuarios y partes interesadas, a través de los medios de divulgación establecidos.	Informe anual del estado de los glaciares de estudio, publicado. Informe periódico del estado de los glaciares colombianos publicado (si aplica), publicado. Indicador ambiental Balance de Masa glaciar, publicado.
Fase 8. Evaluación	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.
	Indicadores (acción de mejora) Evaluación y seguimiento de la OE BMG (No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación ejecutados / No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación planeados).	Identificar y priorizar las posibles acciones de mejora, a partir de la retroalimentación por parte del grupo técnico de trabajo, usuarios y partes interesadas.	Acta de Reunión / Lista de asistencia de las mesas realizadas. Informe acciones de mejora

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 100 de 110

		<i>Espacios previstos:</i> 1. Reunión anual de evaluación - Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. 2. Mesa técnica de socialización de resultados con las dependencias u oficinas del IDEAM. 3. Mesa de expertos.	
	Nivel de satisfacción de necesidades	Verificar la satisfacción de necesidades de los usuarios y partes interesadas, a través de la aplicación de encuestas.	Encuesta de satisfacción aplicada. Informe satisfacción de necesidades

ANEXO: GLOSARIO GLACIOLÓGICO

A partir de conceptos estandarizados de referencia internacional como el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS por sus siglas en inglés), el 'Método de Observación de Glaciares en los Andes Tropicales' del Instituto francés de Investigación para el Desarrollo IRD y el 'Glosario de balance de masa y términos relacionados' del Programa Hidrológico Internacional-(PHI-UNESCO) y la Asociación Internacional de Ciencias Criosféricas (IACS por sus siglas en inglés); la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental dispone del siguiente glosario glaciológico para el proceso estadístico de la operación estadística Balance de Masa Glaciar.

- **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).
- **ALBEDO:** la proporción de luz solar (radiación solar) reflejada por una superficie u objeto, normalmente expresada como porcentaje. Las nubes, la nieve y el hielo tienen usualmente alto nivel de albedo (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.
- **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).
- **BALANCE DE ENERGÍA:** el cambio en la cantidad de energía almacenada en un volumen, definido por los flujos de energía a través de los límites de dicho volumen. Por ejemplo, un cambio en la cantidad de energía

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 101 de 110

almacenada debido a la advección o conducción de calor, o a la absorción o emisión de radiación; resultará en un cambio de temperatura, de fase o ambas cosas, del material en dicho volumen (Cogley et.al., 2011).

- **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).
- **BALANCE DE MASA ACUMULADO:** la suma del balance de masa en cualquier periodo de tiempo, normalmente desde la primera medición. (no encontré una cita específica de este concepto en las fuentes)
- **BALANCE DE MASA ANUAL O NETO:** balance de masa que representa la suma de la acumulación y la ablación a lo largo de un año hidrológico (Cogley et.al., 2011).
- **BALANCE DE MASA ESPECÍFICO:** balance de masa para un punto cualquiera del glaciar, por ejemplo, una baliza o un pozo o calicata (Cogley et.al., 2011).
- **BALANCE DE MASA TOTAL O PONDERADO:** balance de masa integrado a toda la superficie o área del glaciar después de un proceso de interpolación (Rivera et.al, 2016).
- **BALIZA O ESTACA DE ABLACION:** 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 sensor 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).
- **CAMBIO DE SUPERFICIE:** diferencia aritmética entre dos datos numéricos de superficie glaciar en dos momentos diferentes de tiempo para la misma área glaciar (IDEAM, 2020)
- **CAMPAÑA DE MEDICIÓN GLACIOLÓGICA:** trabajo de campo planificado en detalle ya que, generalmente, los lugares de trabajo en campo se encuentran distantes de centros poblados y en caso de accidentes o cualquier otro imprevisto la asistencia se hace complicada. Para las campañas de medición se deben llevar a cabo reuniones previas para definir las tareas que se realizarán en el terreno para poder cumplir la misión del trabajo (Rivera et.al, 2016).
- **CRIÓSFERA:** 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).
- **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).
- **EQUIVALENTE DE AGUA:** unidad extensiva al sistema métrico internacional, expresada en metros (m e.a) o milímetros equivalentes de agua (mm e.a), utilizada para describir la masa del glaciar en unidades específicas

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 102 de 110

equivalentes a la densidad del agua. El equivalente de agua se obtiene dividiendo una masa particular de una unidad de área por la densidad del agua (Cogley et.al., 2011).

