

INFORME DEL ESTADO DE LOS **GLACIARES** **COLOMBIANOS**

2023



Ambiente



IDEAM

GUSTAVO FRANCISCO PETRO URREGO
Presidente de la República de Colombia

FRANCIA ELENA MÁRQUEZ MINA
Vicepresidenta de Colombia

MARÍA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAURICIO CABRERA LEAL
Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

LILIA TATIANA ROA AVENDAÑO
Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio

Consejo Directivo

MARÍA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

LILIA TATIANA ROA AVENDAÑO
Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio

FERNEY CAMACHO
Director técnico de la Dirección de Infraestructura – Ministerio de Transporte

PAOLA RICAURTE AYALA
Asesora de la Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Departamento Nacional de Planeación (DNP)

ELKIN ERNESTO RAMÍREZ NIÑO
Director técnico de la Dirección Técnica Geoestadística – Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

JUAN ESTEBAN CORTÉS OROZCO
Director general (e) – Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO
Directora general

JUAN FERNANDO ACOSTA MIRKOW
Secretario general

FABIO ANDRÉS BERNAL QUIROGA
Subdirector de Hidrología

ELIZABETH PATIÑO CORREA
Subdirectora de Estudios Ambientales

RAYMOND ALEXÁNDER JIMÉNEZ ARTEAGA
Subdirector de Ecosistemas e Información Ambiental (e)

ÍNGRID TATIANA SIERRA GIRALDO
Subdirectora de Meteorología

MY. DIANA CAROLINA RUEDA DIMATE
Jefe de la Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas

CÉSAR AUGUSTO SÁNCHEZ WALDRON
Jefe de la Oficina Asesora de Planeación

WILMER ESPITIA MUÑOZ
Jefe de la Oficina de Informática

GILBERTO ANTONIO RAMOS SUÁREZ
Jefe de la Oficina Asesora Jurídica

ADRIANA MARÍA OCAMPO LOAIZA
Jefe de la Oficina de Control Interno

MIGUEL ÁNGEL AYALA TOVAR
Coordinador del Grupo de Comunicaciones y Prensa

Edición técnica

JORGE LUIS CEBALLOS LIÉVANO
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

ANDRÉS FELIPE CRUZ MENDOZA
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

SAIDA MARTÍNEZ SERRANO
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

LINA CRISTINA ZULUAGA CÁRDENAS
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

Coordinación editorial

Andrés Felipe Tapiero Ríos

Corrección de estilo

Sebastián Uribe Rodríguez

Coordinación técnica

JORGE LUIS CEBALLOS LIÉVANO
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

ANDRÉS FELIPE CRUZ MENDOZA
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

SAIDA MARTÍNEZ SERRANO
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

LINA CRISTINA ZULUAGA CÁRDENAS
Grupo de trabajo Monitoreo de Ecosistemas de Alta Montaña

Diseño editorial y diagramación

Andrea Hernández Galvis

Foto de carátula: Sierra Nevada de Santa Marta. Pico Simmons.
Autor: Juan C. Otálvaro (2024).

Cítese como: Ceballos Liévano, J. L., Cruz Mendoza, A. F., Martínez Serrano, S. y Zuluaga Cárdenas, L. C. (2024). *Informe del estado de los glaciares colombianos 2023*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam.

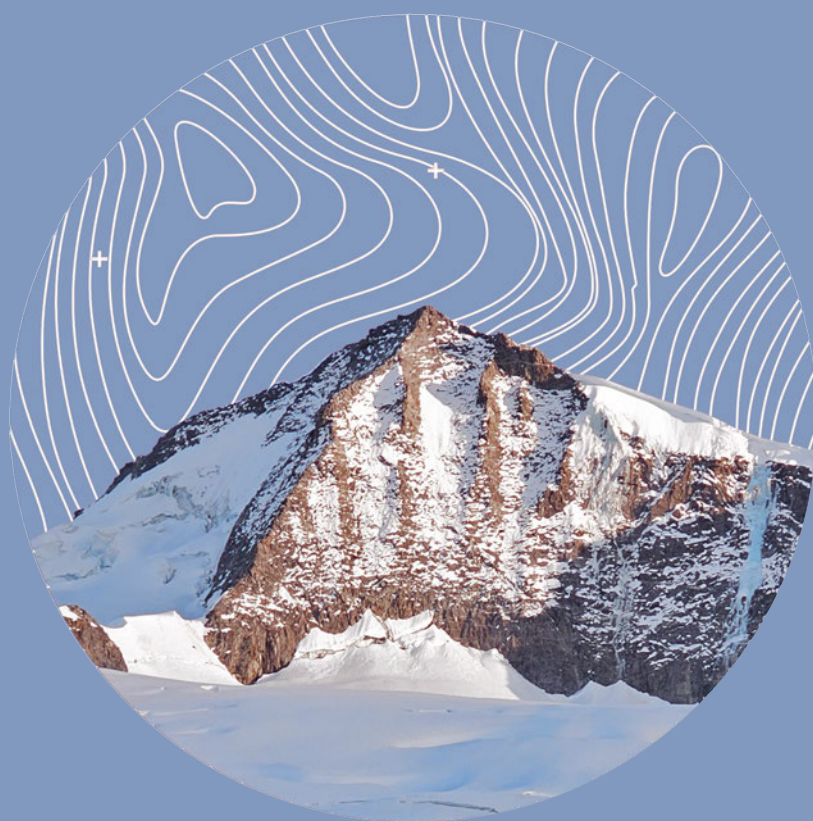
ISSN (en línea): 2806-0261.

Distribución gratuita

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales. No comercializable. Distribución gratuita.

© Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam, 2024.
Calle 25D 96B-70, Bogotá, D. C.
PBX: 601 3527160

Autores: Jorge Luis Ceballos Liévano, Andrés Felipe Cruz Mendoza, Saida Martínez Serrano y Lina Cristina Zuluaga Cárdenas



INFORME DEL ESTADO DE LOS **GLACIARES** **COLOMBIANOS**

2023



Lista de figuras

Figura 1. Glaciares actuales de Colombia

Figura 2. Disposición de los glaciares en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Figura 3. Morfología y altitud de los glaciares colombianos

Figura 4. Área glaciar en cada una de las áreas hidrográficas de Colombia

Figura 5. Glaciares extintos en el siglo XX

Figura 6. Temperatura ambiente promedio diaria, 2023. Estación Meteorológica Móvil de Altitud (EMMA). PNN Los Nevados, glaciar Santa Isabel (sector Conejeras), 4.720 m s. n. m.

Figura 7. Temperatura ambiente promedio diaria, 2023. Estación Meteorológica Sendero Laguna Verde. PNN Los Nevados, Nevado Santa Isabel, 4.329 m s. n. m.

Figura 8. Temperatura ambiente promedio diaria, 2023. Estación Meteorológica Laguna La Plaza, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente oriental), 4.378 m s. n. m.

Figura 9. Temperatura ambiente promedio anual. Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente occidental), 3.716 m s. n. m.

Figura 10. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Las Brisas. Nevado del Ruiz, 4.133 m s. n. m.

Figura 11. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Sendero Laguna Verde. PNN Los Nevados, Nevado Santa Isabel, 4.329 m s. n. m.

Figura 12. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Laguna La Plaza. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente oriental), 4.378 m s. n. m.

Figura 13. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente occidental), 3.716 m s. n. m.

Figura 14. Precipitación anual. Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente occidental), 3716 m s. n. m.

Figura 15. Comparación del espesor promedio anual de la nieve medida en cada campaña de campo entre el glaciar Santa Isabel y la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Figura 16. Espesor promedio de la nieve medida en cada campaña de campo durante 2021, 2022 y 2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Figura 17. Espesor promedio de la nieve medida en cada campaña durante 2023. Glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Figura 18. Fotografías que muestran el cambio experimentado en la superficie del glaciar Santa Isabel, sector El Hongo, entre febrero (izquierda) y diciembre (derecha) de 2023

Figura 19. Balances de masa en 2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Figura 20. Balance de masa anual y balance acumulado, 2006–2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Figura 21. Balances de masa anual por campaña de campo, 2006–2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Figura 22. Balances de masa en 2023. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco

Figura 23. Balance de masa anual y balance acumulado de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco

Figura 24. Balance de masa anual por cada campaña de campo del sector glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Figura 25. Evolución del área glaciar en Colombia en las últimas seis décadas

Figura 26. Evolución del área glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta (Chundua)

Figura 27. Evolución del área glaciar de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Figura 28. Evolución del área glaciar del Nevado del Ruiz (Kumanday)

Figura 29. Evolución del área glaciar del Nevado Santa Isabel (Poleka Kasué)

Figura 30. Evolución del área glaciar del Nevado del Tolima (Dulima)

Figura 31. Evolución del área glaciar del Nevado del Huila (Wila)

Figura 32. Línea de Equilibrio Altitudinal

Figura 33. Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA) intranual del glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Figura 34. Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA) interanual del glaciar Conejeras, Nevado Santa Isabel

Figura 35. Áreas glaciares en zona de ablación para el 2023 en la Sierra de Nevada El Cocuy o Güicán

Figura 36. ELA del Nevado Santa Isabel en 2022. Imagen de satélite Planet Scope, composición de falso color

Figura 37. Seguimiento fotográfico de la extinción del sector Conejeras, Nevado Santa Isabel

Figura 38. El glaciar Conejeras y la red de balizas de ablación glaciar en 2017

Figura 39. Evolución del área del glaciar Conejeras en el Nevado de Santa Isabel desde 2017 hasta 2023 y la red de balizas de ablación glaciar

Figura 40. Espesores de hielo y cartografía Lidar calculados en 2014 para el glaciar Conejeras en el Nevado Santa Isabel

Figura 41. Evolución del límite glaciar del sector El Hongo en el Nevado Santa Isabel desde 2020 hasta 2023 y la red de balizas de ablación glaciar

Figura 42. Ortofotomosaicos del glaciar Conejeras elaborados a partir de imágenes fotográficas de alta resolución desde dron, 2020 (izquierda) y 2023 (derecha)

Figura 43. Registros de monitoreo participativo en el sector Conejeras, Nevado Santa Isabel, PNN Los Nevados

Figura 44. Balance de masa anual y balance acumulado del Nevado del Tolima. Sector glaciar Shimmer

Figura 45. Cambio en la superficie del glaciar Shimmer, Nevado del Tolima, entre marzo (izquierda) y octubre (derecha) de 2023

Lista de tablas

Tabla 1. Glaciares en la cordillera de los Andes

Tabla 2. Área y porcentaje de área glaciar en cada una de las áreas hidrográficas de Colombia

Tabla 3. Altitud de las cumbres de la Sierra Nevada de Santa Marta

Tabla 4. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua de los glaciares de la Sierra Nevada de Santa Marta

Tabla 5. Algunas cumbres y altitud de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Tabla 6. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua de los glaciares de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Tabla 7. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado del Ruiz

Tabla 8. Altitud de las cumbres del Nevado Santa Isabel

Tabla 9. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado Santa Isabel

Tabla 10. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado del Tolima

Tabla 11. Altitud de las cumbres del Nevado del Huila

Tabla 12. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado del Huila

Tabla 13. Campañas de campo para la estimación del balance de masa durante 2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Tabla 14. Balance de masa anual y balance acumulado, 2006–2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Tabla 15. Campañas de campo para la estimación del balance de masa durante 2023. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco

Tabla 16. Balance de masa anual y balance acumulado, 2009–2023. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector glaciar Ritacuba Blanco

Tabla 17. Evolución del área de los seis actuales glaciares colombianos en los últimos 170 años

Tabla 18. Estimación de la ELA en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán y el glaciar Santa Isabel. Promedio histórico y durante 2023

Tabla 19. Área y porcentaje de área en zona de ablación en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Tabla 20. Aproximación al área y porcentaje de área glaciar en zona de ablación en los nevados de Colombia

Tabla 21. Hitos de la glaciología en el Nevado Santa Isabel

Tabla 22. Balance de masa anual y balance acumulado, 2021–2023. Nevado del Tolima, sector Shimmer

Lista de fotografías

Fotografía 1. Volcán Nevado del Tolima

Fotografía 2. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Fotografía 3. Nevado del Tolima

Fotografía 4. Sierra Nevada de Santa Marta

Fotografía 5. Laguna Grande, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Fotografía 6. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Fotografía 7. Nevado del Ruiz, visto desde el Nevado Santa Isabel

Fotografía 8. Nevado del Ruiz

Fotografía 9. Nevado Santa Isabel, glaciares El Hongo y Conejeras

Fotografía 10. Nevado Santa Isabel

Fotografía 11. Nevado del Tolima, sector Shimmer

Fotografía 12. Nevado del Huila

Fotografía 13. Nevado Santa Isabel

Fotografía 14. Vertiente Oriental de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Fotografía 15. Medición de la red de balizas, Nevado del Tolima

Fotografía 16. Último relicto de hielo del sector Conejeras, glaciar Santa Isabel

Fotografía 17. Cráter del Volván Nevado del Tolima

Fotografía 18. Nevado del Huila

Fotografía 19. Nevado del Huila, visto desde el Parque Nacional Natural Puracé

Fotografía 20. Ritacuba Negro, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Fotografía 21. Nevado Santa Isabel, sector Conejeras

Fotografía 22. Extinción del glaciar Conejeras entre 2018 (izquierda) y 2024 (derecha)

Fotografía 23. Cámara de fotoseguimiento instalada cerca al borde del glaciar El Hongo del Nevado Santa Isabel

Fotografía 24. Cambios de área en el glaciar El Hongo entre 2017 (izquierda) y 2024 (derecha)

Fotografía 25. Cambios de área en el glaciar Cuadrado entre 2020 (izquierda) y 2024 (derecha)

Fotografía 26. Glaciar Laguna Verde entre 2022 (izquierda) y 2024 (derecha)

Fotografía 27. Monitoreo participativo en el Nevado del Tolima

Fotografía 28. Colectivo Red de Monitoreo Participativo Volcán Nevado del Tolima

Fotografía 29. Colectivo GAIA Turismo y Naturaleza

Fotografía 30. Comparación cronológica de la superficie glaciar en la baliza 4, glaciar Conejeras

Fotografía 31. Cráter Nevado del Tolima

Fotografía 32. Nevado del Tolima desde el glaciar Santa Isabel

Contenido

	Agradecimientos	14			
	Presentación	17			
	Introducción	18			
1.	Los nevados de Colombia en el contexto de los glaciares de la cordillera de los Andes	20	5.	Área glaciar nacional, evolución histórica y volumen de hielo	78
2.	La distribución espacial y altitudinal de los glaciares colombianos	24	6.	La Línea de Equilibrio Altitudinal como indicador de la evolución de un glaciar y del cambio climático	92
	2.1. Sierra Nevada de Santa Marta (Chundua)	32	7.	La inminente extinción del glaciar Santa Isabel, sector Conejeras	102
	2.2. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma)	36	8.	Monitoreo glaciar participativo	114
	2.3. Nevado del Ruiz (Kumanday)	40	9.	Homenaje a montañistas y exploradores de los glaciares colombianos	122
	2.4. Nevado Santa Isabel (Poleka Kasué)	44		9.1. Juan Pablo Ruiz Soto (1957–2023)	124
	2.5. Nevado del Tolima (Dulima)	48		9.2. Manuel Arturo Barrios Prieto (Manolo, 1956–2023)	125
	2.6. Nevado del Huila (Wila)	50		9.3. Gonzalo Ospina (1959–2019)	126
3.	El clima en la alta montaña alrededor de los nevados	52		9.4. Lenin Granados (1967–1998)	127
	3.1. Comportamiento de la temperatura	54		9.5. Víctor Correa (1978–2012)	128
	3.2. Comportamiento de la precipitación	57	10.	Conclusiones	130
	3.3. Las precipitaciones sólidas	60		Referencias	132
4.	El indicador ambiental Balance de Masa Glaciar	64		Anexos	138
	4.1. Balance de masa del glaciar Santa Isabel, sector Conejeras	66		A. Insumos para el cálculo del área glaciar en el 2022	138
	4.2. Balance de masa en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco	72		B. Información e insumos de los mapas de evolución glaciar	139

