
 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 1 de 16



IDEAM

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

PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR”

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 2 de 16

DESARROLLO

1. IDENTIFICACIÓN Y CONFIRMACIÓN DE NECESIDADES

Nombre de la operación estadística

ÁREA Y CAMBIO DE COBERTURA GLACIAR (ACCG)

Identificación de usuarios y necesidades de información

El IDEAM establece mecanismos e instrumentos para la detección y análisis de usuarios y necesidades de información glaciológica. Este reconocimiento y caracterización inicia por medio del Grupo de Servicio al Ciudadano, que en un proceso interno selecciona, depura y caracteriza las necesidades provenientes de usuarios externos (PQRS). Complementariamente recolecta e identifica los usuarios y necesidades de información glaciológica por medio de la herramienta de encuesta.

La información obtenida a través de PQRS, aplicación de encuesta, correo electrónico, o cualquier otro canal de atención dispuesto por el IDEAM; se documenta en los formatos de *Caracterización de necesidades de información glaciológica* y *Directorio de usuarios de información glaciológica*.

Usuarios y necesidades internas


La información estadística de la operación puede y ha sido usada en diferentes informes y comunicaciones eventuales de la entidad productora. A continuación, se reseñan los principales productos que presentan necesidades periódicas internas (IDEAM) de la información de la operación:

- Estudio Nacional del Agua (ENA)
- Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IERNR)
- Comunicación Nacional de Cambio Climático
- Mapa Nacional de Coberturas de la tierra

Usuarios y necesidades externas

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

A nivel internacional, los datos del IDEAM son la fuente oficial para la información recopilada en la Red terrestre mundial para glaciares (Global Terrestrial Network for Glaciers GTN-G). Esta red es el marco existente para el monitoreo internacional coordinado de glaciares en apoyo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 3 de 16

Climático (CMNUCC). Es administrada conjuntamente por el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS por sus siglas en inglés), el Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo de EE. UU. (NSIDC por sus siglas en inglés) y la iniciativa de Mediciones Globales de Hielo Terrestre de Iniciativa espacial (GLIMS por sus siglas en inglés). La información general de los nevados colombianos concierne a los inventarios de esta red consiste en la actualización de datos generales de los glaciares (World Glacier Inventory) e información geográfica en formato vectorial de los contornos de estos (Randolph Glacier Inventory).

Análisis de las necesidades recolectadas

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


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

2. JUSTIFICACIÓN

Importancia y beneficios para el país

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

En el caso de Colombia, el IDEAM tiene esa 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

	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 4 de 16

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).

Todos los nevados colombianos son estudiados rutinariamente por métodos indirectos con el fin de determinar de manera más exacta y mediante técnicas cuantitativas el área y el cambio de cobertura de la criósfera¹ colombiana. En este sentido, en el año 1997 el IDEAM, junto con la Universidad Nacional realizó los estudios para determinar los datos de las áreas glaciares colombianas para finales de la década de 1990 con los que el país cuenta hasta el día de hoy. Posteriormente, el IDEAM toma como base esta publicación y reedita en el año 2010 el libro ‘Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano’ (IDEAM, 2010). En el año 2012 el IDEAM publicó el libro ‘Glaciares de Colombia: más que montañas con hielo’ (IDEAM, 2012), documento en el que se reafirma mediante la información producida en la operación estadística y de manera oficial, el estado acelerado de retroceso en el que se encuentran las cumbres nevadas del país.

Hoy en día, como integrante del Sistema Estadístico Nacional (SEN) y entidad productora de información estadística, el IDEAM implementa técnicas de estudio glaciológico como el Área y Cambio de Cobertura Glaciar, que permiten evaluar la dinámica y evolución de los glaciares o nevados nacionales. El Área y Cambio de Cobertura Glaciar es una estadística oficial única en todo el país y de importancia mundial, representa el estado actual y la tendencia histórica de la superficie continental colombiana que se encuentra cubierta por hielo glaciar.