- **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).
- **FLUCTUACION GLACIAR:** cambios en los glaciares a través del tiempo, relacionados con la longitud, la superficie, grosor, volumen y masa del cuerpo de hielo (Cogley et.al., 2011).
- **FRENTE GLACIAR (terminus):** extremo altitudinalmente más bajo del glaciar. El término se aplica principalmente a glaciares con lenguas bien definidas y corrientes de hielo (Cogley et.al., 2011).
- **FUSIÓN:** proceso por el cual un sólido cambia de fase a estado líquido. Es un sinónimo de derretimiento (Cogley et.al., 2011).
- **GLACIOLOGÍA:** el estudio de todas las formas con que el hielo se presenta en la naturaleza – nieves, glaciares, hielo en el mar, en lagos y ríos, en suelos helados, en la atmósfera – y de la acción o influencia del hielo en los elementos que lo rodean: el suelo, las rocas, el agua, el aire. La glaciología se ocupa, entre otros, del estudio de los procesos internos, las propiedades físicas y la estructura del hielo (o glaciología física), de la interacción entre el hielo, la atmósfera y la hidrosfera (o glaciología hidro-meteorológica) y de la interacción del hielo con la corteza terrestre (glaciología geológico-geomorfológica) (Marangunic, 2008)
- **GLACIAR:** masa perenne de hielo, y posiblemente neviza y nieve, originada en la superficie terrestre por acumulación y compactación de la nieve y que evidencia un flujo en el pasado o en el presente. Típicamente un glaciar gana masa por acumulación de nieve y pierde masa por ablación (IPCC, 2019)
- **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)
- **GNSS (Global Navigation Satellite System):** 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).
- **GRADIENTE DEL BALANCE DE MASA:** índice de actividad del glaciar respecto a la cota altitudinal y las variaciones del clima. En glaciares extensos, el balance de masa tiende a aumentar en función de un gradiente térmico de altura y por lo tanto es relativamente fácil modelar la respuesta a cambios en temperaturas; por el contrario, en glaciares pequeños tienden a primar factores de orden local, sin una distribución espacial muy clara (Cogley et.al., 2011).
- **HIELO AZUL:** hielo glaciar denso que presenta una coloración azul por la ausencia de burbujas de aire. La estructura cristalina absorbe todos los colores excepto la parte azul del espectro visible (Cogley et.al., 2011).
- **HIELO GLACIAR:** hielo que hace parte de un glaciar y que, a través 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).
- **HIELO MUERTO:** cualquier parte de un glaciar que no fluya a un ritmo detectable. Sinónimo de hielo estancado.
- **LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO:** técnica y ciencia de determinar con precisión la posición tridimensional de puntos en un glaciar, de manera que se puedan establecer distancias y diferencias de cotas. Los levantamientos topográficos establecen la ubicación y la cota de puntos en un glaciar, de manera de poder establecer distancias y diferencias de cotas entre puntos, y las diferencias tras un periodo de tiempo en el posicionamiento de un mismo punto (Marangunic, 2008).
- **LÍNEA DE NIEVE:** Serie de puntos que forman el límite inferior de un área nevada respecto a superficies de neviza o hielo; que a su vez separan la zona de acumulación de la zona de ablación. La línea de nieve suele ser

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 103 de 110

fácil de ver, porque la nieve sobre ella es más brillante que la nieve o el hielo que está por debajo. Cuando no hay hielo superpuesto, la línea de nieve coincide con la línea de equilibrio (Cogley et.al., 2011).

- **LÍMITE DEL GLACIAR:** La línea que separa el glaciar del terreno sin hielo. El término a menudo es un sinónimo de margen, contorno o frente glaciar, pero puede ser útil para tener una palabra específica que abarca toda la superficie del glaciar (Cogley et.al., 2011).
- **LÍNEA DE EQUILIBRIO (Equilibrium-line altitude ELA):** 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)
- **LÍNEA DE EQUILIBRIO ANUAL:** línea de equilibrio después de un año hidrológico. Cuando no hay hielo superpuesto, la línea de nieve anual puede ser muy aproximada a la línea de equilibrio anual (Cogley et.al., 2011).
- **LÍNEA DE EQUILIBRIO MENSUAL:** línea de equilibrio transitoria, particularmente usada en la época de ablación (Cogley et.al., 2011). En Colombia se estima la línea de equilibrio mensual para periodos intraanuales, generalmente mensuales o bimestrales.
- **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).
- **MÉTODO HIDROLÓGICO:** un método para determinar el balance de masa indirectamente, estimando el balance hídrico por tanto el almacenamiento en una cuenca de drenaje en función de la precipitación (sólida y líquida), evapotranspiración y el agua de fusión o escorrentía (Cogley et.al., 2011).
- **NEVIZA:** estado intermedio entre nieve y hielo. Es la nieve que ha sobrevivido al menos una temporada de ablación, pero aún no se considera hielo glaciar. Convencionalmente se entiende la densidad de la neviza entre 400 y 830 kg m⁻³ (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).
- **NIVOMETRÍA:** descripción y clasificación sistemática de una cobertura de nieve, normalmente estacional y no perenne, de acuerdo con su morfología, procesos de formación u otros atributos (Cogley et.al., 2011).
- **PEQUEÑA EDAD DE HIELO (Little Ice Age-LIA):** Un período de mayor masa y extensión glaciar, en relación con los períodos anteriores y siguientes, que significó un aumento del espesor y la extensión de los glaciares a altitudes más bajas que en la actualidad. En diferentes regiones de la Tierra, en ambos hemisferios, la Pequeña Edad de Hielo comenzó y terminó en diferentes épocas, comenzando tan temprano como alrededor del año 1300 y terminando tan tarde como alrededor de 1900 (Cogley et.al., 2011).
- **PERFORACIÓN:** actividad para la instalación de balizas o estacas de ablación, mediante la cual se utiliza una perforadora de hielo (Rivera et.al, 2016).
- **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).
- **PRECIPITACIÓN SÓLIDA:** Precipitación que cae en estado sólido, por ejemplo, aguanieve, nieve o granizo (Cogley et.al., 2011).
- **PROGLACIAR:** Pertenece a un objeto en contacto físico con o cerca del margen del glaciar (Cogley et.al., 2011).
- **PROPORCIÓN DE ÁREA DE ACUMULACIÓN o AAR (Accumulation - area ratio):** relación, generalmente porcentual, entre la zona de acumulación y el total del área glaciar (Cogley et.al., 2011).

