



1. Introducción

El IDEAM, en cumplimiento de su función específica de “realizar el levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país”, incluye la recopilación, análisis y divulgación de información sobre la dinámica de los glaciares nacionales. Estos se consideran un sistema natural único, con tendencia a su reducción espacial y como indicadores del cambio climático actual que experimenta el planeta. Esta labor se desarrolla en la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, específicamente en el Grupo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña.

El análisis de balance de masa glaciar permite determinar el estado y comportamiento de un glaciar, y es una técnica empleada a nivel mundial y desde hace varias décadas. Este cálculo evalúa, en periodos de tiempo sucesivos, las pérdidas y ganancias de masa en el sistema glaciar.

En el mundo, cerca de 163 glaciares distribuidos en más de 40 países son monitoreados periódicamente mediante balances de masa, utilizando diversos métodos (World Glacier Monitoring Service [WGMS], 2020). Entre ellos, el más común es el método directo, que implica mediciones en campo con instrumentos instalados sobre el hielo, conocidos como estacas o balizas, que permiten registrar cambios en la superficie glaciar. A modo de símil, su función puede compararse con la de un limnómetro en una corriente de agua líquida.

Dada la diversidad climática, topográfica, y las condiciones de acceso a los glaciares presentes en el país, han sido seleccionado dos zonas para el desarrollo de este cálculo: el glaciar Santa Isabel (sector Conejeras, 4°48'56.9"N 75°22'08.6"W; 4945 m, y sector El Hongo, 4°49'06.0"N 75°21'56.0"W; 4935 m) y la Sierra Nevada de El Cocuy (sector Ritacuba Blanco, 6°29'42.9"N, 72°18'48.1"W; 5380 m.). Estas mediciones se han realizado mediante el método directo desde el 2006 en la zona del Volcán Nevado Santa Isabel, y desde 2009 en la Sierra Nevada de El Cocuy.

Los cálculos realizados para estas zonas de estudio han sido divulgados a lo largo del territorio nacional, a través de la página web institucional (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2020), así como en reportes a nivel internacional a través de la base de datos del WGMS desde 2009, y con periodicidad anual. Los datos reportados incluyen las mediciones intraanuales realizadas en los glaciares en monitoreo, dada la frecuencia bimestral del monitoreo.

El presente documento tiene como finalidad presentar el procedimiento para el cálculo y procesamiento de los datos primarios recolectados para la obtención



de los datos balance de masa glaciar, relacionado con la operación estadística. En esta guía se delimita y detallan los prerequisites para el cálculo del balance de masa, el uso de cada una de las hojas presentes en el libro de cálculo y el proceso de cálculo del área glaciar usada en el procesamiento del balance de masa glaciar.

2. Objetivo

Establecer la metodología para el procesamiento de los datos de balance de masa glaciar recolectados de campo, por el método directo para el Volcán Nevado Santa Isabel (sector El Hongo) y la Sierra Nevada El Cocuy (sector Ritacuba Blanco), utilizando las herramientas de procesamiento definidas por la operación estadística de balance de masa glaciar.

3. Alcance

Esta Guía presenta el desarrollo de la metodología para el cálculo matemático del balance de masa glaciar para un periodo de observación cualquiera y para análisis de datos históricos. El proceso contiene nueve etapas secuenciales desde el registro de los datos primarios hasta la actualización de la gráfica multianual del balance de masa glaciar, para las áreas glaciares en estudio.

4. Definiciones

- **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:** 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 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).

- **Emergencia o surgencia 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 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).
- **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 altitudinal (ELA, por sus siglas en inglés):** Es 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).
- **Masa glaciar:** Se entiende por masa glaciar los diferentes estados del agua sólida que conforman un glaciar, principalmente la nieve, la neviza y el hielo. El balance de masa glaciar representa su estado de salud e indica, de manera indirecta, la evolución de la dinámica de la baja atmósfera.
- **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).
- **Profundidad al hielo:** distancia vertical entre la parte final de la última sección de una baliza y la superficie del hielo. Se obtiene mediante la suma de la emergencia de la baliza (teniendo en cuenta posibles secciones de la baliza afloradas) y espesor de la nieve medidos directamente sobre la superficie glaciar.
- **Rango altitudinal:** 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 (Francoy 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).

5. Siglas

- IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- WGMS: World Glacier Monitoring Service
- IDW (Inverse Distance Weighted): Ponderación de distancia inversa
- ELA (Equilibrium Line Altitude): Línea de equilibrio altitudinal
- GDB (Geodatabase): Base de datos geográfica
- GCS (Geographic Coordinate System): Sistema de coordenadas geográficas

6. Marco Normativo

- **Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico NTC PE 1000:2020:** REQUISITOS DE CALIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ESTADÍSTICAS
- **Ley 99 de 1993:** por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente (igualmente el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM), se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
- **Numeral 4, artículo 2 del Decreto 1277 de 1994:** por el cual organiza y establece el IDEAM y le son asignadas las funciones de obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la



información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación.

- **Numeral 4, artículo 14 del Decreto 291 de 2004:** por el cual se modifica la estructura del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y se dictan otras disposiciones. Se le otorgan funciones a la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
- **Artículo 5, Resolución IDEAM No. 284 de 2006:** por la cual se conforman los Grupos Internos de Trabajo adscritos a la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Se le otorgan funciones al Grupo Interno de Trabajo de trabajo Suelos y Tierras.
- **Resolución IDEAM 2367 de 2009:** por la cual se establecen las normas de gestión de datos e información del IDEAM y se adopta el proceso genérico de gestión de datos e información misional.
- **Numeral 4 del Artículo 1.2.1.1.1 del Decreto 1076 de 2015:** por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y se especifican las funciones del IDEAM.
- **Resolución IDEAM No. 1472 de 2020:** por la cual se crea, conforma y organiza el Grupo Interno de Trabajo de Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

7. Descripción metodológica del tema a desarrollar

a. Prerrequisitos para el cálculo del balance de masa glaciar

Para el cálculo del balance de masa glaciar se presentan los siguientes prerrequisitos:

- Archivo hoja de cálculo de Microsoft Excel® del balance de masa glaciar con el diseño de pestañas, filas y columnas con la formulación de operaciones matemáticas.
- Datos primarios de campo validados (Fecha, No. o código de la Baliza, No. Sección, Emergencia o surgencia de la baliza, espesor de la nieve).
- Datos de nueva perforación del hielo (en el caso que se realice perforación).
- Área total del glaciar.