Relevancia de los resultados de la operación estadística para la política pública

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


Las operaciones estadísticas de dinámica glaciar del IDEAM son únicas para el país. Es así que, la evidente relevancia del seguimiento a la dinámica de los glaciares en el mundo, refleja la importancia de la información estadística generada; los resultados de estas operaciones estadísticas evidencian a su vez un margen amplio para una mayor difusión y conocimiento de los resultados, que puedan ser usados en un futuro para la toma de decisiones en estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático a nivel de políticas nacionales.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

Objetivo General

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

¹ 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>	<p>PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”</p>	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 5 de 16

Objetivos específicos

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

Alcance temático

El cálculo del área glaciar nacional junto con el área para cada una de las zonas glaciares del país en un periodo determinado de observación, así como su cambio en el tiempo, por medio del uso de productos de sensoramiento remoto en formato digital.

4. CONCEPTOS BÁSICOS, VARIABLES E INDICADORES ESTADÍSTICOS

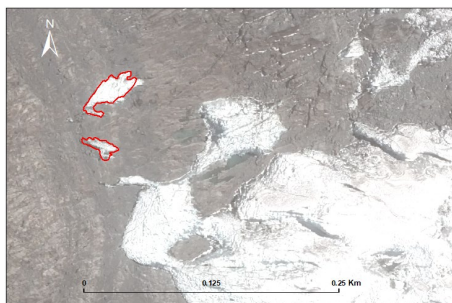
La estimación del Área y Cambio de Cobertura Glaciar consiste en un cálculo periódico de la extensión en el territorio de las masas glaciares del país derivado de imágenes digitales producidas por un sensor remoto. El IDEAM realiza la estimación para los seis glaciares existentes en el territorio nacional, mínimamente con una recurrencia bienal, constituyendo así un inventario nacional de glaciares periódicamente. Por esta razón, la claridad sobre los conceptos básicos a ser utilizados en esta operación estadística debe ser encaminada en dos grandes aspectos: los conceptos glaciológicos y los conceptos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección. Posteriormente se reseñan las variables e indicadores estadísticos de la operación.

Conceptos básicos glaciológicos:

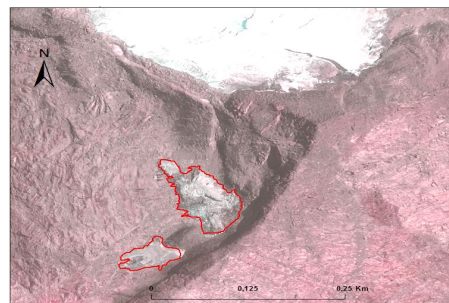
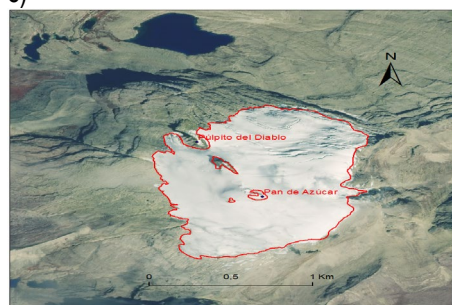
- *Fluctuación glaciar*: cambios en los glaciares a través del tiempo, relacionados con la longitud, la superficie, grosor, volumen y masa del cuerpo de hielo (Cogley et.al., 2011).
- *Fragmento glaciar*: Porción de un glaciar que, por efecto del proceso de derretimiento o por fracturamiento del hielo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

a)

b)



c)



d)

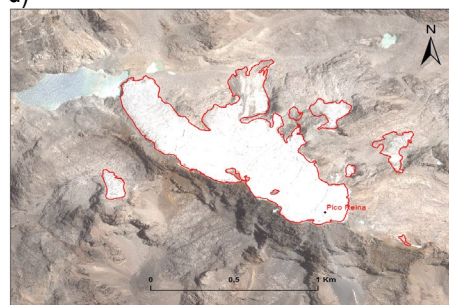


Figura 1. Ejemplos de fragmento glaciar. a), b) y d) Sierra nevada de Santa Marta y d) Sierra nevada El Cocuy o Güicán. Fuente: a), b) y d) IDEAM, imagen de satélite Pleiades, año 2021 y c) IDEAM, imagen de satélite Spot 6, año 2021.