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 104 de 110

- **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 Pouyaud, 2004).
- **RETROCESO GLACIAR:** disminución de la longitud de una línea de flujo (frente glaciar), medida desde un punto fijo en el terreno. En la práctica, cuando el retroceso es de un glaciar que termina en tierra, este punto fijo o marca de retroceso, suele ser más abajo del frente glaciar, es decir, un área sin glaciar que colinda con el margen del glaciar (Cogley et.al., 2011).
- **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.
- **SUBLIMACIÓN:** proceso por el cual un sólido cambia de fase directamente a estado gaseoso sin fundirse (Cogley et.al., 2011).
- **SUPERFICIE O 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).
- **TOPOGRAFÍA GLACIAR:** medidas de distribución del área glaciar con la altitud (elevación) de la superficie o el resultado de dichas medidas (Cogley et.al., 2011).
- **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).

DOCUMENTOS RELACIONADOS

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

Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, versión 1.

https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estadistico.pdf

Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico (NTCPE 1000)

https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/NTC_Proceso_Estadistico.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. *Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, Versión 2.* (2020), disponible en

https://www.sen.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estad%3%ADstico_v2.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-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 105 de 110

----- *Guía para la elaboración del documento metodológico de operaciones estadísticas.* (2020), disponible en https://www.sen.gov.co/files/sen/lineamientos/Guia_Documento_Metodol%C3%B3gico.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

----- *Condiciones para la evaluación y certificación de la Calidad Estadística.* (2018), disponible en <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), disponible en 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), disponible en 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), disponible en https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/NTC_Proceso_Estadistico.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

BIBLIOGRAFÍA

- Ceballos J., Ospina J, Rojas F. 2020. Informe del estado de los glaciares colombianos 2019. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.
- Ceballos, J. L., Rodríguez Murcia, C. E., & Real-Núñez, E. L. (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
- 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].

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 106 de 110

- 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].
- 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:
- Heucke, Erich. (1999). A light portable steam-driven ice drill suitable for drilling holes in ice and firn. *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. (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>

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 107 de 110

- 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.
- 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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “BALANCE DE MASA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 108 de 110

- 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
- Schoolmeester, T., Johansen, K.S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M., y Verbist, K., 2018. Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. UNESCO y GRID-Arendal.
- 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.
- 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., GärtnerRoer, 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.), ISC(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-M029
		Versión: 01
		Fecha: 04/06/2021
		Página: 109 de 110

RELACIÓN DE AUTORES Y VERSIÓN DE LA GUÍA

En este ítem debe relacionarse los ajustes, la versión, los autores y las fechas en las que se han hecho modificaciones al documento elaborado por cada una de las operaciones estadísticas en preparación.

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
04/06/2021	1,0	Jorge Luis Ceballos Liévano Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental jceballos@ideam.gov.co José Alejandro Ospina Niño Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental jospina@ideam.gov.co Leslie Briyith Sacristán Vega Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental lsacristan@ideam.gov.co 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.	Elaboración del documento metodológico



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

**METODOLOGÍA
DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA
"BALANCE DE MASA GLACIAR"**

Código: M-GCI-M029

Versión: 01

Fecha: 04/06/2021

Página: 110 de 110

ELABORÓ:

Jorge Luis Ceballos Liévano
Profesional Especializado

Jose Alejandro Ospina Niño
Contratista

Leslie Briyith Sacristán Vega

Contratista

REVISÓ:

Jhonatan Danilo Uasapud García
Coordinador Grupo de Monitoreo de
Alta Montaña

APROBÓ:

Ana Celia Salinas Martin
Subdirectora de Ecosistemas e
Información Ambiental