Agradecimientos

El Ideam agradece a las siguientes personas y entidades por su apoyo en 2023 en los trabajos de campo, fotografías e información:

- Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional** (Usaid, por su sigla en inglés)
- Alejandro Herrera**, guía de montaña
- Ana Lorena Flórez**, guía de montaña (Güicán de la Sierra)
- Andrés Martínez**, Guía de montaña (PNN Los Nevados)
- Asociación Caldense de Guías de Turismo** (Asdeguías)
- Asociación de Guías e Intérpretes de Turismo Güicán de la Sierra** (Asguinturg)
- Belisario Santiesteban**, campesino y Guía de montaña (Güicán de la Sierra)
- Carlos Ríos**, guía de montaña (PNN Los Nevados)
- Corporación Cumbres Blancas Colombia**
- Daniel Trujillo Márquez**, estudiante Facultad de Ciencias (Universidad de Los Andes)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística** (DANE)
- Diana Díaz**, guía de montaña (Güicán de la Sierra)
- Diego Patiño**, guía de montaña (Güicán de la Sierra)
- Edwin Prada**, guía de montaña (Güicán de la Sierra)
- Floralba Rosas Páez**, montañista de Ibagué, Tolima
- Fredy Arid Tovar Bernal**, docente Universidad del Magdalena
- Grupo de Automatización**, Subdirección de Hidrología, Ideam
- Grupo de Trabajo sobre Nieves y Hielos (GTNH)**, Programa Hidrológico Intergubernamental en América Latina y el Caribe (PHI-LAC).
- Guías de turismo de Manizales**
- Gustavo Acosta**, montañista y fotógrafo
- Heidi Sevestre**, glacióloga francesa
- Janier Diaz Gallego**, guía de montaña (PNN Los Nevados)

- Juan Camilo Otálvaro**, montañista y fotógrafo
- Jonny Ruiz**, guía de montaña (El Cocuy)
- Kristina Adanin**, docente en Northwest Missouri State University, EE.UU.
- Leonardo Centeno**, fotógrafo y montañista
- Lina María Caballero**, exsubdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental
- Louise Thaller**, documentalista independiente, Francia
- Lucía Merchán**, guía de montaña y Concejal de El Cocuy
- Luis Carlos Núñez**, guía de montaña (Güicán de la Sierra)
- María Alejandra Barón**, montañista
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales**
- Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas del Ideam**
- Parque Nacional Natural El Cocuy**
- Parque Nacional Natural Los Nevados**
- Pueblo indígena u’wa**
- Red de Monitoreo Participativo Güicán de la Sierra y El Cocuy**
- Red de Monitoreo Participativo Volcán Nevado del Tolima**
- Servicio Geológico Colombiano**
- Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar** (WGMS, por su sigla en inglés)
- Stanislas Giroux**, documentalista independiente, Francia
- Unión Temporal Operación Nevados** (UTON)
- Universidad Tecnológica de Pereira** (UTP)
- Yina Paola Nocua**, contratista monitoreo glaciar, Ideam

Presentación

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), en su misión de realizar el estudio y seguimiento a los ecosistemas de la nación, divulga anualmente desde el 2018 información y análisis acerca de este especial patrimonio ambiental de la nación y que hace parte de la criosfera terrestre.

Este sexto informe presenta información actual e histórica del indicador ambiental Balance de Masa Glaciar para dos glaciares colombianos que hacen parte de la red del Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS, por sus siglas en inglés): Santa Isabel, sector Conejeras, y Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco. Los balances reportados comprenden el ciclo hidrológico desde febrero de 2023 hasta febrero de 2024, periodo que abarca aproximadamente el fin de la temporada seca de cada año en la región Andina central. Adicionalmente y como innovación, se presenta el primer balance de masa para el glaciar Tolima, sector Shimmer, desarrollado en un ejercicio de monitoreo ambiental participativo en lo que se ha llamado *glaciología participativa*. A través de este ejercicio también se destacan y se reportan mediciones de retroceso del borde inferior para dos glaciares: Cóncavo, en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, y Santa Isabel. Los reportes del primero provienen de un colectivo de jóvenes locales, y los del segundo, de una operadora turística local.

Los datos de área glaciar colombiana que se presentan son los mismos del informe de 2022, ya que el proceso de cálculo, de acuerdo con el proceso estadístico institucional, es bienal, de modo que el próximo cálculo de área es el correspondiente a 2024, que se reportará en el informe de 2025.

Como temas especiales, se exponen las características físicas básicas que se destacan para cada glaciar colombiano, su contexto en la cordillera de los Andes, y se detalla la evolución del glaciar Santa Isabel, sector Conejeras, que a finales de 2023 estaba casi extinto y su tamaño era tan reducido que no fue posible continuar con la toma periódica de datos de su superficie. De esta manera, se cierra un ciclo de 18 años de campañas mensuales de monitoreo como pocos en el planeta.

Fotografía 1. Volcán Nevado del Tolima
© Juan C. Otálvaro (2022).

Introducción

Para inicios del 2022, el área glaciar colombiana fue de **33,09 ±0,63 kilómetros cuadrados (km²)**, que, al ser comparada con el área a principios del 2021 (34,20 ±0,67 km²), manifiesta una reducción de la cobertura glaciar nacional de aproximadamente 1,11 km² (3,2 %). El ritmo de decrecimiento de la cobertura glaciar colombiana sigue constante desde hace varias décadas de 3 a 5 % por año.

El 2023 se destacó por tres situaciones particulares. La primera, el fin del fenómeno climático de La Niña en el primer trimestre de ese año y el inicio de El Niño en el segundo semestre, eventos de variabilidad climática que impactaron el comportamiento de los glaciares. La segunda, el glaciar de referencia nacional e internacional, Conejeras, perteneciente al glaciar Santa Isabel, incrementó alarmantemente su derretimiento y se extinguió entre enero y febrero de 2024. Por este motivo, se dieron por terminadas en febrero de 2024 y después de 18 años de continuo monitoreo mensual, las mediciones de campo cuyos datos sirvieron para estimar, por primera vez en el país, un Balance de Masa Glaciar. La tercera, el Volcán Nevado del Ruiz, localizado 3 km al norte del glaciar Santa Isabel, incrementó su actividad volcánica, lo que generó una suspensión del monitoreo glaciar en la zona por casi cinco meses.

El indicador ambiental Balance de Masa Glaciar representa cuantitativamente el “estado de salud” de un glaciar. Este indicador se calcula mensualmente para el sector Conejeras del glaciar Santa Isabel y bimestralmente para el sector Ritacuba Blanco en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (SNCG). En 2023, fue negativo para ambos sectores: **-5.041 milímetros equivalentes de agua (mm e. a.)** para el primer caso y **-964 mm e. a.** para el segundo, como efecto de las condiciones imperantes de El Niño de fin de año. El Balance de Masa del glaciar Tolima en el sector Shimmer, implementado y calculado en un ejercicio de monitoreo glaciar participativo por el colectivo Red de Monitoreo Participativo del Volcán Nevado del Tolima, bajo la asesoría del Ideam, fue de **-2.396 mm e. a.**

Durante el segundo semestre de 2023, predominaron condiciones de El Niño, particularmente a finales de año e inicios de 2024, traducidas en temperaturas por encima de lo normal y reducción de las

precipitaciones sólidas, que generaron un aumento en el derretimiento especialmente en las partes bajas de los glaciares (zona de ablación glaciar). La precipitación de nieve en los dos glaciares donde el Ideam realiza registros de campo fue disímil: en el glaciar Santa Isabel ocurrieron ocasionales nevadas de pocos centímetros de espesor que se fundieron horas o pocos días después de ocurridas. De acuerdo con mediciones de campo, el promedio de nieve en este glaciar fue de 0 centímetros (cm). Por el contrario, en la SNCG, el promedio de nieve acumulada durante La Niña 2021-2022 fue de 2,30 metros (m), promedio que se mantuvo durante el primer semestre, pero se fundió, paulatinamente, a medida que las condiciones secas imperaban a finales del año.

En el ámbito mundial, y de acuerdo con información reciente divulgada por el Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS), continúa la tendencia de la fuerte pérdida del hielo en las últimas décadas, y el acumulado promedio de reducción del espesor del hielo de los 60 glaciares de referencia mundial desde 1980 es de más de 25 metros equivalentes de agua (m e. a.). El indicador Balance de Masa Glaciar para esa red de referencia mundial (<https://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data/>) sigue siendo muy negativo. En el periodo 2022-2023 el promedio anual del balance de masa fue de -1.523 mm e. a. (en el periodo 2021-2022: -1.568 mm e. a. y en 2020-2021: -858 mm e. a.). Ningún glaciar de los 53 de referencia mundial del periodo 2022-2023 reportó un balance positivo (en el periodo 2021-2022 solo 6 de 60). Por su parte, la Organización Meteorológica Mundial reporta que “los glaciares de los Andes tropicales han perdido, al menos, un 30 % de su superficie desde la década de 1980, y presentan una tendencia negativa en cuanto a su balance de masa de -0,97 metros de equivalente en agua al año durante el período de monitoreo (1990-2020)” (OMM, 2022), y, adicionalmente, informa que 2023 en América Latina y el Caribe “fue el año más cálido del que se tenga constancia” (OMM, 2024).

1. Los nevados en Colombia en el contexto de los glaciares de la cordillera de los Andes



Fotografía 2. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
© Jorge Luis Ceballos (2021).

Es importante ser conscientes de que estas montañas nevadas son la expresión máxima de la gran altitud que alcanza el sistema montañoso más largo del mundo, la cordillera de los Andes (casi 8.000 km). Al igual que su inmensa diversidad topográfica, geológica, climática y, en general, ambiental, los Andes tiene la criosfera más diversa del planeta; desde nieve estacional, glaciares tropicales y extratropicales hasta montañas con permafrost (suelos congelados), y por supuesto una gran diversidad y tipología de glaciares, como de piedemonte, de valle, en Calota, campos de hielo, en cráteres, de montaña, de circo, glaciaretos, cubiertos, descubiertos, rocosos, fríos, politermales, temperados, entre otros*.

Las seis actuales masas glaciares de Colombia son pequeñas en el inventario de los glaciares de la cordillera de los Andes. Sin embargo, por su ubicación latitudinal, son especialmente importantes como indicadores de los cambios en la baja atmósfera (troposfera). Esas seis masas glaciares, con su límite inferior, alrededor de los 4.800 m s. n. m., están muy fragmentadas y con cumbres que localmente superan un poco más de los 5.300 m s. n. m. en las cordilleras y 5.700 m s. n. m. en el sistema orográfico independiente Sierra Nevada de Santa Marta.

En este contexto orográfico, los glaciares colombianos pueden ser clasificados como glaciares de montaña; sin embargo, por su ubicación latitudinal entre los Trópicos de Cáncer ($\pm 23^\circ 26'$ al norte) y Capricornio ($\pm 23^\circ 26'$ al sur), se clasifican como *glaciares tropicales* que, para los Andes, son los glaciares de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y el norte de Chile y Argentina. En general, el 99 % de este tipo de glaciares del planeta están en esta cordillera. Sin embargo, y siguiendo esta característica de ubicación latitudinal, los glaciares de Colombia, Ecuador y el último glaciar de Venezuela (Corona, en el pico Humboldt), por estar cerca de la línea ecuatorial (latitud 0°), se encuentran en una clasificación muy particular en el planeta: *glaciares ecuatoriales*. En tal caso, los Andes poseen el 98 % de estos glaciares (53 % Ecuador, 45 % Colombia); el 2 % restante se encuentra al este de África (Kenia, Tanzania y Uganda) y en Indonesia.

De esta forma, si se comparan los glaciares de Colombia con los de los Andes, se obtiene un contexto cuantitativo aproximado, como el que muestra la tabla 1:

* Para conocer sobre tipología de glaciares, consulte Rivera et al. (2017) en el siguiente enlace: https://www.researchgate.net/publication/319331316_Manual_Balance_de_Masa_Glaciario

Tabla 1. Glaciares en la cordillera de los Andes

País	Área (km²)	Año	Porcenta-je en los Andes	Porcentaje de glaciares tropicales	Altitud del límite inferior glaciar aprox. (m)	Altitud máxi-ma (m)
Chile (1)	21.012	2022	67,9	3,6	0	6.764
Argentina (2)	5.769	2018	27,4	0,8	0	6.871
Perú (3) (8)	1.050	2020	3,4	68,6	4.188	6.739
Bolivia (4) (8)	346	2017	1,1	22,6	-	-
Ecuador (5) (8)	37	2024	0,1	2,3	4.650	6.223
Colombia (6) (8)	33	2022	0,1	2,2	4.800	5.775
Venezuela (7) (8)	0,01	2023	0,000032	0,001	4.942	4.952
Total Andes	28.247	-	100	-	-	-
Total Tropicales	1.532	-	-	100	-	-

Fuentes**: ⁽¹⁾Dirección General de Aguas (2022); ⁽²⁾Inventario Nacional de Glaciares (Ianigla) (2018); ⁽³⁾Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem) (2023); ⁽⁴⁾Ramírez (2014); ⁽⁵⁾Cáceres (2025); ⁽⁶⁾Ideam (2023); ⁽⁷⁾Luis Daniel Llambí (comunicación personal, agosto 2024); ⁽⁸⁾Ramírez et al. (2020).*

**Cabe mencionar que algunas de estas fuentes presentan particularidades a la hora de incluir glaciares en los registros de cada país. Así, la Dirección General de Aguas (2022) incluye los Campos de Hielo en la Patagonia. El Ianigla (2018) incluye los glaciares de Andes Desérticos, Centrales, Patagonia Norte, Patagonia Sur y Tierra del Fuego. Por su parte, en Bolivia, Ramírez (2014) solo incluye los glaciares de la cordillera Real; pero no incluye los glaciares de las cordilleras Apolobamba, Muñecas, Tres Cruces y Santa Vera Cruz y los glaciares de la cordillera Occidental (Sajama, Pomerape, Pirinacota). Y, por último, a pesar de que la Sierra Nevada de Santa Marta se considera como un sistema orográfico independiente, el Ideam (2023) la incluye en este registro de glaciares para lograr una mejor comparación en el continente. Por su ubicación latitudinal al norte del Trópico de Capricornio, los glaciares del norte de Chile y Argentina se consideran tropicales. En Chile los llaman “Secos”, y en Argentina, “Desérticos”.