- **Frente glaciar (Terminus):** extremo altitudinalmente más bajo del glaciar. El término se aplica principalmente a glaciares con lenguas bien definidas y corrientes de hielo (Cogley et.al., 2011).
- **Glaciar:** cuerpo de hielo y nieve que cubre un sector de la superficie del planeta. Se caracteriza por tener una zona de acumulación, una de ablación y una línea de equilibrio (IDEAM, 2012).
- **Glaciología:** el estudio de todas las formas con que el hielo se presenta en la naturaleza – nieves, glaciares, hielo en el mar, en lagos y ríos, en suelos helados, en la atmósfera – y de la acción o influencia del hielo en los elementos que lo rodean: el suelo, las rocas, el agua, el aire. (Marangunic, 2008)
- **Hielo glaciar:** hielo que hace parte de un glaciar y que, a través de la compactación y la 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:** Para el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS, por sus siglas en inglés), el Hielo muerto o “Dead ice” es cualquier parte de un glaciar que no fluye a una velocidad detectable (Cogley et.al., 2011).

	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 7 de 16

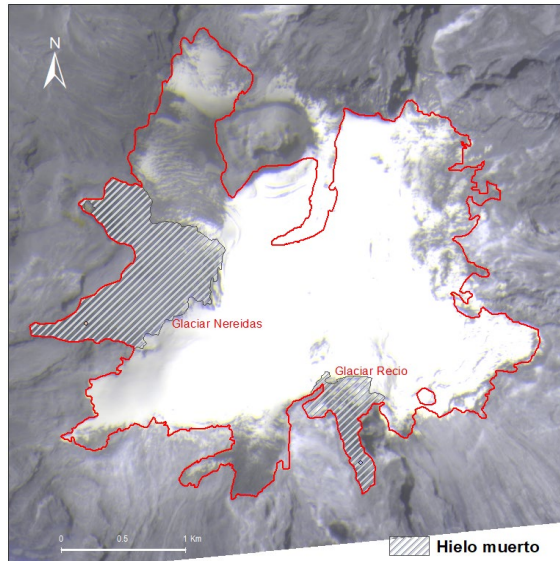



Figura 2. Volcán nevado del Ruiz y sus dos fragmentos de hielo muerto (líneas blancas superpuestas). Fuente IDEAM, imagen de satélite Planet Scope 2021.

- *Límite del glaciar*: línea que separa el glaciar del terreno libre de glaciar (Francou y Pouyaud, 2004).
- *Nieve*: precipitación sólida compuesta de cristales de hielo entrelazados, con espacios ocupados por agua líquida y aire. Convencionalmente se entiende la densidad de la nieve entre 10 y 400 kg m⁻³. (Cogley et.al., 2011).
- *Pequeña Edad de Hielo - PEH (Little Ice Age-LIA)*: Un período de mayor masa y extensión glaciar, en relación con los períodos anteriores y siguientes, que significó un aumento del espesor y la extensión de los glaciares a altitudes más bajas que en la actualidad. En diferentes regiones de la Tierra, en ambos hemisferios, la Pequeña Edad de Hielo comenzó y terminó en diferentes épocas, comenzando tan temprano como alrededor del año 1300 y terminando tan tarde como alrededor de 1900 (Cogley et.al., 2011).
- *Retroceso glaciar*: disminución de la longitud de una línea de flujo (frente glaciar), medida desde un punto fijo en el terreno. En la práctica, cuando el retroceso es de un glaciar que termina en tierra, este punto fijo o marca de retroceso, suele ser más abajo del frente glaciar, es decir, un área sin glaciar que colinda con el margen del glaciar (Cogley et.al., 2011).