- Rangos altitudinales y su área relativa.
- Coordenadas de las balizas

El proceso para el cálculo del balance de masa glaciar puede ser realizado mediante Microsoft Office – Excel, y el cálculo de las áreas por rango altitudinal a través de sistemas de información geográfico (como ArcGIS o QGIS). A continuación, se describen los procesos de acuerdo con el software seleccionado.

b. Cálculo del balance de masa glaciar en Microsoft Office – Excel

El desarrollo de este proceso en el software Microsoft Office – Excel se presenta en la secuencia metodológica de la figura 1:

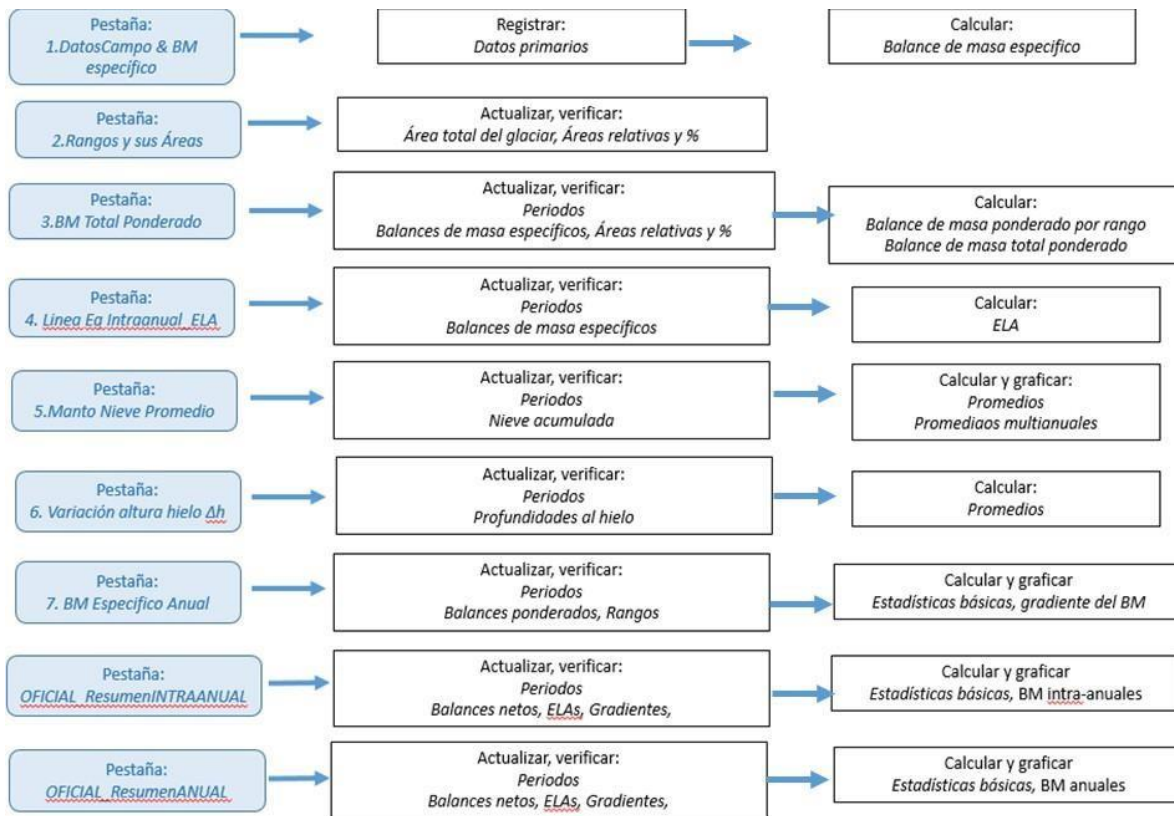


Figura 1 -Proceso para el cálculo del balance de masa glaciar

i) Transcripción de datos primarios

Actualizar la tabla correspondiente a la hoja de cálculo Excel para el cálculo del balance de masa glaciar, se debe ingresar a la pestaña “1. Datos Campo y BM Específico”, copiar en un espacio en blanco la tabla

Ciclo Hidrológico 2019																
Medición I																
DATOS OBTENIDOS EN CAMPO						CÁLCULO BALANCE DE MASA NETO ESPECÍFICO										
Tomados por: JORGE LUIS CEBALLOS						25/04/2019										
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve (m)	Perforación (x)			Nº de días entre mediciones	HIELO		NIEVE				Balance neto específico (mm. ea)	
					SI	Sección	Nueva emergencia (m)		Nueva profundidad al hielo (m)	Profundidad al hielo en medición ACTUAL (m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR (m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos (m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL (m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR (m)		Δn Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos (m)
1	III		1,57	0,13				61	1,7	0,85	-0,85	0,13	0,03	0,10	0,7	-695
2	II		1,33	0,14					3,47	2,9	-0,57	0,14	0,14	0,00	0,7	-513
3	III		1,39	0,21					1,6	1,77	0,17	0,21	0,64	-0,43	0,4	-19
4	II		1,43	0,22					3,65	3,76	0,11	0,22	0,64	-0,42	0,4	-69
5	II		0,28	0,72					3	3,04	0,04	0,72	1,13	-0,41	0,4	-128
6	II		0,32	0,45	x	III	0,05	0,5	2,77	3,12	0,35	0,45	0,95	-0,50	0,44	95
7	III		1,50	1,63					3,13	4,2	1,07	1,63	2,71	-1,08	0,44	488
8	III		0,43	1,62					2,05	3,79	1,74	1,62	3,36	-1,74	0,44	800
9	III		1,69	2,46					4,15	5,05	0,9	2,46	3,32	-0,86	0,44	432
10	III		0,70	2,39					3,09	4,12	1,03	2,39	3,32	-0,93	0,44	518

Figura 3 - Hoja de cálculo de balance de masa glaciar

- **Número de días entre mediciones:** Corresponde a la diferencia entre la fecha actual y la fecha inmediatamente anterior a la toma de datos en campo.

DATOS TOMADOS EN CAMPO									
Datos Tomados por: Francisco Rojas y Jorge Luis Ceballos									
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve (m)	Perforación (x)			Nueva profundidad al hielo (m)	5/09/2019
					SI	Sección	Nueva emergencia		
7	i		0,05	0,00					
8	III		1,85	0,00					
9	II		1,70	0,00					
9A	II		1,15	0,00					
10	III		1,50	0,00					
11	II		1,28	0,00					
12A	III		1,16	0,00					
13	II		1,25	0,00					
14	III		0,87	0,05					

DATOS TOMADOS EN CAMPO									
Datos Tomados por: Alejandro Ospina									
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve (m)	Perforación (x)			Nueva profundidad al hielo (m)	2/11/2019
					SI	Sección	Nueva emergencia		
7	i		0,73	0,04	x	III	0,75	0,79	
8	II		0,36	0,08					
9	i		0,25	0,12					
9A	II		1,40	0,20					
10	II		0,06	0,15					
11	II		1,47	0,28					
12A	III		1,36	0,23					
13	II		1,57	0,25	x	II	1,46	3,71	
14	III		1,04	0,30					

Figura 4 - N° de días entre mediciones

- **Profundidad al hielo en medición ACTUAL (m):** corresponde a la suma de la emergencia y el espesor de la nieve de los datos de campo actuales. Si la sección en la que se encontró la baliza fue la "i" automáticamente el sistema va a sumar 4 m que corresponden a las medidas de la baliza "ii" y "iii", si la baliza se encontró en la sección

“ii” el sistema automáticamente suma 2 m correspondientes a la sección “iii” de la baliza.

- **Profundidad al hielo en medición ANTERIOR (m):** corresponde a la suma de la emergencia y el espesor de la nieve de la medición anterior.

Si se realizó perforación en el hielo durante la campaña de campo anterior, se toma la profundidad del hielo posterior a la perforación, “Nueva profundidad del hielo (m)” de la sección correspondiente a “DATOS TOMADOS EN CAMPO” en la campaña anterior.