En un primer momento, al observar las marcadas diferencias de cobertura, altitud, latitud y condiciones climáticas, se asumiría que los glaciares en los Andes son sistemas independientes; sin embargo, las mediciones y observaciones indican que responden, de manera similar, a la dinámica climática planetaria. Si bien estudios locales muestran, por el contrario, gran variedad de dinámicas glaciológicas interanuales (Medwedeff y Roe, 2017), estudios en los Andes muestran pérdidas generalizadas de masa y área. Por ejemplo, En Ecuador los glaciares Cotopaxi y Antisana redujeron su área 37 % y 33 %, respectivamente, entre 1979 y 2007; en Perú, la cordillera Blanca, 27 % entre 1960 y 2000, y la cordillera Vilcanota, 32 % entre 1962 y 2006; Bolivia, por su parte, 51 % en la cordillera Real entre 1976 y 2016 (Masiokas et al., 2020). Venezuela perdió 87 % entre 1952 y 2003 y será el primer país de la cordillera de los Andes sin glaciares. Por su parte, en Colombia, el reducido tamaño de los glaciares, aunado a esa exclusiva posición geográfica en el planeta, presenta datos similares desde hace varias décadas, especialmente desde los 80, tema que se expone más adelante.

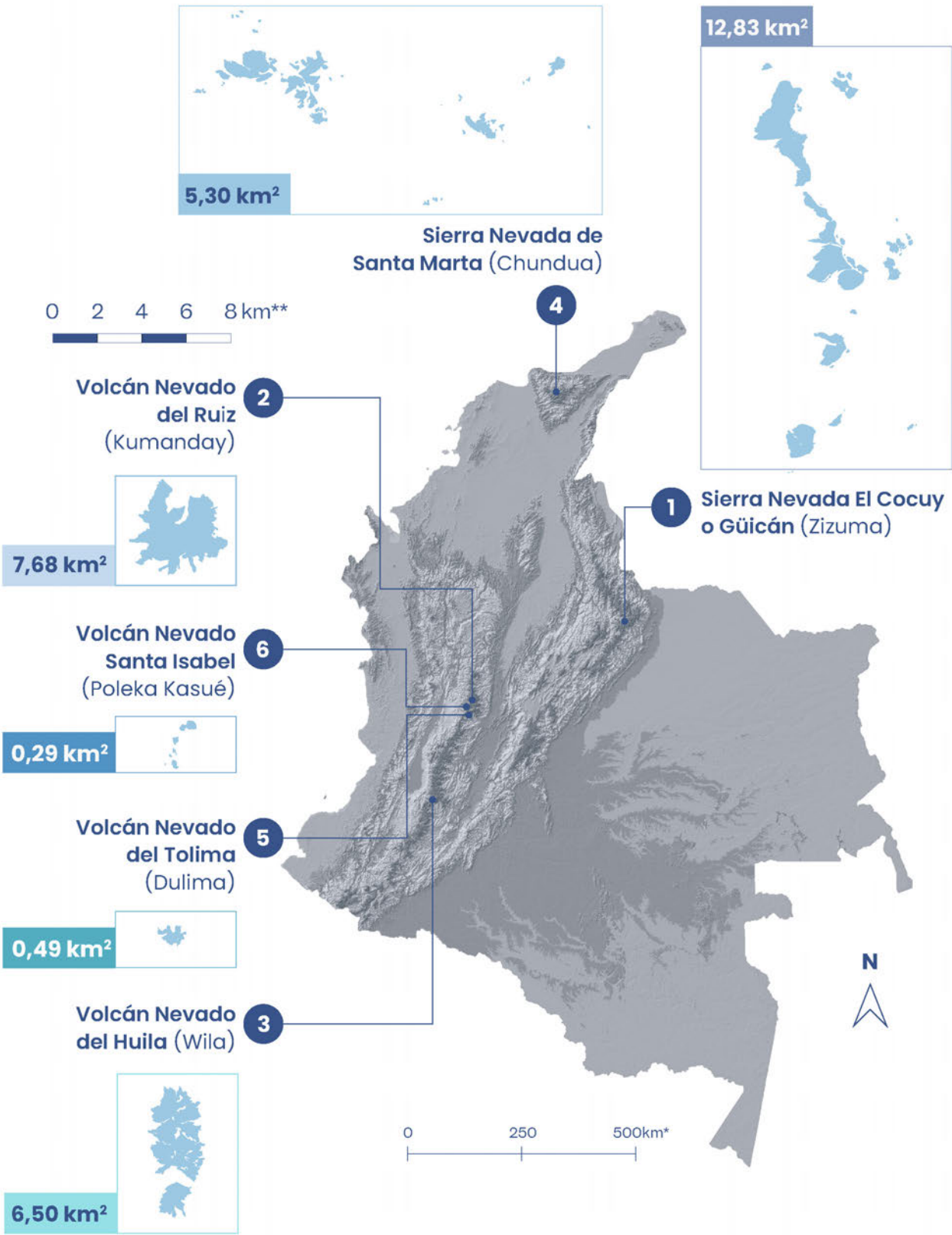
Complementariamente, los glaciares de los Andes, al igual que en Colombia, son un componente fundamental del paisaje, y son interpretados, entendidos, utilizados y definidos por los diferentes grupos sociales desde el marco cultural de cada segmento de la población. Para campesinos, indígenas, montañistas, artistas, científicos y habitantes de ciudad, los glaciares andinos cumplen distintas funciones dentro de sus territorios y se insertan en sus prácticas sociales de distintas maneras.

2. La distribución espacial y altitudinal de los glaciares colombianos

Colombia cuenta aún con relativamente pequeñas masas de hielo que coronan las montañas más elevadas del territorio. Es justamente el factor altitud el que permite tener una maravilla de tal magnitud, que cuenta con una particular distribución en el territorio. Así, pese a su reducido tamaño, los glaciares destacan en la geografía nacional. La figura 1 muestra esta particular distribución y magnitud con glaciares en el centro y en las periferias del relieve nacional. Esta altitud se alcanzó en la formación de las montañas andinas y en la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). En la cordillera Oriental, las mayores altitudes se encuentran en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán con la mayor masa glaciaria del país. En la cordillera Central, esas mayores altitudes se ubican en el centro con cuatro volcanes nevados: Ruiz, Santa Isabel, Tolima y al sur con el Volcán Nevado del Huila. Y, por supuesto, vale la pena mencionar que en el sistema independiente de los Andes, en la SNSM, el macizo litoral de mayor altitud del planeta, yacen los glaciares más septentrionales de América del Sur.

Fotografía 3. Nevado del Tolima
© Jorge Luis Ceballos (2021).

Figura 1. Glaciares actuales de Colombia



Área glaciar 2022: 33,09 ± 0,63km²

*Escala del mapa de Colombia

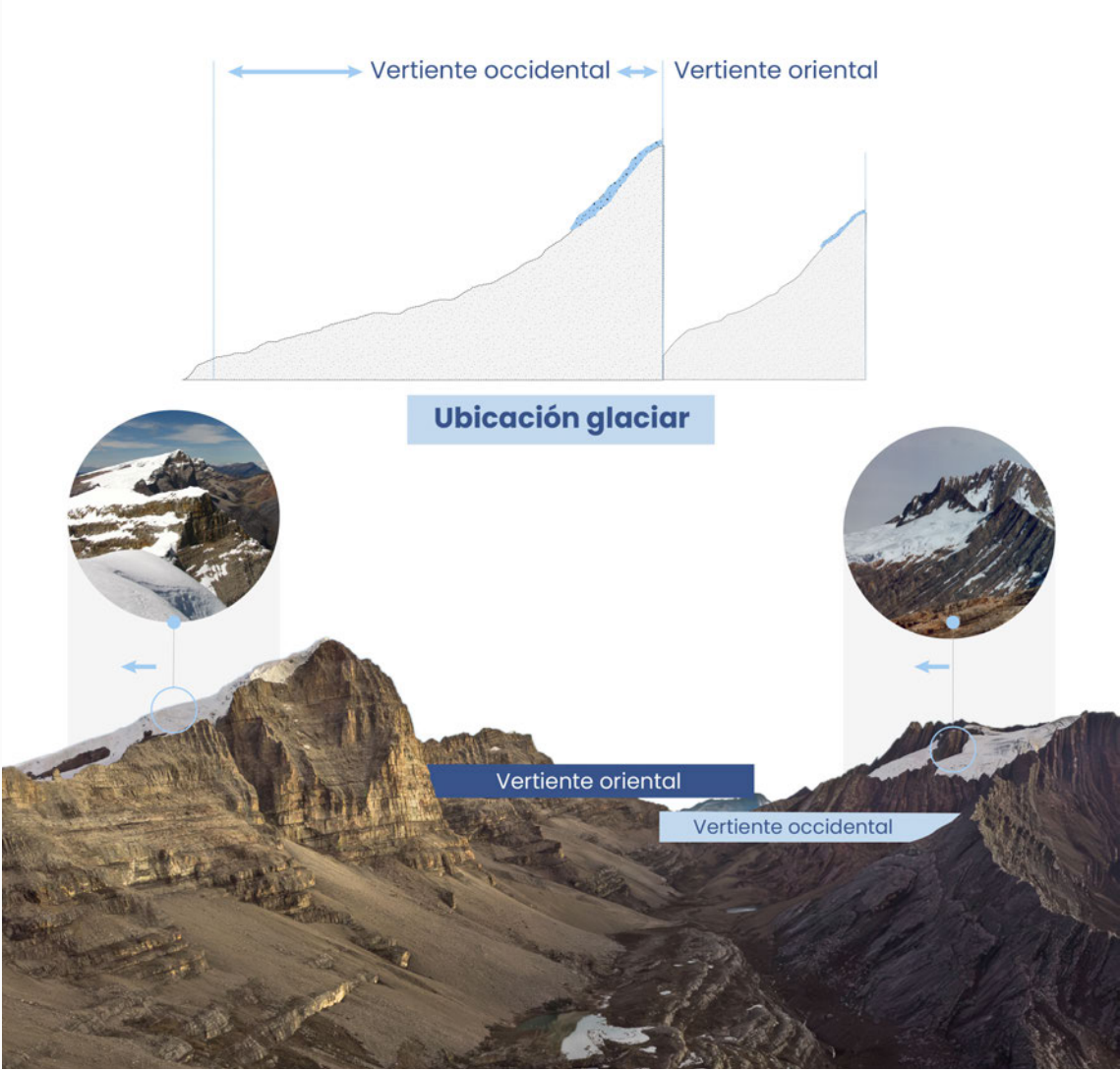
**Escala de las áreas glaciares

Fuente: Ideam (2023).

1	38,77 %	4	16,02 %
2	23,21 %	5	1,48 %
3	19,64 %	6	0,88 %

Cada glaciar tiene unas cualidades morfológicas heredadas de su larga historia tectónica, geológica y climática. Así, las sierras nevadas sobresalen por su longitud y altitud con las cumbres más altas del país. Por su formación geológica, las rocas sedimentarias de la SNCG ofrecen unas montañas con una geometría concreta (montañas plegadas) cuya orientación e inclinación de las capas (buzamiento) han hecho que los glaciares se ubiquen preferencialmente sobre superficies moderadamente inclinadas, planas y largas hacia la vertiente occidental, que curiosamente es más seca, mas no así en la vertiente oriental, más húmeda, donde los glaciares escasean debido a las fuertes pendientes casi verticales (ver figura 2).

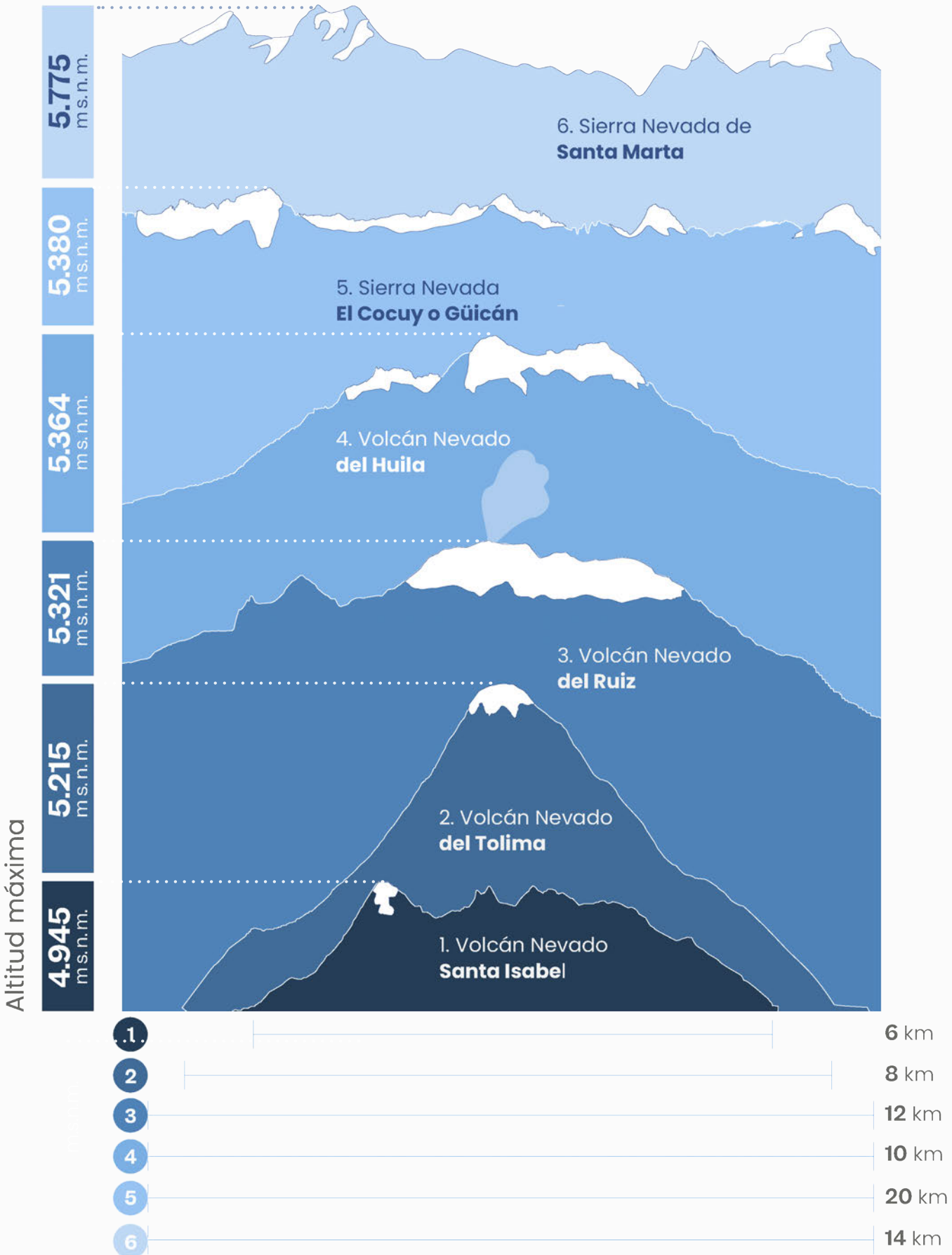
Figura 2. Disposición de los glaciares en la Sierra Nevada El Cocuy



Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Fuente: La fotografía principal es de Leonardo Centeno (2024).

Figura 3. Morfología y altitud de los glaciares colombianos



Por su parte, en la SNSM, por su litología predominantemente metamórfica que forma montañas irregulares con una orientación este-oeste, los glaciares se disponen en aquellas partes donde la pendiente lo permite y están dispersados a lo largo de la sierra. De hecho, la mayoría de sus cumbres son afloramientos de roca sin hielo. En los casos de los cuatro volcanes nevados, fue la azarosa actividad volcánica la que dio forma a las montañas y, por consiguiente, a sus glaciares: el Volcán Nevado del Tolima se destaca por su simetría cónica; el Volcán Nevado del Ruiz, por su alta y amplia “meseta” glaciar; el Volcán Nevado Santa Isabel, por su relativa baja altitud y sus amorfos domos de lava donde el hielo pudo acomodarse, y hacerlo de forma similar; el Volcán Nevado del Huila, por su forma elongada en sentido norte-sur y cuya actividad volcánica logró recientemente subdividir el glaciar. En la figura 3 se muestran estas morfologías topográficas y altitudinales que matizan los nevados en el relieve colombiano.