Conceptos básicos de SIG y teledetección

- *Análisis multitemporal*: Comparación de imágenes satélite obtenidas a determinados intervalos de tiempo, que permite estudiar fenómenos que implican una variación temporal, como por ejemplo el proceso de retroceso de glaciares. (INAIGEM, 2017)
- *Banda espectral*: Término que designa a una selección de longitudes de onda con comportamientos electromagnéticos similares. (INAIGEM, 2017)
- *Coordenadas*: Cualquier sistema donde los puntos son definidos como una dirección o distancia específica de un punto de referencia medido con respecto a ejes definidos (INAIGEM, 2017).
- *Espectro electromagnético*: Organización de bandas de longitudes de onda o frecuencia desde las más cortas a las más largas (INAIGEM, 2017).

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 8 de 16

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


Variables estadísticas:

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

Indicadores estadísticos

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

- **Área glaciar:**
Permite conocer la extensión de los glaciares del país, presentando desagregación geográfica a nivel nacional y para cada nevado. De esta manera, se obtiene:

	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 9 de 16

- *Área del glaciar i (AG_{it})*: Extensión del glaciar i para el año t , se emplea como unidad espacial de referencia los kilómetros cuadrados (km^2). Definida por:

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

Donde:

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

i : Glaciar.

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

t : año de estudio.

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

j : Número del fragmento del glaciar i .

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

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

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

En donde:

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

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

i : Glaciar.

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

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

t : año de estudio.

- **Variación de la cobertura glaciar:**

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

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

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

Con:

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

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

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

i : Glaciar.

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

t : año de estudio.

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

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

Con:

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

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

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

t : año de estudio.

5. RESULTADOS ESPERADOS


Cálculo y cuadros de salida de los indicadores estadísticos: Área glaciar y Variación de la cobertura glaciar, que incluyen el Área glaciar por nevado (AG_{it}), el Área Glaciar Nacional (AGN), la Variación de la cobertura glaciar por nevado (VCG_i) y la Variación de la cobertura glaciar Nacional (VCGN).

Colombia. Área y Cambio de Cobertura Glaciar ¹ . 1850 ² - 2020															
Año	Sierra Nevada de Santa Marta		Sierra Nevada El Cocuy o Güicán		Volcán Nevado del Ruiz		Volcán Nevado Santa Isabel		Volcán Nevado del Tolima		Volcán Nevado del Huila		Total	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km^2)	Periodo de cambio (años)
	Área glaciar (km^2)	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km^2)	Área glaciar (km^2)	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km^2)	Área glaciar (km^2)	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km^2)	Área glaciar (km^2)	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km^2)	Área glaciar (km^2)	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km^2)	Área glaciar (km^2)	Cambio en la cobertura glaciar respecto al dato anterior (km^2)			
1850 ²	82.6	n/a	148.7	n/a	47.5	n/a	27.8	n/a	8.60	n/a	33.7	n/a	348.9	n/a	n/a
2007	7.70	-74.9	18.6	-130.1	10.0	-37.5	2.60	-25.2	0.93	-7.67	10.8	-22.9	50.7	-288.2	157
2010	8.17	0.47	16.5	-2.10	10.3	0.28	1.91	-0.69	0.75	-0.18	9.70	-1.10	47.35	-3.32	3
2016	7.10	-1.07	14.35	-2.15	9.26	-1.05	1.00	-0.91	0.63	-0.12	7.72	-1.98	40.06	-7.29	6
2017	6.54	-0.56	13.75	-0.60	8.88	-0.38	0.65	-0.35	0.59	-0.04	7.37	-0.35	37.78	-2.28	1
2019	6.22	-0.32	13.47	-0.28	8.39	-0.49	0.52	-0.13	0.55	-0.04	7.13	-0.24	36.28	-1.50	2
2020	5.81	-0.41	13.19	-0.28	8.14	-0.25	0.45	-0.07	0.52	-0.03	6.74	-0.39	34.85	-1.43	1