Ciclo Hidrológico 2019 Medición VII																
DATOS TOMADOS EN CAMPO								CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO								
Datos Tomados por: Alejandro Ospina								2/11/2019								
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	¿Perforación?(x)			Nueva profundidad al hielo(m)	Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE			b Balance específico (mm. ea)
					SI	Sección	Nueva emergencia(m)			Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)	Δn Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)	
7	i		0,73	0,04	x	iii	0,75	0,79	58	4,77	4,05	-0,72	0,04	0,00	0,04	-632
8	ii		0,36	0,08						2,44	1,85	-0,59	0,08	0,00	0,08	-499
9	i		0,25	0,12						4,37	3,7	-0,67	0,12	0,00	0,12	-555
9A	ii		1,40	0,20						3,6	3,15	-0,45	0,2	0,00	0,2	-325
10	ii		0,06	0,15						2,21	1,5	-0,71	0,15	0,00	0,15	-579
11	ii		1,47	0,28						3,75	3,28	-0,47	0,28	0,00	0,28	-311
12A	iii		1,36	0,23						1,59	1,16	-0,43	0,23	0,00	0,23	-295
13	ii		1,57	0,25	x	ii	1,46	3,71		3,82	3,25	-0,57	0,25	0,00	0,25	-413
14	iii		1,04	0,30						1,34	0,92	-0,42	0,3	0,05	0,25	-278



Ciclo Hidrológico 2019 Medición VIII																
DATOS TOMADOS EN CAMPO								CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO								
Datos Tomados por: Francisco Rojas								10/12/2019								
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	¿Perforación?(x)			Nueva profundidad al hielo(m)	Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE			b Balance específico (mm. ea)
					SI	Sección	Nueva emergencia(m)			Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)	Δn Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)	
7	iii		1,22	0,02					38	1,24	0,79	-0,45	0,02	0,04	-0,02	-413
8	ii		0,76	0,02						2,78	2,44	-0,34	0,02	0,08	-0,06	-330
9	i		0,62	0,02						4,64	4,37	-0,27	0,02	0,12	-0,1	-283
9A	ii		1,67	0,02						3,69	3,6	-0,09	0,02	0,20	-0,18	-153
10	ii		0,45	0,10						2,55	2,21	-0,34	0,10	0,15	-0,05	-326
11	ii		1,71	0,05						3,76	3,75	-0,01	0,05	0,28	-0,23	-101
12A	iii		1,70	0,02						1,72	1,59	-0,13	0,02	0,23	-0,21	-201
13	ii		1,76	0,12						3,88	3,71	-0,17	0,12	0,25	-0,13	-205
14	iii		1,22	0,21						1,43	1,34	-0,09	0,21	0,30	-0,09	-117

Figura 5 - Profundidad al hielo en medición anterior

- **Variación en profundidad del hielo entre los últimos dos periodos (m):** corresponde a la diferencia entre la “profundidad al

hielo medición ANTERIOR (m)” y la “profundidad al hielo en medición ACTUAL”.

$$\text{Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(M)} - \text{Profundidad al hielo medición ACTUAL (m)}$$

DATOS TOMADOS EN CAMPO										CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO					
Datos Tomados por: Francisco Rojas										10/12/2019					
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	¿Perforación?(x)			Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE		b, Balance específico (g/g, g/g)	
					SI	Sección	Nueva profundidad al hielo(m)		Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)		Δn Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)
7	iii		1,22	0,02				38	1,24	0,79	-0,45	0,02	0,04	-0,02	-413
8	ii		0,76	0,02					2,78	2,44	-0,34	0,02	0,08	-0,06	-330
9	i		0,62	0,02					4,64	4,37	-0,27	0,02	0,12	-0,1	-283
9A	ii		1,67	0,02					3,69	3,6	-0,09	0,02	0,20	-0,18	-153
10	ii		0,45	0,10					2,55	2,21	-0,34	0,10	0,15	-0,05	-326
11	ii		1,71	0,05					3,76	3,75	-0,01	0,05	0,28	-0,23	-101
12A	iii		1,70	0,02					1,72	1,59	-0,13	0,02	0,23	-0,21	-201
13	ii		1,76	0,12					3,88	3,71	-0,17	0,12	0,25	-0,13	-205
14	iii		1,22	0,21					1,43	1,34	-0,09	0,21	0,30	-0,09	-117

Figura 6 - Variación en profundidad del hielo entre los últimos dos periodos

- **Espesor de la nieve en medición ACTUAL (m):** corresponde al espesor de la nieve tomado durante la campaña de campo actual.

DATOS TOMADOS EN CAMPO										CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO					
Datos Tomados por: Francisco Rojas										10/12/2019					
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	¿Perforación?(x)			Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE		b, Balance específico (g/g, g/g)	
					SI	Sección	Nueva profundidad al hielo(m)		Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)		Δn Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)
7	iii		1,22	0,02				38	1,24	0,79	-0,45	0,02	0,04	-0,02	-413
8	ii		0,76	0,02					2,78	2,44	-0,34	0,02	0,08	-0,06	-330
9	i		0,62	0,02					4,64	4,37	-0,27	0,02	0,12	-0,1	-283
9A	ii		1,67	0,02					3,69	3,6	-0,09	0,02	0,20	-0,18	-153
10	ii		0,45	0,10					2,55	2,21	-0,34	0,10	0,15	-0,05	-326
11	ii		1,71	0,05					3,76	3,75	-0,01	0,05	0,28	-0,23	-101
12A	iii		1,70	0,02					1,72	1,59	-0,13	0,02	0,23	-0,21	-201
13	ii		1,76	0,12					3,88	3,71	-0,17	0,12	0,25	-0,13	-205
14	iii		1,22	0,21					1,43	1,34	-0,09	0,21	0,30	-0,09	-117

Figura 7 - Espesor de la nieve en medición actual

- **Espesor de la nieve en medición ANTERIOR (m):** corresponde al espesor de la nieve (m) del mes anterior.

Ciclo Hidrológico 2019 Medición VII															
DATOS TOMADOS EN CAMPO							CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO								
Datos Tomados por: Alejandro Ospina							2/11/2019								
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	¿Perforación?(x)		Nueva profundidad al hielo(m)	Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE			b. Balance específico (mm.ea)
					SI	Sección Nueva emergencia(m)			Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)	Δs Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)	
7	i		0,73	0,04	x	iii	0,75	0,79	4,77	4,05	-0,72	0,04	0,00	0,04	-632
8	ii		0,36	0,08					2,44	1,85	-0,59	0,08	0,00	0,08	-499
9	i		0,25	0,12					4,37	3,7	-0,67	0,12	0,00	0,12	-555
9A	ii		1,40	0,20					3,6	3,15	-0,45	0,2	0,00	0,2	-325
10	ii		0,06	0,15					2,21	1,5	-0,71	0,15	0,00	0,15	-579
11	ii		1,4	0,28					3,75	3,28	-0,47	0,28	0,00	0,28	-311
12A	iii		1,36	0,23					1,59	1,16	-0,43	0,23	0,00	0,23	-295
13	ii		1,57	0,25	x	ii	1,46	3,71	3,82	3,25	-0,57	0,25	0,00	0,25	-413
14	iii		1,04	0,30					1,34	0,92	-0,42	0,3	0,05	0,25	-278



Ciclo Hidrológico 2019 Medición VIII															
DATOS TOMADOS EN CAMPO							CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO								
Datos Tomados por: Francisco Rojas							10/12/2019								
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	¿Perforación?(x)		Nueva profundidad al hielo(m)	Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE			b. Balance específico (mm.ea)
					SI	Sección Nueva emergencia(m)			Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)	Δs Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)	
7	iii		1,22	0,02					1,24	0,79	-0,45	0,02	0,04	-0,02	-413
8	ii		0,76	0,02					2,78	2,44	-0,34	0,02	0,08	-0,06	-330
9	i		0,62	0,02					4,64	4,37	-0,27	0,02	0,12	-0,1	-283
9A	ii		1,67	0,02					3,69	3,6	-0,09	0,02	0,20	-0,18	-153
10	ii		0,45	0,10					2,55	2,21	-0,34	0,10	0,15	-0,05	-326
11	ii		1,71	0,05					3,76	3,75	-0,01	0,05	0,28	-0,23	-101
12A	iii		1,70	0,02					1,72	1,59	-0,13	0,02	0,23	-0,21	-201
13	ii		1,76	0,12					3,88	3,71	-0,17	0,12	0,25	-0,13	-205
14	iii		1,22	0,21					1,43	1,34	-0,09	0,21	0,30	-0,09	-117