Percibiendo los glaciares nacionales dentro de la mayor y más importante cuenca hidrográfica, es decir, la del río Magdalena, los nevados parecen tener una particular distribución, ya que ocupan los extremos de la cuenca simulando ser sus vigías (ver figura 4). La tabla 2 muestra el área y el porcentaje de área glaciar en cada una de las áreas hidrográficas del país.

Figura 4. Área glaciар en cada una de las áreas hidrográficas de Colombia

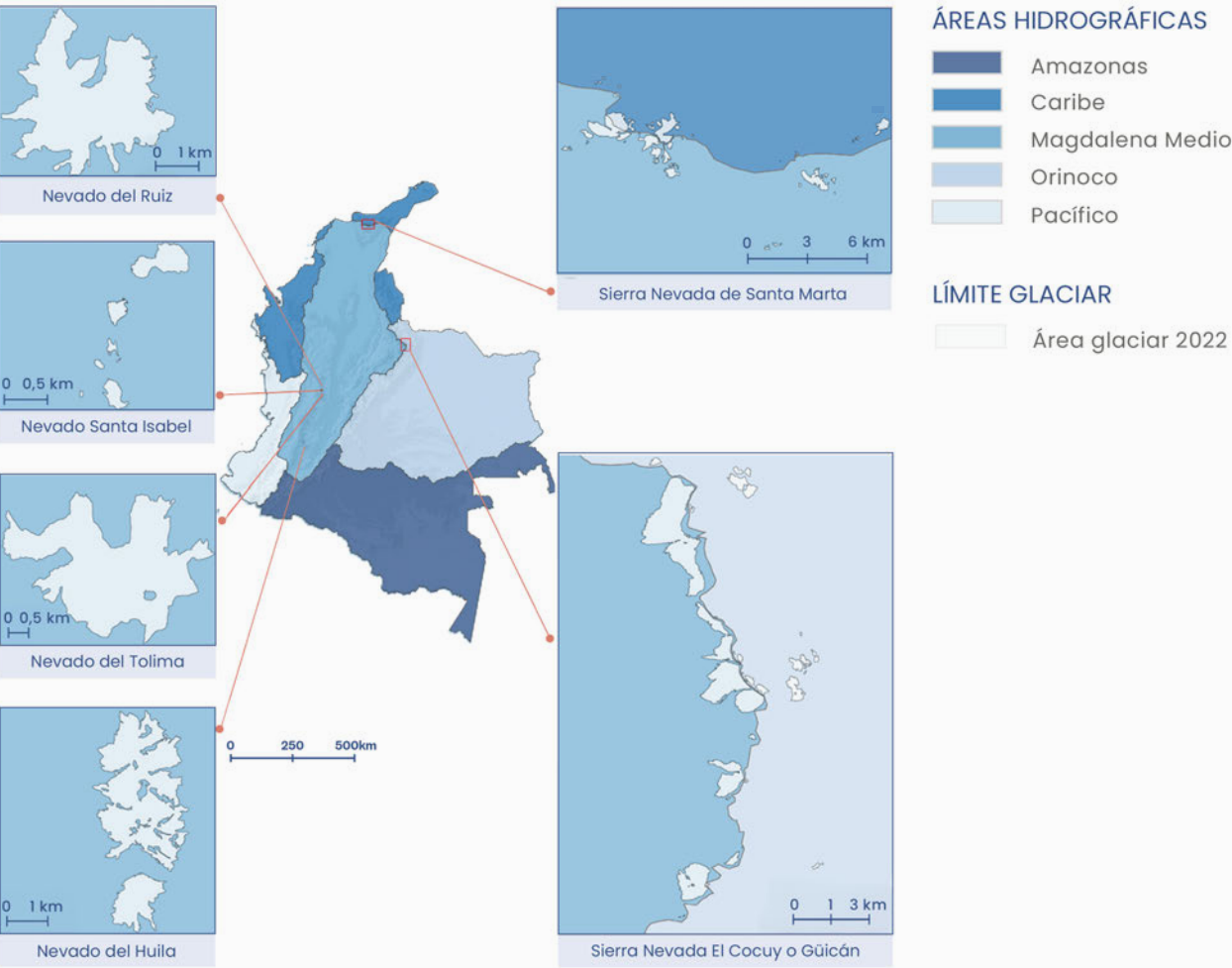
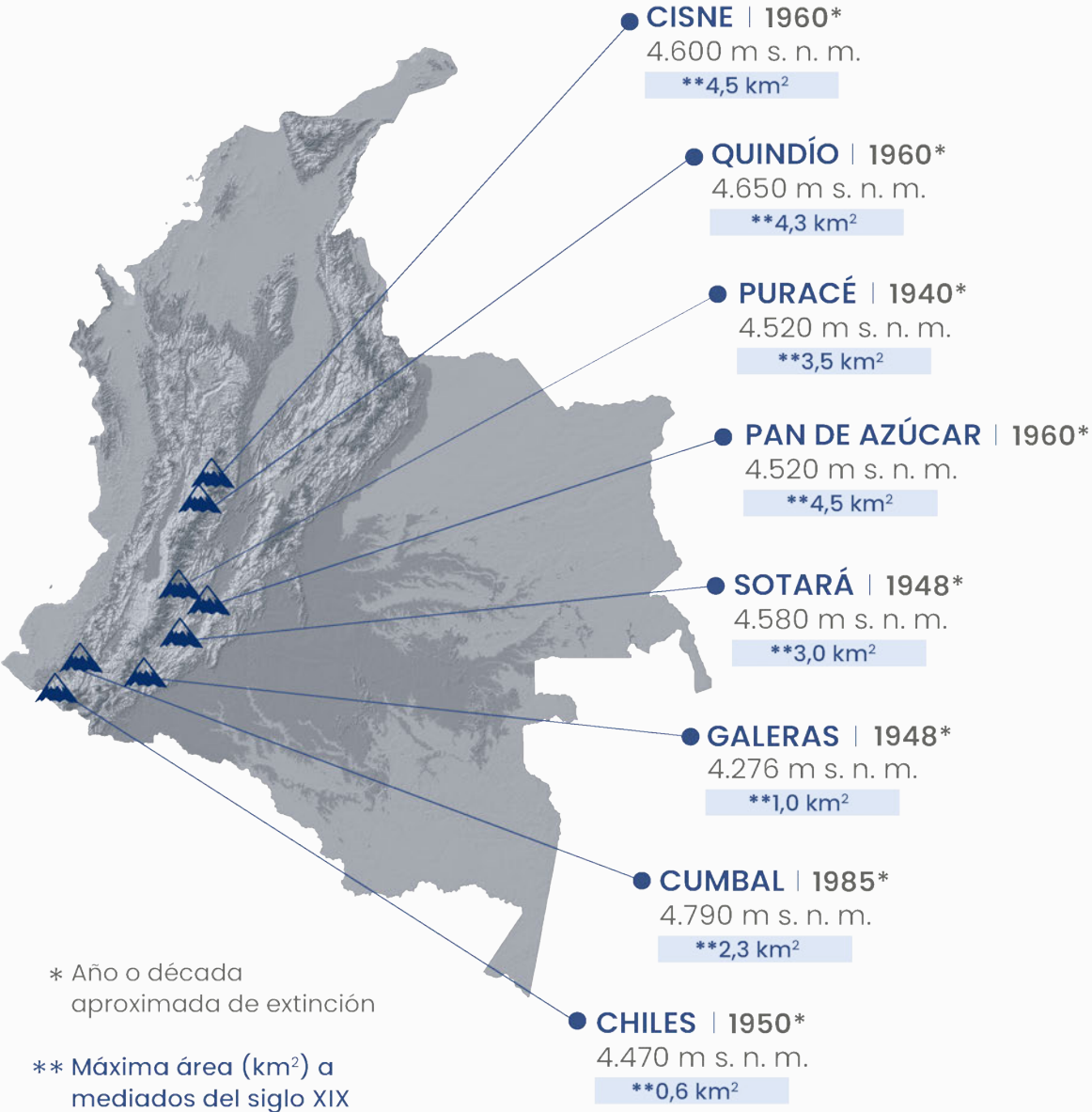


Tabla 2. Área y porcentaje de área glaciар en cada una de las áreas hidrográficas de Colombia

Área hidrográficа	Área glaciар (km²)	Área glaciар (%)
Magdalena	29,47	89,06
Caribe	1,98	5,98
Orinoco	1,64	4,96
Pacífico	0	0
Amazonía	0	0
Total	33,09	100

Evocando los glaciares colombianos del siglo pasado, la figura 5 muestra las principales características de los glaciares extintos en ese periodo (Flórez, 2003). Evidentemente, su pérdida está relacionada tanto con su relativa baja altitud como con unas condiciones climáticas ya adversas en esos tiempos. Siguiendo esa línea de inevitable extinción, se estima que el Santa Isabel, también por esa condición de altitud, se extinguirá en los próximos años, y será el primer glaciar colombiano en desaparecer en el siglo XXI.

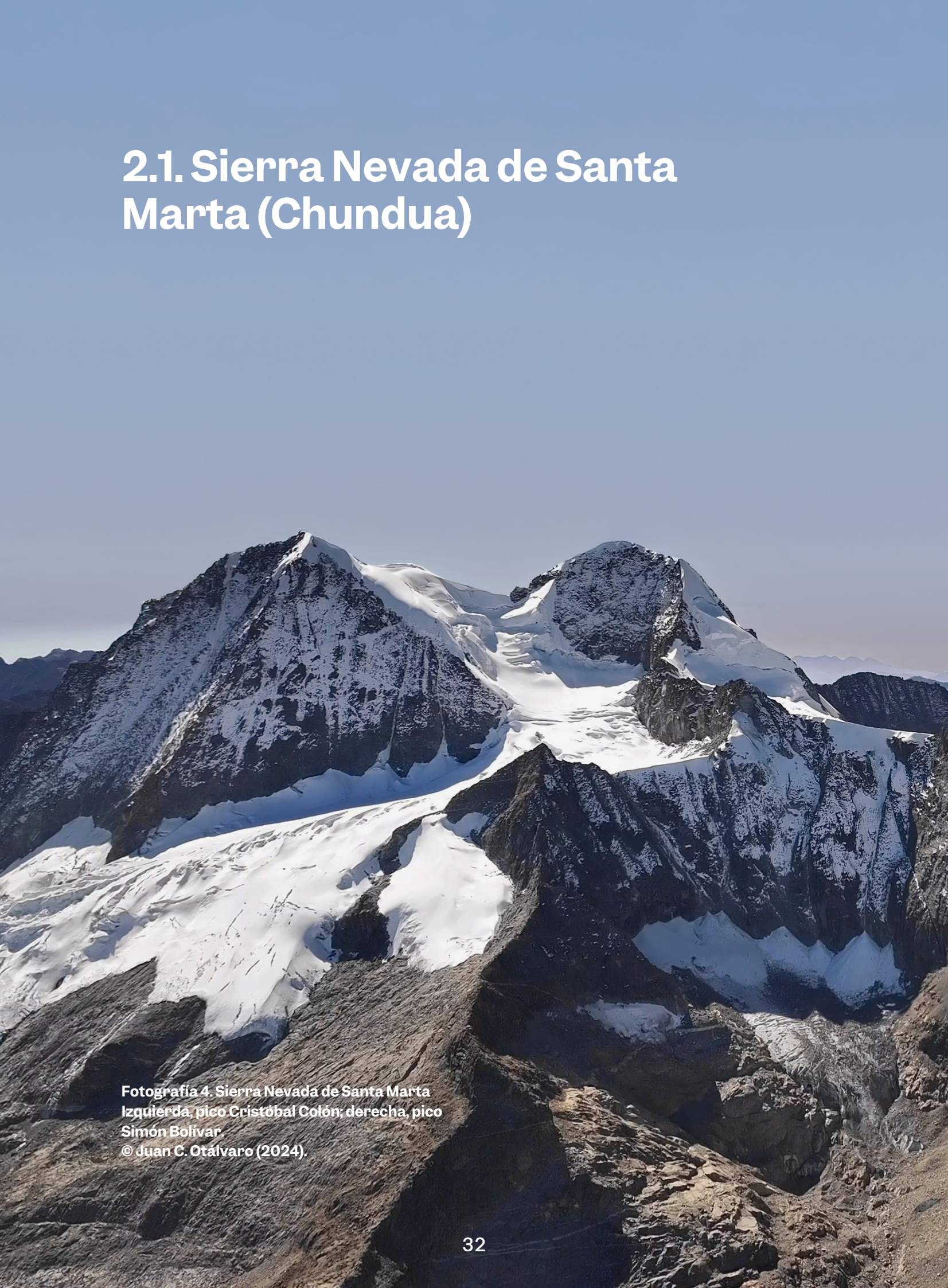
Figura 5. Glaciares extintos en el siglo XX



Nota: Estas montañas son estructuras volcánicas.

Fuente: Elaboración propia con base en Flórez (2003).

2.1. Sierra Nevada de Santa Marta (Chundua)



Fotografía 4. Sierra Nevada de Santa Marta
Izquierda, pico Cristóbal Colón; derecha, pico
Simón Bolívar.
© Juan C. Otálvaro (2024).

Si bien la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentra en jurisdicción del Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta, está ubicada entre los municipios de Aracataca y Santa Marta, en el departamento del Magdalena; en Valledupar, dentro del departamento del Cesar; y en Dibulla, dentro el departamento de La Guajira. Su área glaciar se ubica entre las coordenadas 10° 47' y 10° 52' de latitud norte y 73° 34' y 73° 44' de longitud oeste. Es el macizo litoral más alto del mundo y las montañas glaciadas más septentrionales del territorio colombiano (Ideam, 2012) y, a su vez, del continente suramericano. Se considera un sistema orográfico independiente de la cordillera de los Andes y es el corazón mismo del territorio de cuatro comunidades indígenas: kogui, arhuaco, wiwa y kankuamo.

La Sierra Nevada de Santa Marta está compuesta por 15 cumbres (ver tabla 3). Las aguas de derretimiento glaciar drenan tanto hacia la cuenca del Magdalena como directamente al Caribe (ver tabla 4).

Tabla 3. Altitud de las cumbres de la Sierra Nevada de Santa Marta

Nombre de la cumbre	Altitud (m)
Cristóbal Colón	5.775 ⁽¹⁾
Simón Bolívar	5.775 ⁽¹⁾
Santander	5.572 ⁽²⁾
La Reina	5.500 ⁽¹⁾
Simons	5.560 ⁽¹⁾
Guardián	5.235 ⁽¹⁾
Ojeda	5.500 ⁽¹⁾
Codazzi	5.500 ⁽¹⁾
Tayrona	5.000 ⁽¹⁾
Nevaditos	5.375 ⁽¹⁾
Menders	5.115 ⁽²⁾
Wilches	5.169 ⁽²⁾
Ruiz Erazo	5.157 ⁽²⁾
Tulio Ospina	5.246 ⁽²⁾
Nevado Ramírez	4.933 ⁽²⁾

Fuente: ⁽¹⁾Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2024). ⁽²⁾Cálculo estimado a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) SRTM I2.5.