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

6. EXPLORACIÓN DE FUENTES DE DATOS

Por la naturaleza de los datos producidos en el proceso estadístico y el fenómeno natural estudiado, actualmente no existen otras operaciones estadísticas en el SEN y en otra entidad de alcance nacional que produzcan información estadística parecida ni que satisfaga las necesidades identificadas alrededor del estado y la tendencia del área de todos los glaciares colombianos en el país.

	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 11 de 16

La principal característica de esta operación es que es única en su tipo, por ello la entidad productora es la única con disponibilidad de datos con este alcance temático. En vista de la exclusividad y carácter único y especial de los datos producidos, la OE ACCG tiene varias características que permiten concluir lo siguiente:

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

Determinación de la fuente de datos

El tipo de operación estadística es censal y la fuente de información es primaria. De acuerdo con el objeto de estudio (los nevados Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruíz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Nevado del Huila, ubicados en el territorio colombiano), es necesario contar con imágenes satelitales multiespectrales. Las mismas conforman una fuente de datos primaria provenientes de sensores remotos, constituyendo una fuente idónea para monitorear las variables que se mantienen en el tiempo con cobertura nacional (calidad de consistencia y completitud). Eventualmente, se usa como material complementario imágenes de radar y fotografías aéreas digitales a gran y baja altura.

7. EXPLORACIÓN METODOLÓGICA

Metodología a desarrollar

En términos generales, la técnica empleada busca realizar una delimitación de los glaciares de Colombia a partir de imágenes remotas digitales, esto con el fin de realizar un análisis multitemporal de cobertura glaciar, para determinar cuánto ha sido el retroceso de estas superficies. Para realizarlo se utilizan principalmente imágenes satelitales o aerofotografías multiespectrales.

En resumen, la técnica consiste primeramente en la determinación del área de estudio (zonas que comprendan la ubicación de las seis zonas glaciares), posteriormente la selección y obtención de imágenes, seguidamente el procesamiento de las imágenes que permita la generación de capas vector de las áreas glaciares y finalmente el análisis de los resultados.

En primer lugar, la determinación de las áreas de estudio está enfocada en abarcar geoespacialmente cuadrantes que comprendan las áreas glaciares teniendo en cuenta sus coordenadas geográficas así:

	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 12 de 16

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

En segundo lugar la selección y obtención de imágenes depende de factores que constituyen criterios mínimos tales como calidad de la imagen (resolución espacial, espectral y radiométrica), baja o nula nubosidad, baja o nula presencia de nieve y preferiblemente una fecha de adquisición en temporada seca.


Por su parte, el procesamiento de estas imágenes se realiza mediante dos pasos principales. un método de clasificación automática denominado *ratio band* y posteriormente un método de clasificación o delimitación manual de cada imagen para obtener resultados más precisos. Diferentes estudios de retroceso glaciar se han realizado alrededor del mundo, donde aplican técnicas para diferenciar cuerpos de nieve presentes en la superficie terrestre, pero la técnica de *ratio band* (relación de bandas) es la más utilizada por la exactitud a la hora de lograr diferenciar las superficies glaciares de los demás elementos del terreno.

La técnica de relación de bandas consiste en obtener el cociente entre dos bandas con información espectral diferente. Para el caso de la delimitación de glaciares, se utiliza generalmente una banda como la del rojo visible (alrededor de 0.65 micras) en la que la respuesta radiométrica de las superficies glaciares tiene alta reflectancia y una banda donde las superficies glaciares tiene muy baja reflectancia, normalmente un segmento de la longitud de onda del infrarrojo de onda corta (1.60 micras aproximadamente). Esta metodología de relación de bandas realiza una muy buena discriminación entre coberturas de hielo, nieve, suelo y roca y también es un método muy útil a la hora de diferenciar las sombras presentes en las superficies glaciares, así como diferenciar las nubes de superficies con nieve.