Espesor de la nieve en medición ACTUAL (m) – Espesor de la nieve en medición ANTERIOR (m)

Ciclo Hidrológico 2019 Medición VIII															
DATOS TOMADOS EN CAMPO							CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO								
Datos Tomados por: Francisco Rojas							10/12/2019								
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	¿Perforación?(x)		Nueva profundidad al hielo(m)	Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE			b. Balance específico (mm.ea)
					SI	Sección Nueva emergencia(m)			Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)	Δs Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)	
7	iii		1,22	0,02					1,24	0,79	-0,45	0,02	0,04	-0,02	-413
8	ii		0,76	0,02					2,78	2,44	-0,34	0,02	0,08	-0,06	-330
9	i		0,62	0,02					4,64	4,37	-0,27	0,02	0,12	-0,1	-283
9A	ii		1,67	0,02					3,69	3,6	-0,09	0,02	0,20	-0,18	-153
10	ii		0,45	0,10					2,55	2,21	-0,34	0,10	0,15	-0,05	-326
11	ii		1,71	0,05					3,76	3,75	-0,01	0,05	0,28	-0,23	-101
12A	iii		1,70	0,02					1,72	1,59	-0,13	0,02	0,23	-0,21	-201
13	ii		1,76	0,12					3,88	3,71	-0,17	0,12	0,25	-0,13	-205
14	iii		1,22	0,21					1,43	1,34	-0,09	0,21	0,30	-0,09	-117

Figura 8 - Variación en espesor de la nieve entre los últimos dos períodos

- **Balance específico (mm.ea):** es la sumatoria entre el resultado de la multiplicación entre la variación de la profundidad del hielo entre los últimos dos periodos y la densidad del hielo (0,9 gr/cm³) y la variación en el espesor de la nieve entre los últimos dos periodos por la densidad de la nieve (0,4 gr/cm³).

(Δh Variación en la profundidad del hielo entre últimos dos periodos (m)* 0,9) + (Δn Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos (m)*0,4)

Ciclo Hidrológico 2019 Medición VIII															
DATOS TOMADOS EN CAMPO						CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO									
Datos Tomados por: Francisco Rojas						10/12/2019									
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	SI	¿Perforación?(x)		Nº de días entre mediciones	HIELO			NIEVE			b _i Balance específico (mm.es)
						Sección Nueva emergencia(m)	Nueva profundidad al hielo(m)		Profundidad al hielo en medición ACTUAL(m)	Profundidad al hielo en medición ANTERIOR(m)	Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)	Δn Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)	
	7	iii	1,22	0,02				38	1,24	0,79	-0,45	0,02	0,04	-0,02	-413
	8	ii	0,76	0,02					2,78	2,44	-0,34	0,02	0,08	-0,06	-330
	9	i	0,62	0,02					4,64	4,37	-0,27	0,02	0,12	-0,1	-283
	9A	ii	1,67	0,02					3,69	3,6	-0,09	0,02	0,20	-0,18	-153
	10	ii	0,45	0,10					2,55	2,21	-0,34	0,10	0,15	-0,05	-326
	11	ii	1,71	0,05					3,76	3,75	-0,01	0,05	0,28	-0,23	-101
	12A	iii	1,70	0,02					1,72	1,59	-0,13	0,02	0,23	-0,21	-201
	13	ii	1,76	0,12					3,88	3,71	-0,17	0,12	0,25	-0,13	-205
	14	iii	1,22	0,21					1,43	1,34	-0,09	0,21	0,30	-0,09	-117

Figura 9 - Balance de masa específico

iii) Áreas y rangos altitudinales

Las áreas y los rangos altitudinales utilizados en el cálculo del balance de masa glaciar se encuentran determinados en la pestaña "2. Rangos y sus Áreas".

PERIODO	ÁREA TOTAL (Km ²)	Rango 1		Rango 2		Rango 3		Rango 4		Rango 5		Check%
		Área hasta cota 4675	% Rango 1	Área cota 4675-4705	% Rango 2	Área cota 4705-4735	% Rango 3	Área cota 4735-4795	% Rango 4	Área cota 4795-4905	% Rango 5	
		(Balizas 1, 2 y 3)		(Balizas 4, 5 y 6)		(Balizas 7, 8 y 9)		(Balizas 9A, 10, 11, 12 y 12A)		(Balizas 13 y 14)		
2006	0,218	0,034	15,50%	0,026	11,91%	0,042	19,45%	0,116	53,15%			100,00%
2007	0,233	0,031	13,06%	0,025	10,88%	0,042	18,03%	0,116	49,52%	0,020	8,51%	100,00%
2008	0,230	0,027	11,85%	0,025	10,85%	0,042	18,31%	0,116	50,34%	0,020	8,65%	100,00%
2009	0,226	0,024	10,59%	0,024	10,82%	0,042	18,58%	0,116	51,21%	0,020	8,80%	100,00%
2010	0,221	0,020	8,98%	0,024	10,91%	0,042	18,93%	0,116	52,22%	0,020	8,96%	100,00%
2011	0,217	0,016	7,31%	0,024	11,01%	0,042	19,29%	0,116	53,26%	0,020	9,14%	100,00%
2012	0,201			0,024	11,74%	0,042	20,83%	0,116	57,56%	0,020	9,87%	100,00%
2013	0,200			0,023	11,50%	0,042	20,87%	0,116	57,73%	0,020	9,90%	100,00%
2014	0,200			0,023	11,29%	0,042	20,92%	0,116	57,87%	0,020	9,92%	100,00%
2015	0,200			0,022	11,23%	0,042	20,95%	0,116	57,90%	0,020	9,92%	100,00%
2016	0,158			0,004	2,38%		12,01%	0,116	73,09%	0,020	12,53%	100,00%
						Área hasta cota 4735 (Rango3)	% Rango 3	Área cota 4735-4795 (Rango4)	% Rango 4	Área cota 4795-4910 (Rango5)	% Rango 5	Check%
2017	0,141					0,050	35,58%	0,078	55,47%	0,013	8,95%	100,00%
2018	0,121					0,040	33,33%	0,069	57,38%	0,011	9,26%	99,98%
						Área cota 4680-4725 (Rango3)	% Rango 3	Área cota 4725-4785 (Rango4)	% Rango 4	Área cota 4785-4893 (Rango5)	% Rango 5	Check%
2019	0,105					0,037	35,20%	0,059	56,14%	0,0091	8,66%	100,00%
2020	0,087					0,030	35,00%	0,049	56,00%	0,0078	9,00%	100,00%

Figura 10 - Áreas y rangos altitudinales

El cálculo de las respectivas áreas y rangos altitudinales se realiza automáticamente de la siguiente manera:

- **Periodo:** hace referencia al año en el que se realiza el cálculo.