Tabla 4. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua de los glaciares de la Sierra Nevada de Santa Marta

Río (Nivel 3) ⁽ⁱ⁾	Subzona hidrográfica ⁽ⁱ⁾		Zona hidrográfica ⁽ⁱ⁾	Área hidrográfica ⁽ⁱ⁾
	Río	Área glaciar en la cuenca (km²)		
Mamancanaca	Ciénaga Grande de Santa Marta (río Aracataca)	3,16	Bajo Magdalena	Magdalena-Cauca
Tucurínca				
Fundación	Fundación			
Curibá	Guatapurí	0,72	Cesar	
Donachuí				
Río Palomino	Palomino	1,37	Caribe-Guajira	Caribe
Qda. Navaca				
Qda. Nuanaisi				

Nota: ⁽ⁱ⁾Zonificación Hidrográfica del Ideam.



Fotografía 5. Laguna Grande, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
© Saida Martínez (2024).



2.2. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma)

Fotografía 6. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
© Leonardo Centeno (2024).

La Sierra Nevada El Cocuy o Güicán se localiza sobre las cumbres más altas de la cordillera Oriental de los Andes colombianos, alrededor de las coordenadas geográficas 6° 21’ a 6° 33’ de latitud norte, y 72° 15’ a 72° 19’ de longitud oeste, y es la única masa glaciar sobre dicha cordillera. Su máxima altitud se ubica sobre los 5.380 metros (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2024) en el pico Ritacuba Blanco. Vale la pena mencionar que está bajo la jurisdicción del Parque Nacional Natural El Cocuy, pero los glaciares de esta sierra nevada se encuentran en jurisdicción del municipio de Güicán de la Sierra, en el departamento de Boyacá, y en menor proporción en el municipio de Tame, en el departamento de Arauca.

Los glaciares del flanco oriental hacen parte del territorio del Resguardo Unido U’wa, mientras que las vertiginosas paredes del flanco occidental marcan el límite geográfico del resguardo indígena*.

La Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, en el año 2022 (última actualización de área), estaba compuesta por 20 cumbres nevadas; sin embargo, debido a los cambios de cobertura glaciar de las últimas décadas y a una apropiación del territorio por parte de la población local, una nueva toponimia ha tenido acogida para algunas cumbres no nevadas de la sierra. En la tabla 5 se presentan los nombres y las altitudes de norte a sur en los flancos occidental y oriental.

* Análisis del Ideam, con base a la información espacial de la Agencia Nacional de Tierras (2022).

Tabla 5. Algunas cumbres y altitud de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Nombre de la cumbre	Altitud (m)
Flanco occidental	
Pico Güicán ⁽ⁱ⁾	5.022 ⁽²⁾
Ritacuba Norte ⁽ⁱ⁾	5.230 ⁽¹⁾
Ritacuba Negro ⁽ⁱ⁾	5.350 ⁽¹⁾
Ritacuba Blanco ⁽ⁱ⁾	5.380 ⁽¹⁾
Cerro la Muela ⁽ⁱⁱ⁾	5.130 ⁽²⁾
Picacho ⁽ⁱ⁾	5.050 ⁽¹⁾
Puntiagudo ⁽ⁱⁱ⁾	4.790 ⁽²⁾
San Pablín Norte ⁽ⁱ⁾	5.200 ⁽¹⁾

San Pablín Sur ⁽ⁱ⁾	5.180 ⁽¹⁾
Pico El Espejo ⁽ⁱ⁾	5.020 ⁽²⁾
Pico U'wa ⁽ⁱ⁾	4.920 ⁽²⁾
Pico Sinsiga ⁽ⁱⁱ⁾	4.830 ⁽²⁾
Cóncavo ⁽ⁱ⁾	5.200 ⁽¹⁾
Concavito ⁽ⁱ⁾	5.100 ⁽²⁾
Pico Clarita ⁽ⁱⁱ⁾	4.820 ⁽²⁾
Portales ⁽ⁱⁱ⁾	4.900 ⁽²⁾
Toti ⁽ⁱ⁾	4.900 ⁽²⁾
Pan de Azúcar ⁽ⁱ⁾	5.100 ⁽¹⁾
Púlpito del Diablo ⁽ⁱⁱ⁾	5.090 ⁽²⁾
Campanilla Blanco ⁽ⁱ⁾	4.900 ⁽²⁾
Campanilla Negro ⁽ⁱⁱ⁾	4.800 ⁽²⁾
Flanco oriental	
Nievecitas ⁽ⁱⁱ⁾	4.875 ⁽²⁾
Equino ⁽ⁱⁱ⁾	4.803 ⁽²⁾
Manaba ⁽ⁱⁱ⁾	4.920 ⁽²⁾
Pico La Aguja ⁽ⁱⁱ⁾	5.017 ⁽²⁾
Picos Sin Nombre ⁽ⁱ⁾	5.020 ⁽²⁾
Pico Blanco ⁽ⁱ⁾	4.890 ⁽²⁾
El Castillo ⁽ⁱ⁾	5.150 ⁽¹⁾
Antonio ⁽ⁱ⁾	5.070 ⁽²⁾
Triángulo del Sur ⁽ⁱ⁾	4.830 ⁽²⁾
Piedra el Diamante ⁽ⁱⁱ⁾	4.710 ⁽²⁾
Cerros de la plaza (Pico Blanco y picos Negros) ⁽ⁱ⁾	4.865 ⁽²⁾

Fuente: ⁽¹⁾Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2024). ⁽²⁾Cálculo estimado a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) SRTM 12.

Notas: ⁽ⁱ⁾Cumbre nevada. ⁽ⁱⁱ⁾Cumbre no nevada.

Las aguas de derretimiento glaciar drenan mayoritariamente al Magdalena y, en una proporción mucho menor, al Orinoco (ver tabla

Tabla 6. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua de los glaciares de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Río (Nivel 3) ⁽ⁱ⁾	Subzona hidrográfica ⁽ⁱ⁾		Zona hidrográfica ⁽ⁱ⁾	Área hidrográfica ⁽ⁱ⁾	
	Río	Área glaciar en la cuenca (km²)			
Cardenillo	Nevado	11,04	Sogamoso	Magdalena- Cauca	
Playitas					
San Pablín					
Corralitos					
Cóncavo					
Lagunillas					
Cubogón	Bojabá	1,33	Arauca	Orinoco	
Frailes					
Ratoncito					
Mortiñal	Casanare	0,32	Casanare		
Playón					

Nota: ⁽ⁱ⁾zonificación hidrográfica del Ideam.

2.3. Nevado del Ruiz (Kumanday)



Fotografía 7. Nevado del Ruiz, visto desde el Nevado Santa Isabel
© Jorge Luis Ceballos (2023).

El Nevado del Ruiz se encuentra ubicado en jurisdicción de los municipios de Villamaría, en el departamento de Caldas; en los municipios de Casabianca y Murillo, en el departamento de Tolima; y hace parte de la jurisdicción del Parque Nacional Natural Los Nevados. Está localizado alrededor de las coordenadas geográficas 4° 53' de latitud norte y 75° 19' de longitud oeste. Su cumbre actual y única se encuentra sobre los 5.321 m s. n. m. Su cráter Arenas tiene una morfología irregular y elongada, con un diámetro mayor de 980 m en dirección SO-NE, un diámetro menor de 900 m en dirección SE-NW y una profundidad aproximada de 300 m (Ordóñez et al., 2020). Es considerado uno de los nevados más reconocidos del país por su actividad volcánica en las últimas décadas. Su erupción el 13 de noviembre de 1985 lo convirtió en uno de los volcanes más famosos y monitoreados del planeta.

El Nevado del Ruiz tuvo un cambio de actividad volcánica el 29 de marzo de 2023, que ha generado el mayor número de sismos diarios registrados desde que se inició el monitoreo sísmico en 1985. Así, pasó de nivel de actividad Amarillo a Naranja, lo que indicó una posible erupción en días o semanas. Esto conllevó al cierre del PNN Los Nevados por 89 días (del 30 de marzo al 4 agosto) hasta que retornó a un nivel de inestabilidad menor, y regresó a su estado de actividad anterior (Amarillo), lo cual permitió la reapertura del área protegida.

Las aguas de derretimiento glaciar drenan tanto hacia el Magdalena como al Cauca. La tabla 7 muestra esa distribución.

Tabla 7. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado del Ruiz

Río (Nivel 3) ⁽ⁱ⁾	Subzona hidrográfica ⁽ⁱ⁾		Zona hidrográfica ⁽ⁱ⁾	Área hidrográfica ⁽ⁱ⁾	
	Río	Área glaciar en la cuenca (km²)			
Río Azufrado	Río Gualí	1,75	Medio Magdalena	Magdalena- Cauca	
Río Guali					
Qda. La Lisa					
Qda. La Plazuela					
Qda. El Calvario					
Qda. San Pedro	Chinchiná	2,74	Cauca		
Río Guacaica					
Río Blanco					
Río Chinchiná					
Qda. Negra					
Qda. Termales					
Río Claro					
Río Lagunilla	Río Lagunilla	0,87	Alto Magdalena		
Qda. Aguablanca					
Qda. El Cisne	Río Recio	2,29			
Qda. Corrales					

Nota: ⁽ⁱ⁾zonificación hidrográfica del Ideam.



Fotografía 8. Nevado del Ruiz
© Juan C. Otálvaro (2023).

2.4. Nevado Santa Isabel (Poleka Kasué)

El glaciar Santa Isabel, durante el inventario del 2020, estaba ubicado entre los departamentos de Tolima (Murillo), Caldas (Villamaría) y Risaralda (Pereira). Después de aquel año y debido al rápido deshielo, Pereira ha dejado de contar con área glaciar en su territorio; esto debido a la extinción de los glaciares denominados por el Ideam (2023) como Otún Norte y Otún Sur. No obstante, la cuenca del río Otún aún recibe aguas de deshielo de un relicto de hielo denominado “El Escondido” de apenas 2.000 m² en 2022. Los municipios de Santa Isabel y Santa Rosa de Cabal perdieron sus áreas glaciares entre 2010 y 2016. Este nevado se encuentra en jurisdicción del Parque Nacional Natural Los Nevados.

Sus relictos glaciares se localizaban alrededor de las coordenadas geográficas 4° 49’ N, 75° 21’ O (coordenadas del glaciar El Hongo, aún existente); 4° 48’ N, 75° 22’ O (coordenadas del glaciar Conejeras, extinto), y 4° 48’ N, 75° 22’ O (coordenadas del glaciar Laguna Verde, aún existente). El Santa Isabel es el glaciar de menor altitud en el país (4.945 m s. n. m.), y está próximo a extinguirse. El “Santa” no es una estructura volcánica común con un cráter y una forma convencional, como el Tolima o el Ruiz; más bien es un conjunto de domos o superficies convexas, creadas por la efusión de lavas que se alinean en sentido norte-sur, formando tres cumbres (cumbre Norte, llamada recientemente “Hongo”, cumbre Central y cumbre Sur) (ver tabla 8). Así como sucedió con el municipio de Pereira, la cuenca del río Otún, en enero de 2022, dejó de tener glaciares, y los escasos drenajes de este glaciar corren hacia otras cuencas (ver tabla 9).

Tabla 8. Altitud de las cumbres del Nevado Santa Isabel

Nombre de la cumbre	Altitud (m s. n. m.)
Sur	4.935
Central	4.923
Norte (El Hongo)	4.945

Fuente: cálculo estimado a partir del Modelo de Elevación Digital SRTM 12.5

Fotografía 9. Nevado Santa Isabel, glaciares El Hongo y Conejeras
© Jorge Luis Ceballos (2024).

Tabla 9. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado Santa Isabel

Río (Nivel 3) ⁽ⁱ⁾	Subzona hidrográfica ⁽ⁱ⁾		Zona hidrográfica (i)	Área hidrográfica ⁱ⁾	
	Río	Área glaciar en la cuenca (km²)			
Río Azul	Rio Lagunilla	0,09	Alto Magdalena	Magdalena- Cauca	
Río Claro	Río Chinchiná	0,20	Cauca		
Qda. Juntas					
Qda. Santa Bár- bara	Río Claro				
Qda. Linderos	Río Otún	0,002			
Qda. La Alsacia					

Nota: (i) zonificación hidrográfica del Ideam.



Fotografía 10. Nevado Santa Isabel
© Juan C. Otálvaro (2024)

2.5. Nevado del Tolima (Dulima)



Fotografía 11. Nevado del Tolima, sector Shimmer
Nota: elaboración propia con la cámara de fotoseguimiento donada por la glacióloga francesa Heidi Sevestre (16 de noviembre de 2022).

El glaciar del Tolima está ubicado en el departamento del Tolima, en jurisdicción de los municipios de Ibagué, Anzoátegui y del Parque Nacional Natural Los Nevados. Se encuentra localizado alrededor de las coordenadas geográficas 4° 39’ latitud norte y 75° 19’ longitud oeste. Su área glaciar está sobre un estratovolcán de forma cónica, de modo que se ve representado en una única cumbre ubicada sobre los 5.215 m s. n. m. (cálculo estimado, a partir del Modelo de Elevación Digital SRTM 12.5, IGAC).

El Nevado del Tolima es una de las tres montañas más altas del complejo volcánico Ruiz-Tolima y la segunda masa glaciar más pequeña del país después del Santa Isabel. Cuenta con una única cumbre y está conformado por siete glaciares: Shimmer, Pijao, Totare, Kraus, Ambalá, Dulima, Combeima. Todas las aguas de derretimiento del Tolima pertenecen a la cuenca del Magdalena (ver tabla 10).

Tabla 10. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado del Tolima

Río (Nivel 3) ⁽ⁱ⁾	Subzona hidrográfica ⁽ⁱ⁾		Zona hidrográfica ⁽ⁱ⁾	Área hidrográfica ⁽ⁱ⁾
	Río	Área glaciar en la cuen- ca (km²)		
Río Coello	Coello	0,30	Alto Magdalena	Magdalena
Qda. El Deshielo				
Qda. San Pedro				
Qda. La Siberia				
Qda. Los Andes				
Qda. Las Juntas				
Qda. La Choza				
Qda. Esmeralda				
R. San Romualdo	Totare	0,19		
Qda. Chorroseco				
Qda. San Carlos				
Qda. Los Cazadores				
Qda. La Azufrera				
Qda. El Cebollal				
Qda. Canalones				
Qda. Itsmo				
Qda. El Avión				
Qda. El Placer				

Fuente: ⁽ⁱ⁾Ideam, procesamiento digital, zonificación hidrográfica de Colombia frente a áreas glaciares y áreas glaciares NT.

2.6. Nevado del Huila (Wila)

El Volcán Nevado del Huila es el punto más alto de la cordillera Central; está ubicado entre los departamentos del Cauca (municipio de Páez), Huila (municipio de Teruel) y Tolima (municipio de planadas), en jurisdicción del Parque Nacional Natural Nevado del Huila. Es un volcán activo alargado de norte a sur. El centro del glaciar se ubica alrededor de las coordenadas geográficas 2° 55’ latitud norte, 76° 03’ longitud oeste y en él que se reconocen cuatro cumbres (Pulgarín et al., 2005, citado en Ideam, 2012) (ver tabla 11). Sin embargo, desde 2007, por la actividad volcánica, se ha generado un domo de considerable altura: 5.267 m s. n. m., recostado en el pico sur del volcán y referido por el Servicio Geológico Colombiano (SGC). De esta manera, son cinco las altitudes principales del Volcán Nevado del Huila. Su patrón de drenaje radial es recogido por otro drenaje principal subparalelo (N-S), conformado por el río Páez y su afluente el río Símbola (Correa et al., 2015). Todas las aguas de derretimiento del Huila pertenecen a la cuenca del Magdalena (ver tabla 12).