Posteriormente, con el fin de lograr resultados de mayor precisión y debido a condiciones locales de nuestros glaciares como la cobertura de hielo por roca o ceniza, se entiende necesario complementar y corregir los resultados de la interpretación. Por esta razón se realiza una delineación manual del área glaciar de las imágenes digitales y/o aerofotografías. Se entiende la delineación manual cómo la digitalización en la pantalla de un monitor de aerofotografías o imágenes satelitales basada en la interpretación visual de áreas cubiertas de nieve o glaciar, por parte de intérpretes y a juicio de expertos, utilizando un conjunto de elementos como: textura, tamaño, color, patrón y conocimiento de la zona, aplicados individualmente o en conjunto. Es así que la delineación manual es el método por excelencia para la interpretación de las áreas glaciares.

Método e instrumento de recolección

La recolección de insumos consiste en la gestión para la búsqueda y obtención de imágenes satelitales que cumplan con requisitos mínimos de calidad para el desarrollo de la metodología de levantamiento de la delimitación y áreas glaciares. En un segundo momento, se deben llevar a cabo los pasos de digitalización de las áreas glaciares con el fin de recolectar objetos espaciales o datos vectoriales en capas, producto de la delimitación de áreas glaciares.

	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 13 de 16

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

- En imágenes ópticas para metodología de relación de bandas o *band ratio* se requiere: resolución espectral mínima de 4 bandas y resolución radiométrica mínima desde el espectro visible (0.4 a 0.7 μm aproximadamente) hasta una porción de infrarrojo de onda corta o *Short-wave infrared – SWIR* con valores entre 1,56 y 1.65 μm .
- En imágenes utilizadas para metodología de delimitación manual se requiere una resolución espacial mayor o igual a 5 metros.
- Baja o nula presencia de nieve estacional.
- Baja o nula cobertura por nubes.
- Cobertura geográfica de las zonas glaciares presentes en las áreas de estudio antes descritas

En cuanto a los datos vectoriales, se lleva a cabo un control y supervisión por parte del líder temático de la operación mediante el diligenciamiento del instrumento de recolección.

Instrumento de recolección apropiado

La recolección de información para la medición de las variables parte de la interpretación al momento de la escogencia de las imágenes que representan las unidades de observación y continúa con la delimitación o digitalización de áreas glaciares. Esta interpretación, que permite la recolección de datos, se registra mediante el diligenciamiento del instrumento de recolección: *Formato de recolección de imágenes y delimitaciones de los glaciares colombianos*.


Infraestructura requerida

Los aspectos técnicos, tecnológicos e informáticos requeridos para la recolección, procesamiento, análisis y difusión consisten, de manera general, en:

- Personal profesional idóneo y con conocimiento y experiencia en el procesamiento de imágenes digitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Personal profesional idóneo y con conocimiento y experiencia en monitoreo glaciar
- Capacidad informática y ofimática básica. Suministro y mantenimiento de equipos de cómputo.
- Programas computacionales para procesamiento, análisis y almacenamiento (Microsoft Office, ArcGis, Erdas, Qgis, etc.).
- Productos de sensoramiento remoto que cumplan con características mínimas de calidad según corresponda: resolución espacial, resolución espectral y cobertura por nubes que permitan la correcta delimitación de los glaciares.