- **Área total (km²):** corresponde al área determinada mediante el levantamiento topográfico más actual respecto al periodo a calcular.
- **Rangos altitudinales:** diferenciados como "Rango 1", "Rango 2", "Rango 3", "Rango 4" y "Rango 5", son las 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).

iv) Balance de masa total ponderado

Para el cálculo del balance de masa total ponderado se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Año	Periodo	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango2			Balance Promedio del	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango3			Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango	9A
				4	5	6				7	8	9				
	31/1/2018 a 8/3/2018									-488	-417	-328	-411,0	33,33%	-137,0	-367,
	8/3/2018 a 10/4/2018									-405	-389	-303	-365,7	33,33%	-121,9	-331,
	10/4/2018 a 18/5/2018									-79	-21	-94	-64,7	33,33%	-21,6	72
	18/5/2018 a 20/6/2018									-405	-235	-274	-304,7	33,33%	-101,6	-277,

Figura 11 - Balance de masa total ponderado

- **Año:** corresponde al año en el que se realiza el cálculo del balance de masa glaciar.
- **Periodo:** fecha de la toma de datos en campo anterior y fecha de la toma de datos actual.
- **Balizas por rango altitudinal:** el dato corresponde al balance específico (mm.ea) obtenido en la pestaña "1. DatosCampo y BM Específico" para cada baliza correspondiente a cada rango altitudinal.



Generación de Conocimiento e Investigación

Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del Balance de Masa Glaciar

Código: GCI-BG-G003
Versión: 04
Fecha: 25/05/2026

Año	Periodo	Área relativa por rango (%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango2			Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango (%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango4					Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango (%)	Balance ponderado por rango		
				4	5	6				7	8	9	9A	10				11	12
2019	12/2/2019 a 12/3/2019						-549	-621	-477	-549	35,20%	-193,3	-657	-478	-540	-522	-549,3	56,14%	-308,3
	12/3/2019 a 4/5/2019						-1026	-963	-981	-990	35,20%	-348,5	-891	-1214	-945	-909	-989,8	56,14%	-555,6
	4/5/2019 a 19/6/2019						-1044	-945	-954	-981	35,20%	-345,4	-891	-1035	-846	-828	-900	56,14%	-505,2
	19/6/2019 a 13/7/2019						-311	-284	-257	-284	35,20%	-100,0	-118	-118	-257	-176	-167,25	56,14%	-93,9
	13/7/2019 a 24/8/2019						-517	-427	-373	-439	35,20%	-154,5	-332	-260	-247	-283	-280,5	56,14%	-157,5
	24/8/2019 a 5/9/2019						-216	-207	-270	-231	35,20%	-81,3	-243	-216	-207	-270	-234	56,14%	-131,4
	5/9/2019 a 2/11/2019						-632	-499	-555	-562	35,20%	-197,8	-325	-579	-311	-295	-377,5	56,14%	-211,9
	2/11/2019 a 10/12/2019						-413	-330	-283	-342	35,20%	-120,4	-153	-326	-101	-201	-195,25	56,14%	-109,6
	10/12/2019 a 28/01/2020						-1475	-1178	-872	-1175	35,00%	-411,3	-1142	-913	-1181	-1376	-1153	56,00%	-645,7
	28/01/2020 a 15/04/2020						-2034	-1728	-2070	-1944	35,00%	-680,4	-1971	-1665	-2007	-2025	-1917	56,00%	-1073,5
2020	15/04/2020 a 16/05/2020						-723	-729	-729	35,00%	-255,2	-603	-774		-688,5	56,00%	-385,6		
	16/05/2020 a 23/06/2020						-720	-720	-720	35,00%	-252,0	-576	-558		-567	56,00%	-317,5		

Ciclo Hidrológico 2019 Medición VIII													
DATOS TOMADOS EN CAMPO					CÁLCULO BALANCE DE MASA ESPECÍFICO								
Datos Tomados por: Francisco Rojas					30/12/2019								
4 Perforación(°s)					HEILO								
Observaciones	Baliza No.	Sección	Emergencia (m)	Espesor de la nieve(m)	Nueva profundidad al hielo(m)	Nº de días entre mediciones	Profundidad al hielo en medición		Δh Variación en profundidad del hielo entre últimos dos periodos(m)	Espesor de la nieve en medición ACTUAL(m)	Espesor de la nieve en medición ANTERIOR(m)	Variación en espesor de la nieve entre últimos dos periodos(m)	B. Balance específico (ton/m²)
							Actual	Anterior					
7	III		1,22	0,02			1,24	0,79	-0,45	0,02	0,04	-0,02	-413
8	II		0,76	0,02			2,78	2,44	-0,34	0,02	0,08	-0,06	-380
9	I		0,62	0,02			4,64	4,37	-0,27	0,02	0,12	-0,1	-283
9A	II		1,67	0,02			3,69	3,6	-0,09	0,02	0,20	-0,18	-153
10	II		0,45	0,10		38	2,35	2,23	-0,12	0,10	0,19	-0,05	-326
11	II		1,71	0,05			3,76	3,75	-0,01	0,05	0,28	-0,23	-101
12A	III		1,70	0,02			1,72	1,59	-0,13	0,02	0,23	-0,21	-201
13	II		1,76	0,12			3,88	3,71	-0,17	0,12	0,25	-0,13	-205
14	III		1,22	0,21			1,43	1,34	-0,09	0,21	0,30	-0,09	-117

Figura 12 - Balance de masa total

- **Balance promedio del rango:** corresponde al promedio del balance de masa específico para cada baliza por rango altitudinal (rango 1, rango 2, rango 3, rango 4, rango 5).

Promedio entre el balance de masa específico para cada baliza correspondiente al rango altitudinal

Año	Periodo	Área relativa por rango (%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango2			Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango (%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango4					Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango (%)	Balance ponderado por rango		
				4	5	6				7	8	9	9A	10				11	12
2019	12/2/2019 a 12/3/2019						-549	-621	-477	-549	35,20%	-193,3	-657	-478	-540	-522	-549,3	56,14%	-308,3
	12/3/2019 a 4/5/2019						-1026	-963	-981	-990	35,20%	-348,5	-891	-1214	-945	-909	-989,8	56,14%	-555,6
	4/5/2019 a 19/6/2019						-1044	-945	-954	-981	35,20%	-345,4	-891	-1035	-846	-828	-900	56,14%	-505,2
	19/6/2019 a 13/7/2019						-311	-284	-257	-284	35,20%	-100,0	-118	-118	-257	-176	-167,25	56,14%	-93,9
	13/7/2019 a 24/8/2019						-517	-427	-373	-439	35,20%	-154,5	-332	-260	-247	-283	-280,5	56,14%	-157,5
	24/8/2019 a 5/9/2019						-216	-207	-270	-231	35,20%	-81,3	-243	-216	-207	-270	-234	56,14%	-131,4
	5/9/2019 a 2/11/2019						-632	-499	-555	-562	35,20%	-197,8	-325	-579	-311	-295	-377,5	56,14%	-211,9
	2/11/2019 a 10/12/2019						-413	-330	-283	-342	35,20%	-120,4	-153	-326	-101	-201	-195,25	56,14%	-109,6
	10/12/2019 a 28/01/2020						-1475	-1178	-872	-1175	35,00%	-411,3	-1142	-913	-1181	-1376	-1153	56,00%	-645,7
	28/01/2020 a 15/04/2020						-2034	-1728	-2070	-1944	35,00%	-680,4	-1971	-1665	-2007	-2025	-1917	56,00%	-1073,5
2020	15/04/2020 a 16/05/2020						-723	-729	-729	35,00%	-255,2	-603	-774		-688,5	56,00%	-385,6		
	16/05/2020 a 23/06/2020						-720	-720	-720	35,00%	-252,0	-576	-558		-567	56,00%	-317,5		

Figura 13 - Balance promedio del rango

- **Área relativa por rango %:** corresponde al área en porcentaje de cada rango altitudinal calculado en la pestaña "2. Rangos y sus Áreas".