Tabla 11. Altitud de las cumbres del Nevado del Huila

Nombre de la cumbre	Altitud (m)
Pico Norte	5.304 ⁽ⁱ⁾
La Cresta	5.284 ⁽ⁱ⁾
Pico Central	5.364 ⁽ⁱ⁾
Pico Sur	5.052 ⁽ⁱ⁾
Domo	5.267 ⁽ⁱ⁾

Nota: ⁽ⁱ⁾cálculo estimado a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) SRTM 12.5.

Tabla 12. Cuencas hidrográficas a las que drena el agua del Nevado del Huila

Río (Nivel 3) ⁽ⁱ⁾	Subzona hidrográfica ⁽ⁱ⁾		Zona hidrográfica ⁽ⁱ⁾	Área hidrográfica ⁽ⁱ⁾
	Río	Área glaciar en la cuenca (km²)		
Qda. Verdun	Páez	6,40	Alto Magdalena	Magdalena- Cauca
Qda. La Azufrada				
Qda. Bellavista				
Qda. Aguablanca				
Qda. Dublín				
Río Símbola				
Qda. de Ansayo				
Qda. Quindayo				

Nota: ⁽ⁱ⁾zonificación hidrográfica del Ideam.

Fotografía 12. Nevado del Huila
© Juan C. Otálvaro (2023).

3.

El clima en la alta montaña alrededor de los nevados

Dada su localización geográfica, Colombia recibe la influencia directa de los procesos que se suscitan en el sistema acoplado océano-atmósfera del Pacífico tropical, asociados al ciclo ENOS, lo que genera una variabilidad climática interanual, que ha causado sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones (Ideam, 2007). En el año 2023, los glaciares se vieron influenciados por estos cambios. En el primer semestre, se reflejó el debilitamiento y fin del fenómeno de La Niña, que los venía impactando desde 2021. Para el segundo semestre, en particular, desde agosto, se pudieron evidenciar los efectos del fenómeno de El Niño, con ausencia de nubosidad, aumento leve de la temperatura ambiente y, por ende, derretimiento de la nieve y del hielo, que alcanzaría su mayor impacto en el primer trimestre de 2024, cuestión que evidencia la alta sensibilidad de los glaciares. Se presentan algunos análisis de las variables precipitación y temperatura para las zonas de alta montaña alrededor del glaciar Santa Isabel y de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán.

Finalmente, se presentan los resultados de acumulaciones de nieve, medidas durante las campañas de campo, producto de fuertes nevadas, entre las que se destacan las de 8 y 9 de julio, en la SNCG, y del 14 de octubre de 2023, en el Parque Nacional Natural Los Nevados.

Fotografía 13. Nevado Santa Isabel
© Jorge Luis Ceballos (2024).

3.1. Comportamiento de la temperatura

La temperatura del aire en la Estación Meteorológica Móvil de Altitud (EMMA), localizada sobre la superficie del glaciar Santa Isabel, sector Conejeras, a 4.720 m de altitud, durante el 2023, tuvo en promedio una temperatura de 0,8 °C. El 20 de marzo a las 10:15 a. m. se registró la temperatura máxima del año, con 10,8 °C, y la mínima, el 21 de septiembre a las 3:00 a. m., con -5,7 °C. El 70 % de los datos de esta estación meteorológica estuvieron por encima de 0 °C (ver figura 6), lo cual responde, en parte, al rápido derretimiento de este glaciar.

Por otra parte, a 3,5 km del glaciar Santa Isabel y a una altitud de 4.329 m, la Estación Meteorológica Sendero Laguna Verde registró, en 2023, una temperatura promedio de 4 °C. Así mismo, reportó una temperatura máxima instantánea de 16,3 °C el 2 de octubre a las 12:00 a. m., y la mínima el 27 de enero a las 7:00 a. m., con -2,6 °C, como se muestra en la figura 7, datos que representan el comportamiento del páramo.

Figura 6. Temperatura ambiente promedio diaria, 2023. Estación Meteorológica Móvil de Altitud (EMMA). PNN Los Nevados, glaciar Santa Isabel (sector Conejeras), 4.720 m s. n. m.

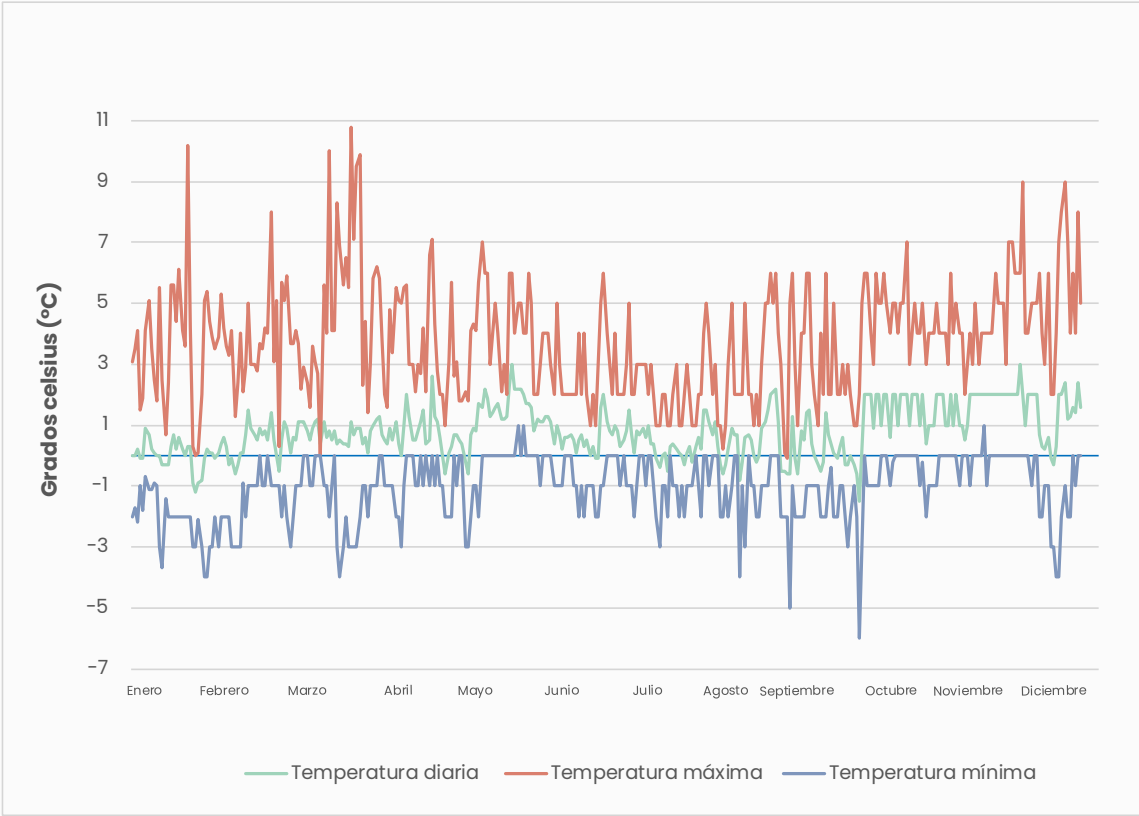
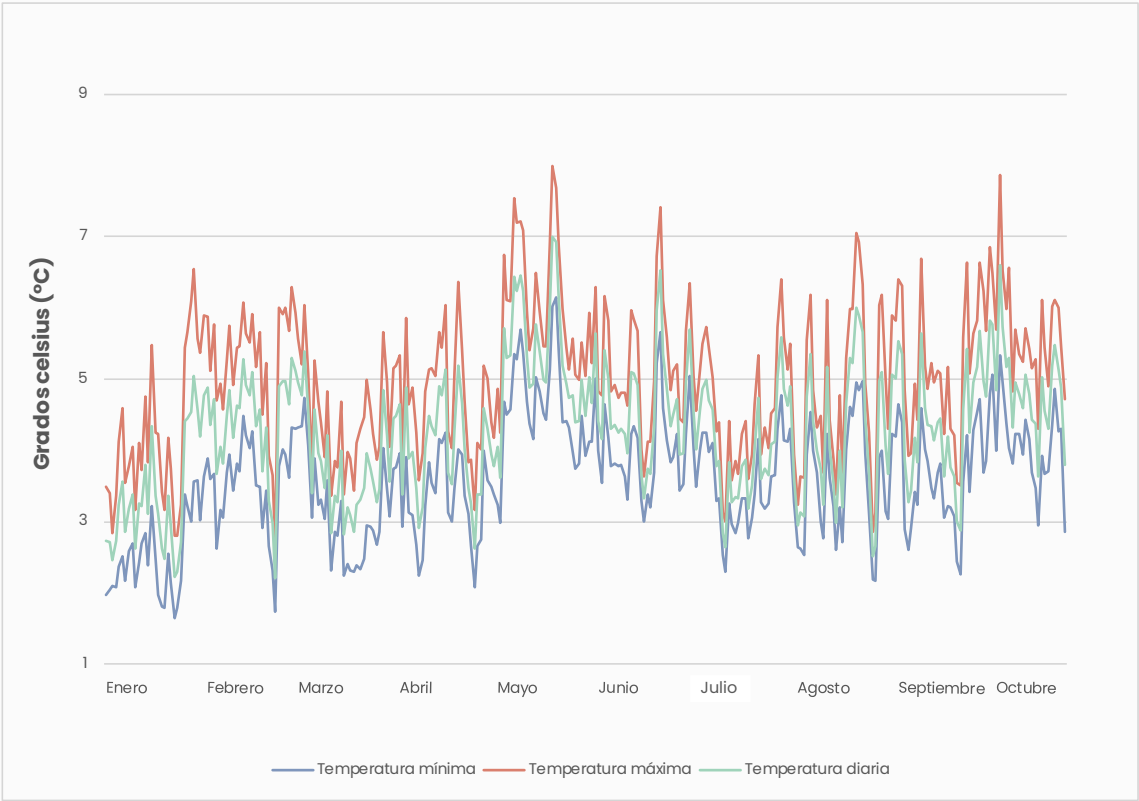


Figura 7. Temperatura ambiente promedio diaria, 2023. Estación Meteorológica Sendero Laguna Verde. PNN Los Nevados, Nevado Santa Isabel, 4.329 m s. n. m.



Respecto a la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, se analizó el comportamiento de la temperatura del aire en las vertientes oriental y occidental. Para la Estación Meteorológica Laguna La Plaza, ubicada en la vertiente oriental, a 4.378 m s. n. m., se registró la máxima temperatura el día 6 de diciembre con 6,27 °C, y la mínima el día 22 de enero con 0,5 °C (ver figura 8). El promedio, durante el año, fue de 3,4 °C. Para la vertiente occidental, como se presenta en la figura 9, se registra el histórico de temperatura de la Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy, ubicada a 3.716 m s. n. m. En ella se muestra una clara tendencia al ascenso de la temperatura media diaria, la cual, en un promedio de 45 años de mediciones, ascendió de 5 °C a 9 °C.

Figura 8. Temperatura ambiente promedio diaria, 2023. Estación Meteorológica Laguna La Plaza, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente oriental), 4.378 m s. n. m.

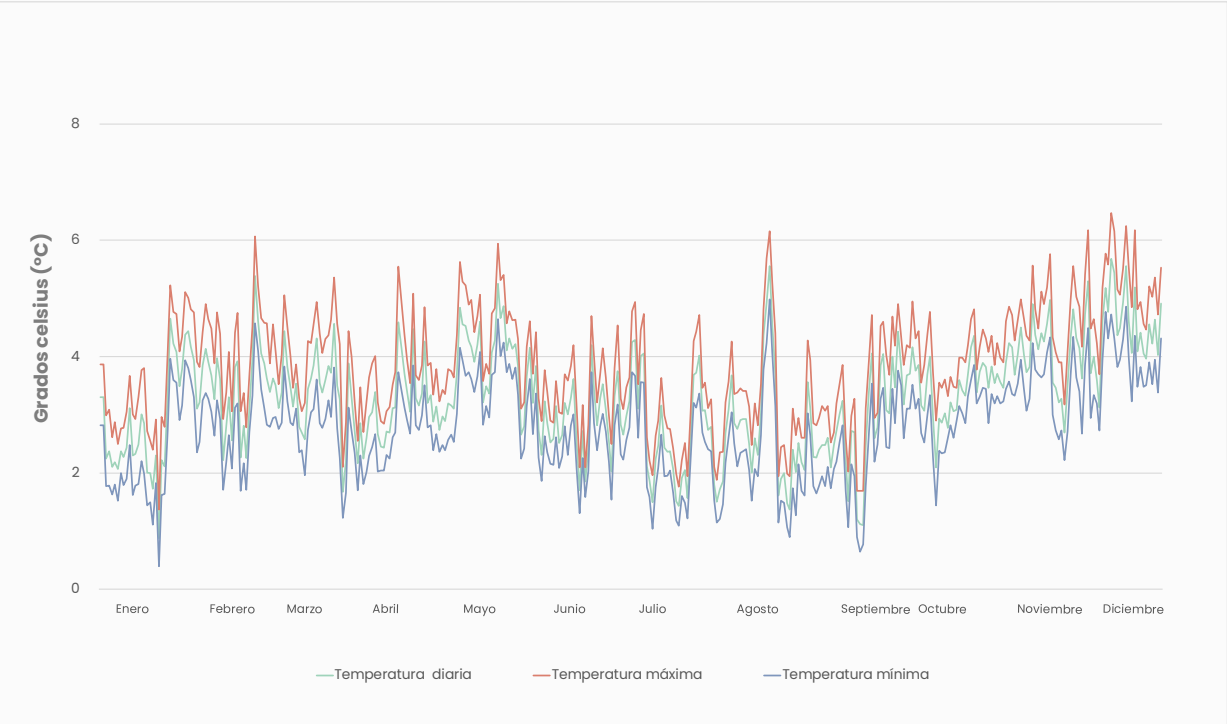
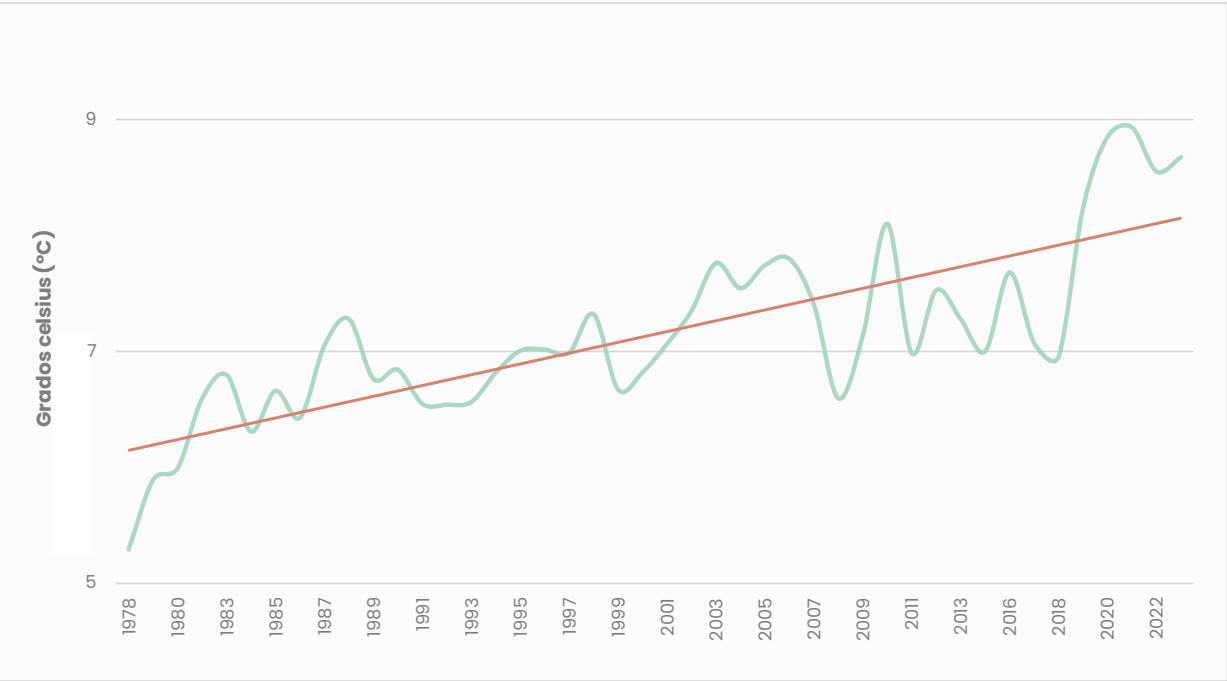