Pruebas previstas


Con el fin de probar el funcionamiento del diseño de la operación estadística se prevé la realización de pruebas de funcionamiento a los instrumentos de recolección y las herramientas tecnológicas requeridas, las cuales se especifican en la fase de diseño del documento metodológico de la operación.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 14 de 16

8. DIAGNÓSTICO DEL MARCO ESTADÍSTICO

El marco estadístico para la operación “Área y Cambio de Cobertura Glaciar” corresponde a un marco censal, conformado por las masas glaciares actuales del territorio colombiano: Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada el Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado Santa Isabel, Volcán Nevado Tolima y Volcán Nevado del Huila. La naturaleza y conformación de este marco estadístico permite establecer completitud (todas las unidades del marco o nevados disponen de datos), actualización (no puede haber sobre o subcobertura al haber plena seguridad que se tiene en cuenta todos los nevados colombianos), cobertura geográfica y la no existencia de duplicidades (las unidades que componen el marco están incluidas una sola vez). A continuación, se dispone el marco de lista, conformado por todas las entidades geográficas objeto de estudio, las cuales se describen de manera detallada:

- Sierra Nevada de Santa Marta:** Macizo montañoso periférico, localizado en el norte del país entre los departamentos del Magdalena, Cesar y La Guajira. Sus características generales son: su forma piramidal, longitud 150 km, base de 80 km², superficie de 17.000 km² aproximadamente. El rasgo más notable de la orografía de la Sierra Nevada de Santa Marta son sus picos nevados, en los que se pueden distinguir dos sectores, el de Bolívar-Colón y el de Ojeda-Nevaditos-Codazzi; en el primero se encuentran las máximas alturas del país que son los picos Simón Bolívar y Cristóbal Colón (5.775 m), a los cuales se ha denominado La Horqueta debido a la cercanía en que se encuentran entre sí; en este grupo también está el Simons (5.560 m). En el segundo sector están los picos Ojeda (5.490 m), Nevaditos (5.375 m), Codazzi (5.150 m) y Guardián (5.235 metros sobre el nivel del mar). En lo referente a glaciares, estos se concentran alrededor de las crestas más altas. Las terminaciones de los glaciares o de las lenguas por lo general no alcanzan abajo de los 4.500 m. Los indígenas designan a la Sierra Nevada de Santa Marta con el nombre de Gonawindua y Chinundúa (IGAC, 2023b).
- Sierra Nevada Cocuy:** Sierra Nevada de la cordillera Oriental, entre los municipios de El Cocuy, Güicán de la Sierra, Chita, La Salina y Tame, departamentos de Boyacá, Casanare y Arauca. Se localiza entre los 06° 21' y 06° 34' de latitud norte y 72° 15' y 72° 20' de longitud oeste. Constituye la única altura nevada de la cordillera Oriental, ya que sobrepasa los 5.000 metros sobre el nivel del mar. El punto más prominente, y también de la cordillera Oriental, es el alto Ritacuba Blanco, con 5.380 metros sobre el nivel del mar. Entre los 25 picos nevados de la sierra nevada del Cocuy se destacan el Pan de Azúcar (5.100 m), El Toti (4.900 m), El Pulpito del Diablo (5.000 m), el Concavito (5.100 m), San Pablín Sur (5.180 m), San Pablín Norte (5.200 m), El Castillo (5.100 m), Ritacuba Negro (5.350 m) y Ritacuba Norte (5.200 m). (IGAC, 2023c).
- Volcán Nevado del Ruiz:** Volcán Nevado de la cordillera Central, entre los municipios de Villamaría, Casabianca, Villahermosa y Murillo, departamentos de Caldas y Tolima, localizado a los 04°54' de latitud norte y 75°19' de longitud oeste. Presenta una altura de 5.310 metros sobre el nivel del mar. (IGAC, 2023d).
- Volcán Nevado Santa Isabel:** Nevado de la cordillera Central, entre los municipios de Villamaría, Murillo, Santa Isabel, Pereira y Santa Rosa de Cabal, departamentos de Caldas, Tolima y Risaralda. Localizado a los 04° 47' de latitud norte y 75° 24' de longitud oeste, tiene una altura aproximada de 4.965 metros sobre el nivel del mar. (IGAC, 2023e).
- Volcán Nevado del Tolima:** Nevado de la cordillera Central, entre los municipios de Ibagué y Anzoátegui, departamento del Tolima. Tiene una altura aproximada de 5.321 metros sobre el nivel del mar y una altitud mínima de glaciar de 4.650 metros sobre el nivel del mar. Está localizado a los 04° 39' de latitud norte y 75° 22' de longitud. (IGAC, 2023f).