Generación de Conocimiento e Investigación

Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del Balance de Masa Glaciar

Código: GCI-BG-G003
Versión: 04
Fecha: 25/05/2026

PERIODO	ÁREA TOTAL (Km ²)	Rango 1		Rango 2		Rango 3		Rango 4	
		Área hasta cota 4675 (Balizas 1, 2 y 3)	% Rango 1	Área cota 4675-4705 (Balizas 4, 5 y 6)	% Rango 2	Área cota 4705-4735 (Balizas 7, 8 y 9)	% Rango 3	Área cota 4735-4795 (Balizas 9A, 10, 11, 12 y 12A)	% Rango 4
2006	0,218	0,034	15,50%	0,026	11,91%	0,042	19,45%	0,116	53,15%
2007	0,233	0,031	13,06%	0,025	10,88%	0,042	18,03%	0,116	49,52%
2008	0,230	0,027	11,85%	0,025	10,85%	0,042	18,33%	0,116	50,34%
2009	0,226	0,024	10,59%	0,024	10,82%	0,042	18,58%	0,116	51,21%
2010	0,221	0,020	8,98%	0,024	10,91%	0,042	18,93%	0,116	52,22%
2011	0,217	0,016	7,31%	0,024	11,01%	0,042	19,29%	0,116	53,26%
2012	0,201			0,024	11,74%	0,042	20,83%	0,116	57,96%
2013	0,200			0,023	11,50%	0,042	20,87%	0,116	57,73%
2014	0,200			0,023	11,29%	0,042	20,92%	0,116	57,87%
2015	0,200			0,022	11,25%	0,042	20,95%	0,116	57,90%
2016	0,158			0,004	2,58%	0,019	12,01%	0,116	73,09%
2017	0,141					Área hasta cota 4735 (Rango3)	% Rango 3	Área cota 4735-4795 (Rango4)	% Rango 4
2018	0,121					0,050	35,58%	0,078	55,47%
						0,040	33,33%	0,069	57,38%
2019	0,105			Área cota 4680-4725 (Rango3)	% Rango 3	Área cota 4725-4785 (Rango4)	% Rango 4		
2020	0,087			0,037	35,20%	0,059	56,14%	0,049	56,00%
				0,030	35,00%				

Balizas del rango3			Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango4					Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango
7	8	9				9A	10	11	12	12A			
-549	-621	-477	-549	35,20%	-193,273073	-657	-478	-540	-522	-549,25	56,14%	-308,33254	
-1026	-963	-981	-990	35,20%	-348,525214	-891	-1214	-945	-909	-989,75	56,14%	-555,61608	
-1044	-945	-954	-981	35,20%	-345,356803	-891	-1035	-846	-828	-900	56,14%	-505,233111	
-311	-284	-257	-284	35,20%	-99,9809705	-118	-118	-257	-176	-167,25	56,14%	-93,8891532	
-517	-427	-373	-439	35,20%	-154,548049	-332	-260	-247	-283	-280,5	56,14%	-157,46432	
-216	-207	-270	-231	35,20%	-81,32255	-243	-216	-207	-270	-234	56,14%	-131,360609	
-632	-499	-555	-562	35,20%	-197,849667	-325	-579	-311	-295	-377,5	56,14%	-211,917222	
-413	-330	-283	-342	35,20%	-120,399619	-153	-326	-101	-201	-195,25	56,14%	-109,607517	
-1475	-1178	-872	-1175	35,00%	-411,25	-1142	-913	-1181	-1376	-1153	56,00%	-645,68	

Figura 14 - Área relativa por rango

- **Balance ponderado por rango:** es el resultado de la multiplicación entre el balance promedio del rango y el área relativa por rango (%).

Balance promedio del rango * Área relativa por rango (%)

Balizas del rango3			Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango4					Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango
7	8	9				9A	10	11	12	12A			
-549	-621	-477	-549	35,20%	-193,273073	-657	-478	-540	-522	-549,25	56,14%	-308,33254	
-1026	-963	-981	-990	35,20%	-348,525214	-891	-1214	-945	-909	-989,75	56,14%	-555,61608	
-1044	-945	-954	-981	35,20%	-345,356803	-891	-1035	-846	-828	-900	56,14%	-505,233111	
-311	-284	-257	-284	35,20%	-99,9809705	-118	-118	-257	-176	-167,25	56,14%	-93,8891532	
-517	-427	-373	-439	35,20%	-154,548049	-332	-260	-247	-283	-280,5	56,14%	-157,46432	
-216	-207	-270	-231	35,20%	-81,32255	-243	-216	-207	-270	-234	56,14%	-131,360609	
-632	-499	-555	-562	35,20%	-197,849667	-325	-579	-311	-295	-377,5	56,14%	-211,917222	
-413	-330	-283	-342	35,20%	-120,399619	-153	-326	-101	-201	-195,25	56,14%	-109,607517	
-1475	-1178	-872	-1175	35,00%	-411,25	-1142	-913	-1181	-1376	-1153	56,00%	-645,68	

Figura 15 - Balance ponderado por rango

- **Balance total ponderado:** corresponde a la suma de todos los balances ponderados por rango altitudinal.



Generación de Conocimiento e Investigación
Guía para el procesamiento de datos para el cálculo del Balance de Masa Glaciar

Código: GCI-BG-G003
Versión: 04
Fecha: 25/05/2026

Sumatoria de todos los balances ponderados por rango.

Balizas del rango4					Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango	Balizas del rango5		Balance Promedio del Rango	Área relativa por rango(%)	Balance ponderado por rango	Balance total ponderado
9A	10	11	12	12A				13	14				
-657	-478	-540		-522	-549,25	56,14%	-308,33254	-456	-394	-425	0,08658421	-36,7982873	-538,403901
-891	-1214	-945		-909	-989,75	56,14%	-555,61608	-840	-668	-754	0,08658421	-65,284491	-969,425785
-891	-1035	-846		-828	-900	56,14%	-505,233111	-882	-522	-702	0,08658421	-60,7821123	-911,372027
-118	-118	-257		-176	-167,25	56,14%	-93,8891532	-165	-95	-130	0,08658421	-11,2559467	-205,126007
-332	-260	-247		-283	-280,5	56,14%	-157,46432	-240	-99	-169,5	0,08658421	-14,6760228	-326,688392
-243	-216	-207		-270	-234	56,14%	-131,360609	-234	-155	-194,5	0,08658421	-16,840628	-229,523787
-325	-579	-311		-295	-377,5	56,14%	-211,917222	-413	-278	-345,5	0,08658421	-29,914843	-499,681732
-153	-326	-101		-201	-195,25	56,14%	-109,607517	-205	-117	-161	0,08658421	-13,9400571	-243,947193
				-									
-1142	-913	-1181		1376	-1153	56,00%	-645,68	-680	-644	-662	0,09	-59,58	-1116,51

Figura 16 - Balance total ponderado

v) Línea de equilibrio altitudinal (ELA)

En la pestaña "Línea Eq Intraanual ELA" se calcula la Línea de Equilibrio Altitudinal o Equilibrium Line Altitude (ELA), la cual se determina a partir de la relación entre el balance de masa obtenido por baliza y la altitud. Para ello, se aplica un método de regresión lineal que ajusta una recta a los datos de balance de masa en función de la elevación. La ELA corresponde a la altitud en la que dicha recta intercepta el valor 0 del balance de masa; es decir, el punto donde la acumulación y la ablación se equilibran. (Francou y Pouyaud, 2004).

Año	Periodo de medición	Periodo	Balance Balizas														ELA (msnm)				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	9A	10	11	12	12A		13	14		
2018	31/1/2018 a 2018-1									-488	-417	-328		-214	-450		-437	-350	-90	4875,75806	
	8/3/2018 a : 2018-2									-405	-389	-303		-195	-381		-419	-95	-180	4859,93562	
	10/4/2018 a 2018-3									-79	-21	-94	72	20	-22		-23	70	52	4757,96839	
	18/5/2018 a 2018-4									-405	-235	-274	-270	-65	-58		-108	-60	-25	4800,19965	
	20/6/2018 a 2018-5									13	84	39	30	34	83		88	40	84	4732,95072	
	24/7/2018 a 2018-6									8	98	12	23	32	56		73	62	91	4720,58427	
	15/8/2018 a 2018-7									-488	-168	-397	-367	-352	-192		-198	-103	-21	4817,46725	
	17/9/2018 a 2018-8									-415	-393	-349	-		-350	-306		-299	-184	-29	4882,48985
	20/10/2018 2018-9									-495	-467	-412	-439	-439	-274		-582	-264	-71	4868,5816	
	24/11/2018 2018-10									-315	-252	-180	-225	-148	-351		-369	-86	55	4825,8999	
10/12/2018 2018-11									-1386	-1539	-1350	-1341	-1413	-1440		-1566	-714	-800	4945,26967		
2019	12/2/2019 a 2019-1									-549	-621	-477	-657	-478	-540		-522	-456	-394	4998,81024	
	12/3/2019 a 2019-2									-1026	-963	-981	-891	-1214	-945		-909	-840	-668	4982,41392	
	4/5/2019 a : 2019-3									-1044	-945	-954	-891	-1035	-846		-828	-882	-522	5000,17861	
	19/6/2019 a 2019-4									-311	-284	-257	-118	-118	-257		-176	-165	-95	4842,9937	
	13/7/2019 a 2019-5									-517	-427	-373	-332	-260	-247		-283	-240	-99	4866,93964	
	24/8/2019 a 2019-6									-216	-207	-270	-243	-216	-207		-270	-234	-155	4964,55945	
	5/9/2019 a : 2019-7									-632	-499	-555	-325	-579	-311		-295	-413	-278	4830,00069	
	2/11/2019 a 2019-8									-413	-330	-283	-153	-326	-101		-201	-205	-117	4811,95238	
	10/12/2019 2019-9									-1475	-1178	-872	-1142	-913	-1181		-1376	-680	-644	4899,40233	

Figura 17 - Línea de equilibrio altitudinal

vi) El espesor de la nieve

El tratamiento de los datos del espesor de la capa de nieve se realiza en la pestaña "5. Manto Nieve Promedio" en la cual se registran los datos respectivos de campo, se ajustan a unidades métricas de análisis y se ejecutan estadísticas básicas como promedio anual y se actualizan las gráficas intraanuales o anuales.

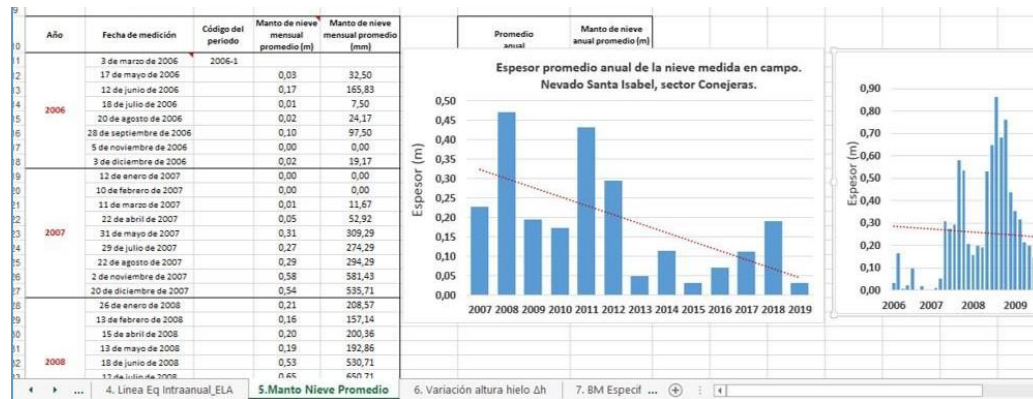


Figura 18 - Espesor de la nieve

vii) Variación de la profundidad al hielo

Para la manipulación de los datos de la profundidad al hielo (Δh), se dispone de la pestaña "6. Variación altura hielo Δh " donde se registran los valores por baliza y se calcula el promedio de las balizas medidas en la fila "PROMEDIO Δh respecto a la medición anterior". De esta forma se puede determinar fácilmente el cambio de espesor desde y hasta cualquier fecha de medición.

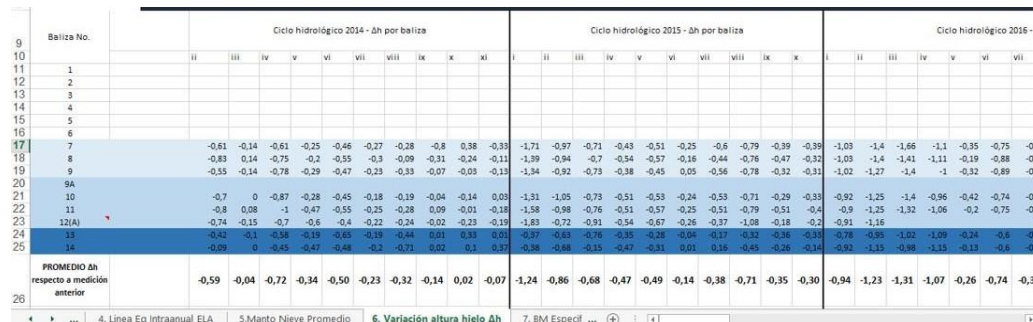


Figura 19 - Variación de la profundidad al hielo

viii) El balance de masa específico anual

En la pestaña "7. BM Específico Anual" se registra el total de cada año del balance específico por baliza como preámbulo para la etapa final.

Año/Baliza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9a	10	11	12	12A	13
2006	-3845	-3936	-3845	-3207	-3076	-2893	-2874	-2537	-2188		-1597	-1934	-1736		
2007	-3236	-2532	-2628	-1950	-1524	-2233	-1855	-1368	-1238		-1208	-1253	-1468		58
2008	-1474	-1626	-1867	-839	-668	-1161	-1220	-534	-142		-105	-333	-880		222
2009	-6391	-5644	-6071	-4178	-4382	-4244	-3924	-3442	-2642		-2538	-2980	-3304		-2286
2010	-6291	-4510	-4220	-3703	-3945	-4353	-3282	-2874	-2954		-2900	-3781	-3190		-2797
2011	-1682	-2144	-2538	-1978	-1081	-1763	-1205	-1010	-675		-231	-790	-1185		248
2012				-3289	-3544	-4272	-3233	-3159	-2161		-1852	-3115	-2379		-1387
2013				-4800	-4941	-4136	-4243	-3543	-3593		-3122	-3759	-4670		-2516
2014				-5535	-5322	-5547	-4419	-4006	-3791		-3574	-4282	-4645		-2290
2015				-7352	-6573	-7121	-5822	-5665	-5196		-5528	-5953	-5676		-3766
2016				-5145	-5546	-5871	-7038	-6178	-5873		-5871	-5529			-3728
2017							-5980	-5140	-5054		-3571	-4286			-2091
2018							-4455	-3699	-3636	-3534	-3090	-3335		-3840	-1684
2019							-6183	-5454	-5022	-4752	-5139	-4635		-4860	-4115
2020															
	Rango 1	Rango 2	Rango 3	Rango 4	Rango 5										
2006	-3875	-3059	-2533	-1756											
2007	-2799	-1902	-1487	-1310	325										

Figura 20 - Balance de masa específico anual

En las etapas finales del cálculo del balance de masa (Bm), se elaboran las gráficas (ver figura 21) correspondientes con el propósito de visualizar, analizar e interpretar el comportamiento espacial y temporal de las variaciones entre la pérdida y la ganancia de masa del glaciar.