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 15 de 16

- **Volcán Nevado del Huila:** Volcán Nevado de la cordillera Central, perteneciente al conjunto de los nevados y glaciares de Colombia. Está localizado 2° 55' de latitud norte y a los 76° 03' de longitud oeste, en el límite de los departamentos del Huila, Cauca y Tolima. Geológicamente. El nevado del Huila representa la máxima altura del sistema andino colombiano; sus puntos más altos de sur a norte están a 5.469 m, 5.631 m y 5.516 m. (IGAC, 2023g).

9. PLAN DE ACTIVIDADES, CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO

Como parte integral del plan general se establece un plan de actividades por fases para el desarrollo de la operación estadística con su respectivo cronograma, el cual se encuentra como anexo y parte de los documentos de la operación estadística Área y cambio de cobertura glaciar. Este se documenta en el formato *Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística área y cambio de cobertura glaciar*. El presupuesto general de las fases de la operación estadística Área y cambio de cobertura glaciar se contempla en el formato *Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación Área y cambio de cobertura glaciar*, el cual hace parte integral del presente documento.

10. DOCUMENTOS RELACIONADOS


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

DANE. *Guía para la elaboración del plan general de las operaciones estadísticas*. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/lineamientos> [fecha de consulta: 31 de enero de 2022]

IDEAM. *M-GCI-G002 Guía de elaboración del plan general para las operaciones estadísticas*. Recuperado de: <http://sqi.ideam.gov.co/generacion-de-conocimiento>

11. BIBLIOGRAFÍA

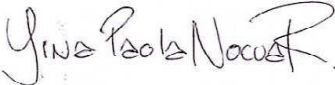


- Cogley, G., Hock, R., Rasmussen, A., Arendt, A., Bauder, A., Braithwaite, R., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson, L. y Zemp, M. (2011). Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, COGLEY ET.AL.-IHP. Paris.
- Francou y Pouyaud. (2004). Métodos de observación de glaciares en los Andes Tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento de datos. Great Ice. IRD. Francia
- IDEAM (2010). Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 252 p., 2 anexos, 26 planchas en DVD

	PLAN GENERAL PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA “SUPERFICIE Y CAMBIO DE ÁREA GLACIAR”	Código: M-GCI-E-M032
		Versión: 03
		Fecha: 21/12/2023
		Página: 16 de 16

- IDEAM (2012). *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo*. IDEAM. Bogotá. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2012. Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 344p
- INAIGEM. (2017). Manual metodológico de inventario nacional de glaciares. Instituto Nacional de investigación en glaciares y ecosistemas de montaña - INAIGEM. Huaraz, Perú. 126p.
- IPCC. (2019). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Marangunic, C. (2008). Manual de Glaciología. Volumen 2. Geoestudios LTDA, Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile. Santiago
- 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.

12. HISTORIAL DE CAMBIOS

Versión	Fecha	Descripción
1.0	01/08/2022	Creación del Plan General
2.0	06/06/2023	Ajustes en los Conceptos básicos
3.0	21/12/2023	Ampliación del numeral 8. diagnóstico del marco estadístico

ELABORÓ:  Yina Paola Nocua Ruge Contratista Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	REVISÓ:  Jorge Luis Ceballos Liévano Profesional Especializado Subdirección de Ecosistemas e Información	APROBÓ:  Lina María Caballero Villalobos Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental
--	---	--