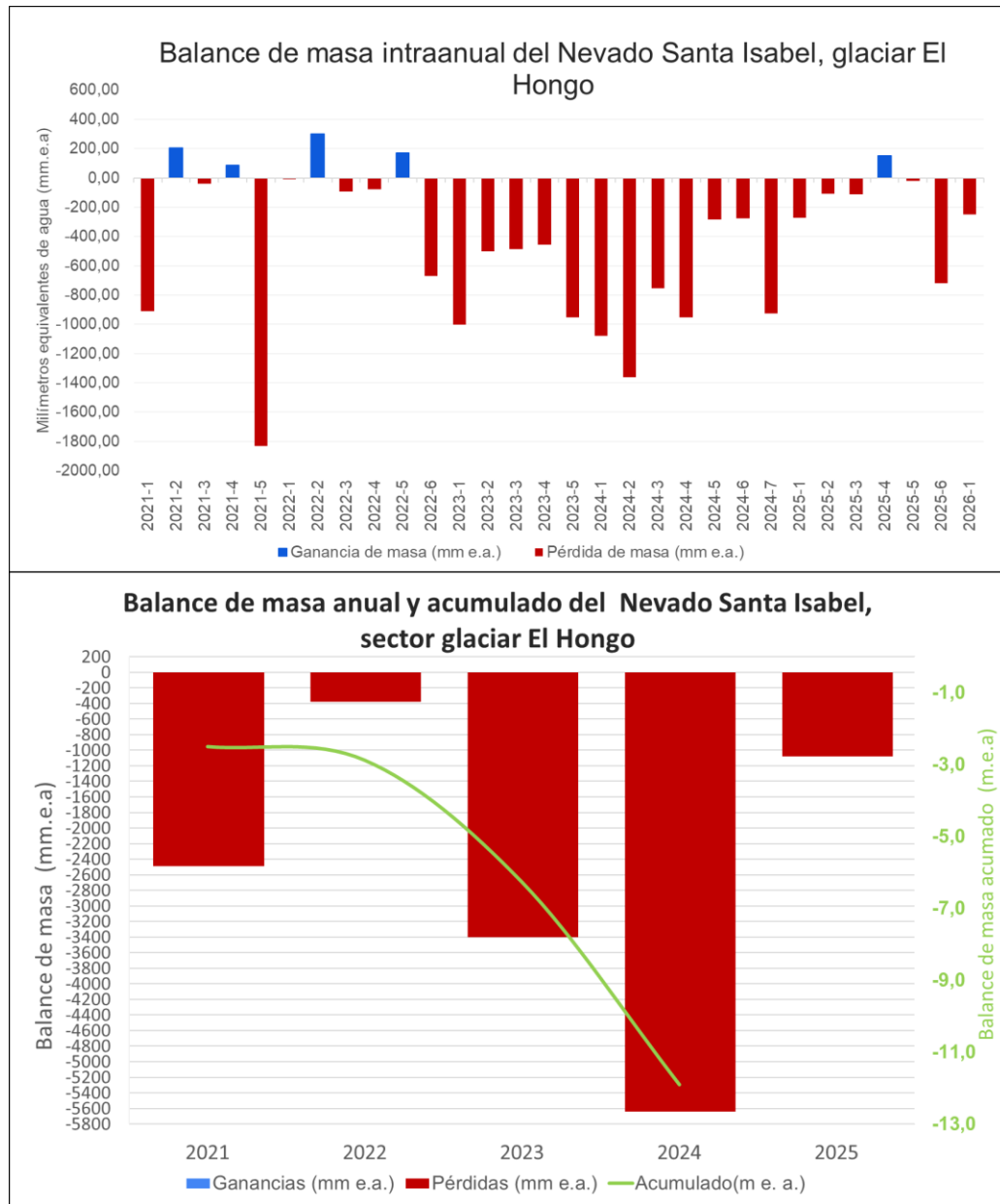


Figura 21 - Gráficas de balance de masa intraanual y anual

Estas representaciones gráficas permiten evaluar la dinámica glaciar a partir de la distribución de los valores de acumulación y ablación en función de variables como la altitud y el tiempo de medición.

Asimismo, facilitan la identificación de tendencias y patrones de comportamiento, la verificación de la consistencia y coherencia de los resultados obtenidos, y el apoyo en la interpretación de los procesos

glaciológicos observados durante el periodo de estudio. De igual manera, las gráficas constituyen una herramienta fundamental para la determinación de parámetros glaciológicos relevantes, como la Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA), y para el análisis de la respuesta del glaciar frente a las condiciones climáticas predominantes.

8. Documentos relacionados en el SGI

Código	Tipo de documento	Nombre del documento
GCI-BG-G003	Guía	Guía de entrenamiento para el cálculo del balance de masa glaciar
GCI-BG-F002	Formato	Formato para la recolección de datos e información de campo del balance de masa glaciar
GCI-BG-MO001	Documento Metodológico	Metodología de la operación estadística "balance de masa glaciar"
GCI-BG-PG001	Plan General	Plan general para la operación estadística "Balance de masa glaciar"

9. Bibliografía

- Cogley, J. G., Hock, R., Rasmussen, L. A., Arendt, A. A., Bauder, A., Braithwaite, R. J., ... & Zemp, M. (2011). Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms. París: UNESCO-IHP (International Hydrological Programme).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (8 de abril de 2021). Balance de masa glaciológico: El estado de salud de un glaciar. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/balace-de-masa-glaciologico>.
- Francou B., (2004) Métodos de observación de glaciares en los Andes tropicales: mediciones de terreno y procesamiento de datos: version-1: 2004. Researchgate. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/282171220_Metodos_de_observacion_de_glaciares_en_los_Andes_tropicales_mediciones_de_terreno_y_procesamiento_de_datos_version-1_2004/stats#fullTextFileContent.



- Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, F., Muñoz, C. and Vuille, M. (2016): "Balance de Masa Glaciar." Ediciones, Valdivia, Chile.
- WGMS (2020): Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland. DOI:10.5904/wgms-fog-2020-08. Online access: <http://dx.doi.org/10.5904/wgms-fog-2020-08>
- 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. Based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2019-12.

10. Control de cambios

Versión	Fecha	Descripción
01	25/05/2021	Creación del documento
02	30/03/2022	Actualización del documento
03	11/07/2025	Se actualiza el Formato de acuerdo con el memorando enviado por la OAP memorando 20251100097283 lineamientos para la actualización documental en el marco de la implementación del aplicativo suite visión. Pasa de M-GCI-E-G013 a GCI-BG-G003.
04	25/05/2026	Se actualiza la guía, se incluyen elementos como introducción, marco normativo, siglas, definiciones y se actualiza el contenido para dar cumplimiento a la NTC PE 1000: 2020.