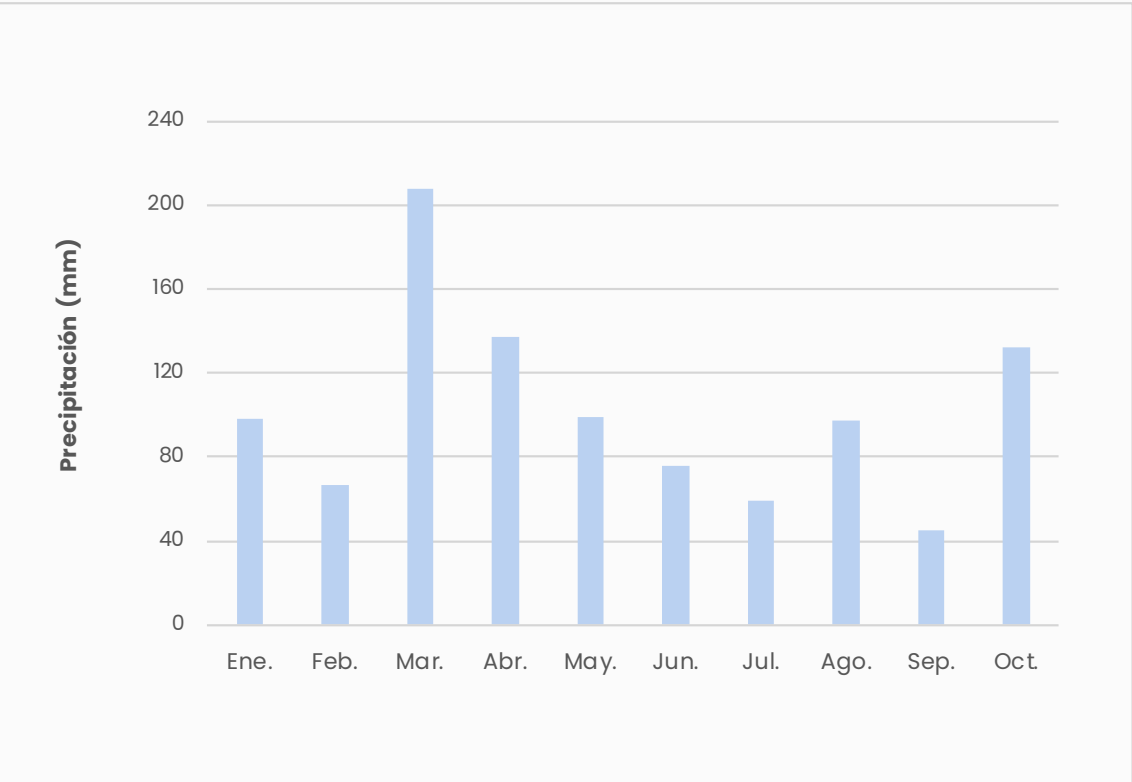
Figura 9. Temperatura ambiente promedio anual. Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente occidental), 3.716 m s. n. m.



3.2. Comportamiento de la precipitación

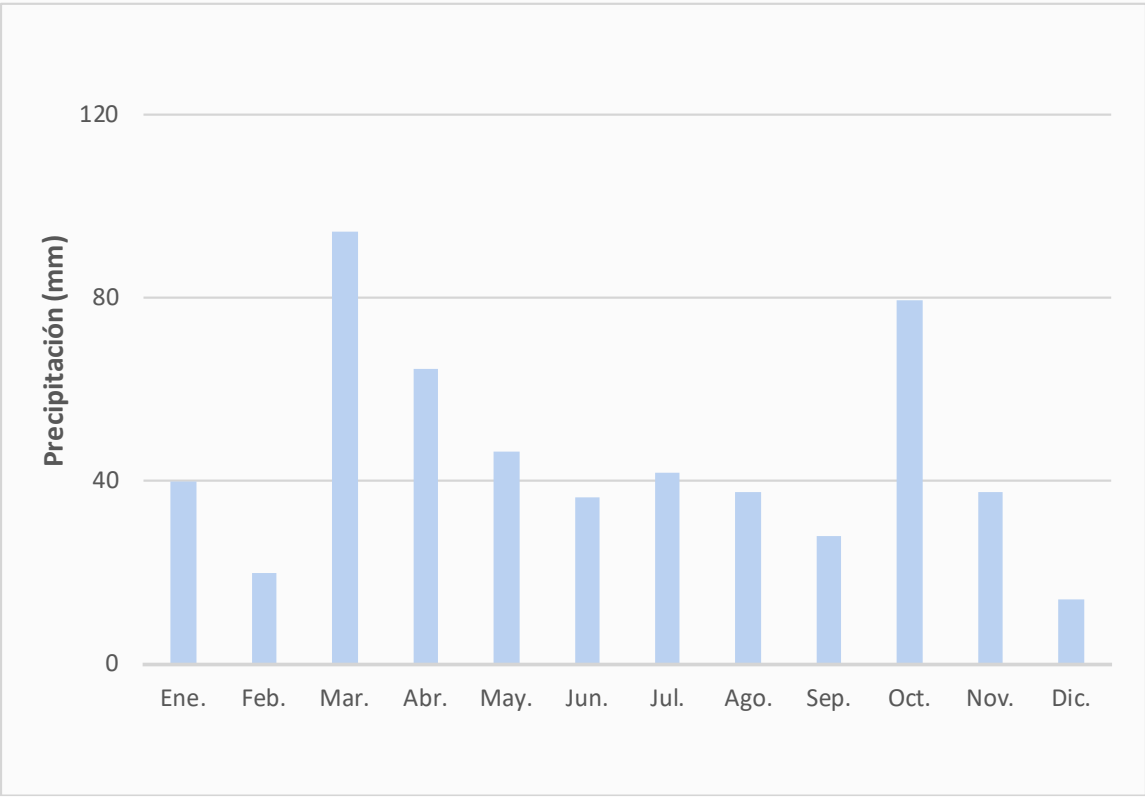
Con relación a la precipitación, la figura 10 muestra, para el 2023, en la Estación Meteorológica Las Brisas, ubicada a 4.776 m s. n. m., en el sector del mismo nombre (PNN Los Nevados) y cerca del glaciar del Ruiz, una disminución de la lluvia después de marzo (mes con mayor precipitación). Esta reducción indica el debilitamiento del fenómeno de La Niña y el inicio del fenómeno de El Niño durante el segundo semestre del año. El total anual de precipitación fue de 1.019 mm, y la máxima precipitación ocurrió el día 22 de agosto con 33 mm.

Figura 10. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Las Brisas. Nevado del Ruiz, 4.133 m s. n. m.



El comportamiento de precipitación en la estación Sendero Laguna Verde, localizada a 4.329 m s. n. m. (ver figura 11), muestra la dinámica bimodal propia de la región Andina. El acumulado total es de 540,4 mm, con dos eventos máximos de precipitación, el 22 de agosto, con 9,9 mm, y el 23 de octubre, con 11,3 mm.

Figura 11. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Sendero Laguna Verde. PNN Los Nevados, Nevado Santa Isabel, 4.329 m s. n. m.



La precipitación en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán tuvo comportamientos similares en las vertientes oriental y occidental (ver figuras 12 y 13), y se denota cierta influencia del régimen climático del oriente colombiano (monomodal). Los mayores eventos de precipitación se registraron en el mes de julio para la Estación Meteorológica Laguna La Plaza, que registró un acumulado total de 1.717 mm, con un evento máximo de 50 mm el 1 de agosto. En la figura 12 también se evidencia una reducción de la precipitación desde agosto, probablemente atribuida a los efectos de El Niño.

En la Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy (ver figura 13), se obtuvieron datos de enero a septiembre, con un acumulado total de 341 mm. El mayor evento se registró el 14 de agosto con 29 mm.

Figura 12. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Laguna La Plaza. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente oriental), 4.378 m s. n. m.

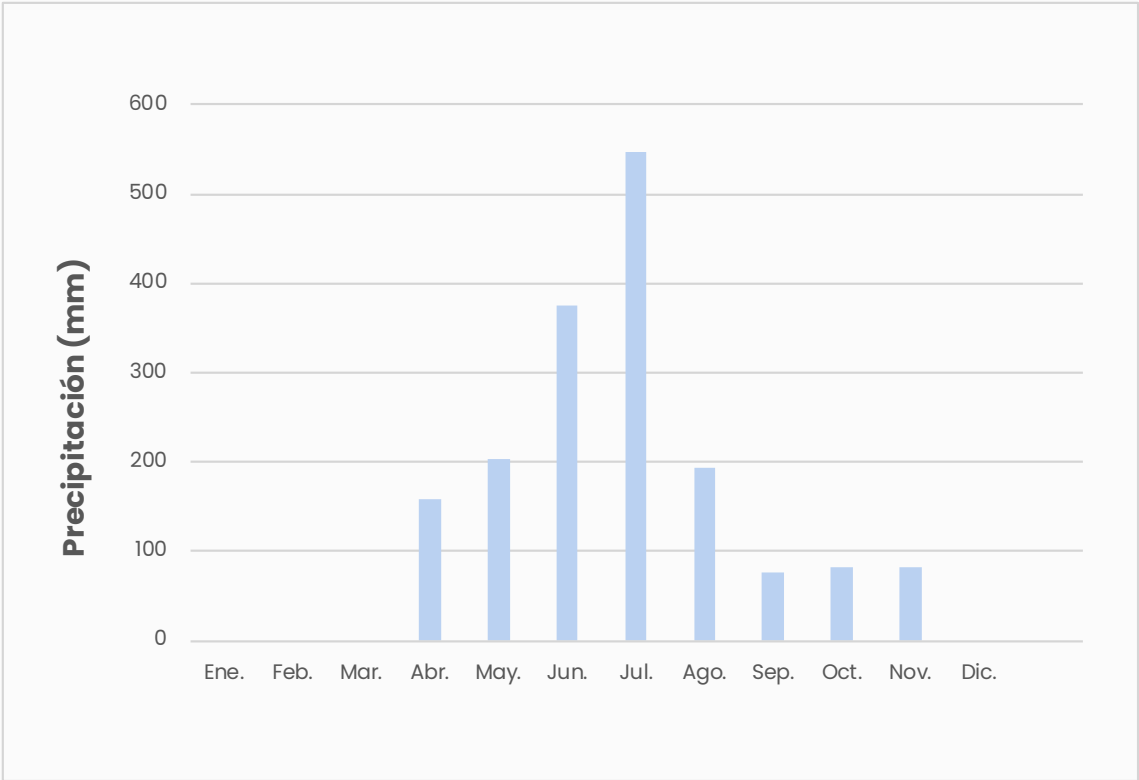
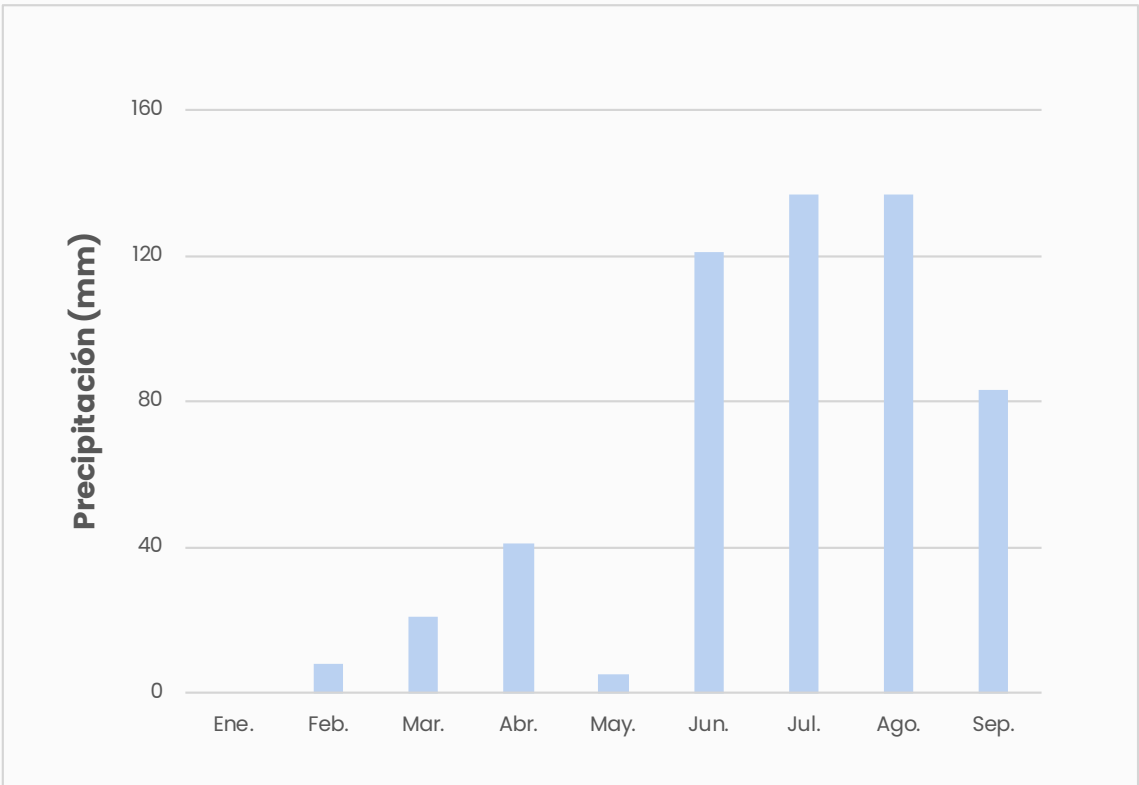
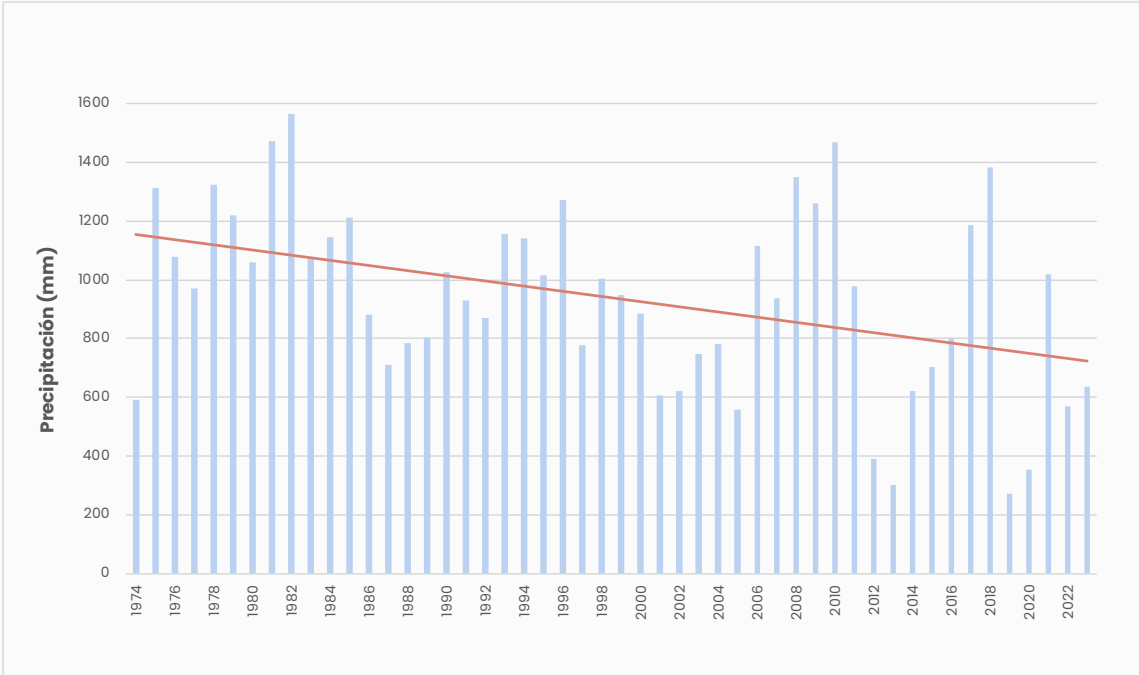


Figura 13. Precipitación mensual, 2023. Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente occidental), 3.716 m s. n. m.



La Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy es una de las estaciones vigentes más antigua en la alta montaña, ya que durante cincuenta años ha registrado datos de precipitación y temperatura, entre otras variables, que han permitido conocer el comportamiento del clima en la alta montaña. En cuanto a precipitación, la figura 14 muestra el histórico anual acumulado desde 1974 hasta 2023. En ella se observa que la mayor precipitación se presentó en 1982, con 1.564 mm, y la menor en 2019, con 271,3 mm; un 82 % por debajo del año con mayores lluvias.

Figura 14. Precipitación anual. Estación Meteorológica Sierra Nevada El Cocuy. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (vertiente occidental), 3.716 m s. n. m.



3.3. Las precipitaciones sólidas

Registrar la cantidad de precipitación sólida (nieve y granizo) que cae y se deposita sobre la superficie de un glaciar puede ser una tarea relativamente sencilla, que consistiría en medir con una estaca graduada desde la superficie hasta el límite con el hielo. Sin embargo, en realidad, es complejo registrar el dato exacto de esa cantidad en equivalentes de agua líquida en un lapso, debido al viento y liviandad de los copos o cristales de hielo, que impiden la caída precisa en el pluviómetro, y a su acumulación en la entrada del instrumento, que impide el registro. No obstante, se han aprovechado las campañas de

campo durante cada año para medir, en la red de balizas o estacas distribuidas sobre los glaciares de estudio, el espesor promedio acumulado, con el fin de obtener un dato estimado de este tipo de precipitación.

Se ha podido, de esta manera, conocer el comportamiento temporal de la acumulación de la nieve y la magnitud aproximada de ese tipo de eventos. Los registros indican una dinámica diferencial; en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, se presentan unas magnitudes mucho mayores que en el glaciar Santa Isabel, debido a condiciones geográficas, como altitud, y características climáticas locales (humedad, temperatura y vientos que traen consigo nubosidad), que definen no solo la cantidad de nieve, sino también cómo esas condiciones locales facilitan o impiden su derretimiento. Las figuras 15, 16 y 17 muestran esas diferencias geográficas y regionales, así como la dinámica temporal. Para el glaciar Santa Isabel se muestran las magnitudes de nieve acumulada en 2021, 2022 y 2023, ya que, durante este último año, si bien se reportaron nevadas, la nieve caída no permaneció acumulada el tiempo suficiente para ser medida antes de derretirse rápidamente. Por el contrario, en la SNCG, las magnitudes son mucho mayores, constantes, y, gracias a ello, se puede apreciar el impacto de la temporada seca de fin de año más la influencia de El Niño con reducción en las precipitaciones.

Figura 15. Comparación del espesor promedio anual de la nieve medida en cada campaña de campo entre el glaciar Santa Isabel y la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

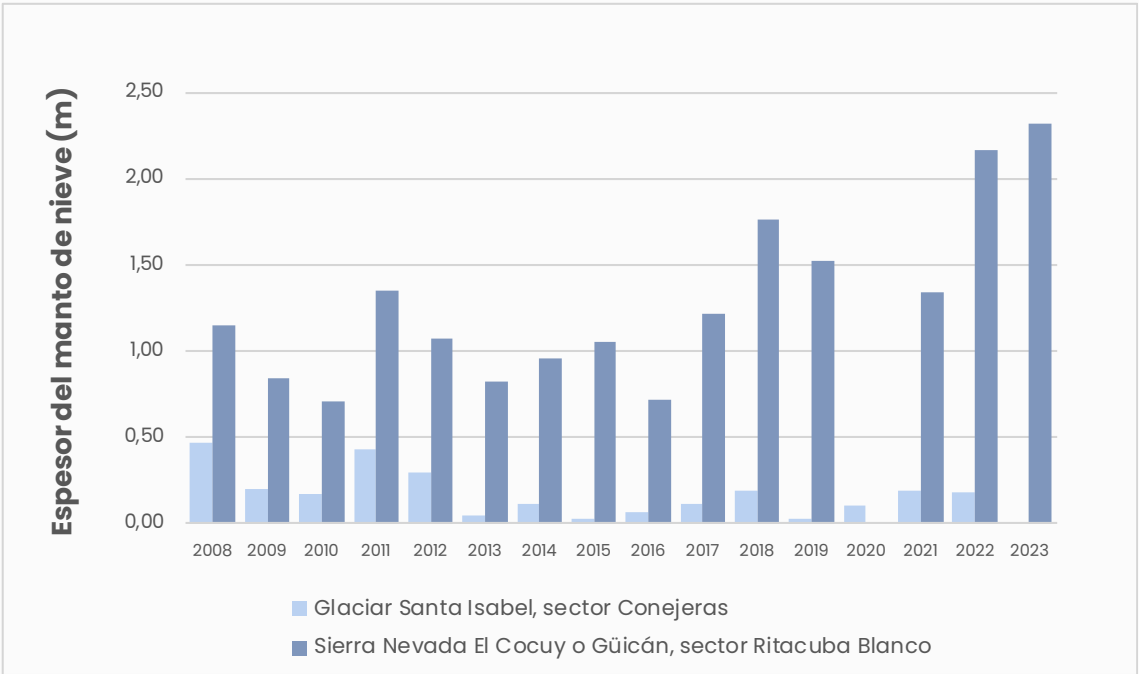


Figura 16. Espesor promedio de la nieve medida en cada campaña de campo durante 2021, 2022 y 2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

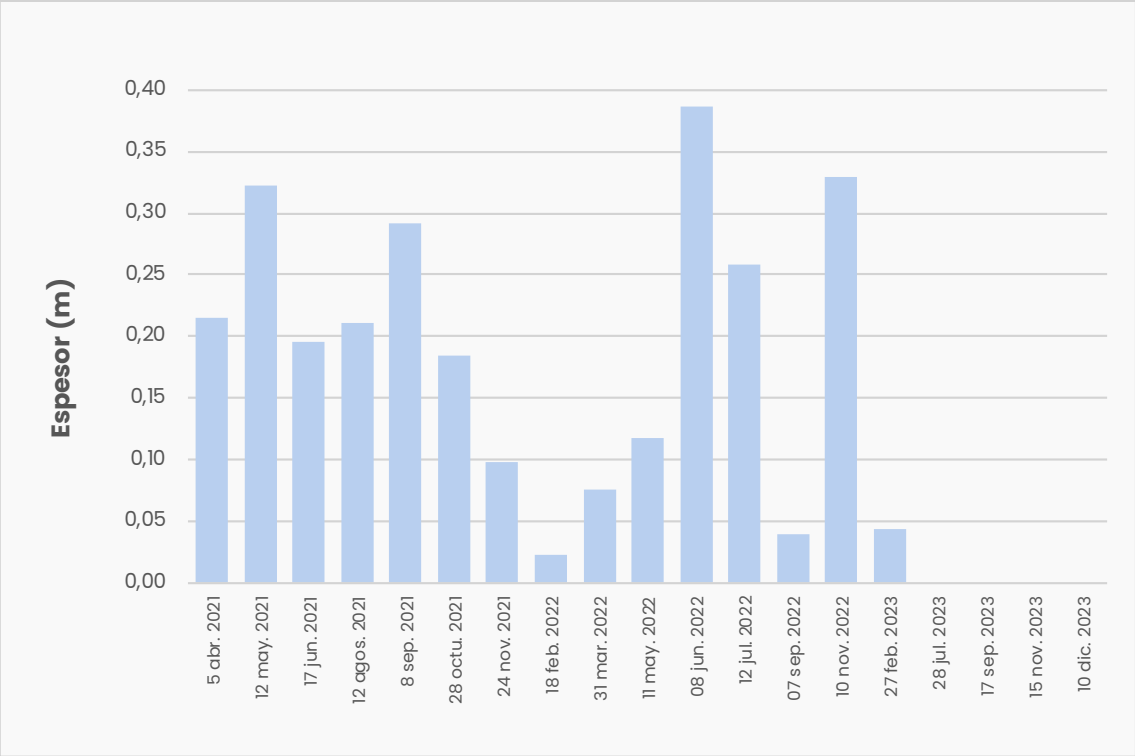
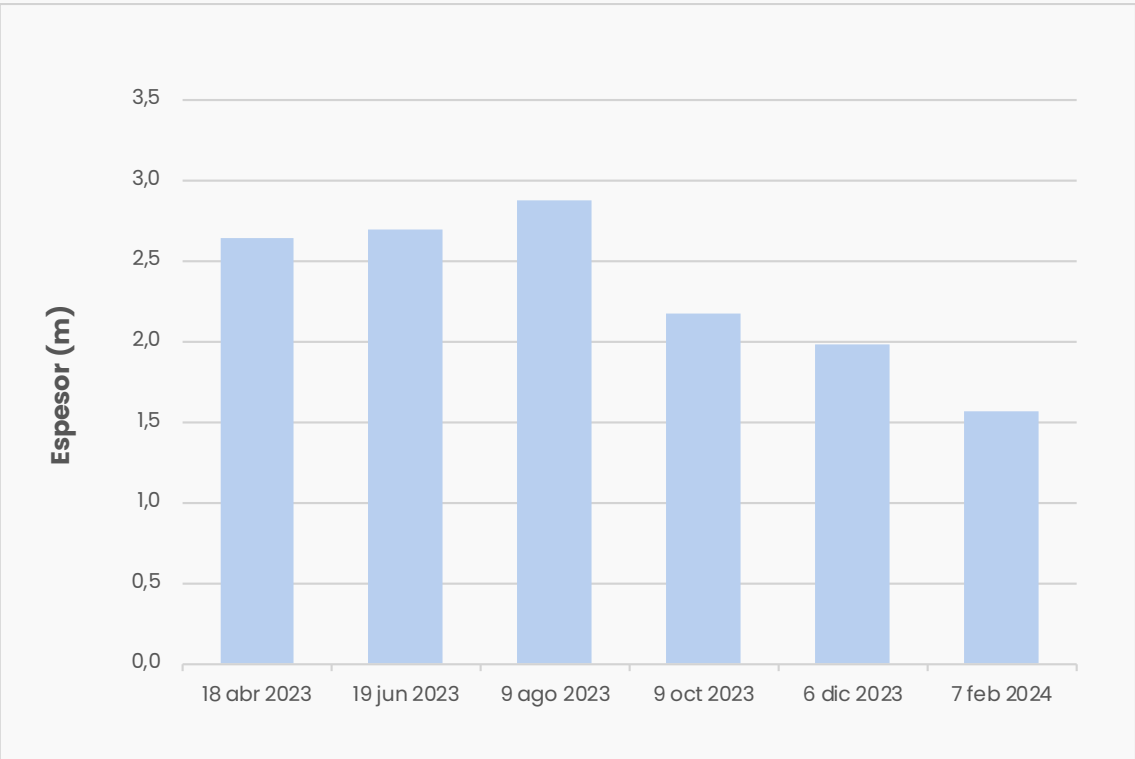


Figura 17. Espesor promedio de la nieve medida en cada campaña durante 2023. Glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán



Fotografía 14. Vertiente Oriental de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
© Jorge Luis Ceballos (2021).

4. El indicador ambiental Balance de Masa Glaciar

El Balance de Masa es un indicador ambiental que explica el comportamiento de un glaciar. Se puede asociar a la dinámica del clima y se calcula en muchos glaciares del planeta para conocer el ritmo e intensidad del cambio climático. Consiste en estimar cuánta masa gana o pierde un glaciar durante un tiempo determinado, y, básicamente, corresponde con la sumatoria de la acumulación (ganancia de masa) y de la ablación glaciar (pérdida de masa), lo cual se relaciona con el comportamiento de la atmósfera a su alrededor.



Fotografía 15. Medición de la red de balizas, Nevado del Tolima
© Alexander Herrera (2022).

Valores positivos indican ganancia de masa glaciar, y negativos, pérdida; valores iguales a cero señalan equilibrio de la masa glaciar. Se expresa en milímetros equivalentes de agua (mm e. a.), unidad asociada a un volumen equivalente de agua líquida. El método utilizado en Colombia por el Ideam es el directo (*in situ*) y consiste en la instalación de balizas o estacas distribuidas sobre la superficie glaciar a modo de regla para medir los cambios de esa superficie, tanto del hielo como de la nieve, en el tiempo. El Balance de Masa Glaciar es una estadística ambiental oficial única en el país, certificada por el DANE, y de importancia mundial. De manera coloquial, se interpreta como el “estado de salud” de un glaciar.

En Colombia, se calcula con una periodicidad mensual desde 2006 en el glaciar Santa Isabel, sector Conejeras, y en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán; bimestralmente desde 2009, en el sector Ritacuba Blanco; y, recientemente, mediante un ejercicio de monitoreo participativo en el glaciar Tolima, sector Shimmer, desde 2021.

4.1. Balance de masa del glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

El balance de masa para este glaciar en ese sector durante el periodo del 27 de febrero de 2023 al 3 de febrero de 2024 (341 días) fue de -5.041 mm e. a. Este resultado superó ampliamente el registrado en el periodo anterior de -2.434 mm e. a. (18/02/2022 a 26/02/2023, 373 días). Se atribuye este acelerado derretimiento, en ese periodo, a su relativa baja altitud, reducida área, poco espesor del hielo, ceniza volcánica en su superficie, temporadas secas sin nieve y, al término de 2023, a la influencia de El Niño (ver figura 18). La tabla 13 y la figura 19 exponen los balances de masa anual durante el ciclo hidrológico 2023, calculados con base en cinco campañas de campo. Estos balances indican no solo unas pérdidas de masa considerables, sino también una transición del evento de variabilidad climática de La Niña al evento inverso de El Niño.

Figura 18. Fotografías que muestran el cambio experimentado en la superficie del glaciar Santa Isabel, sector El Hongo, entre febrero (izquierda) y diciembre (derecha) de 2023

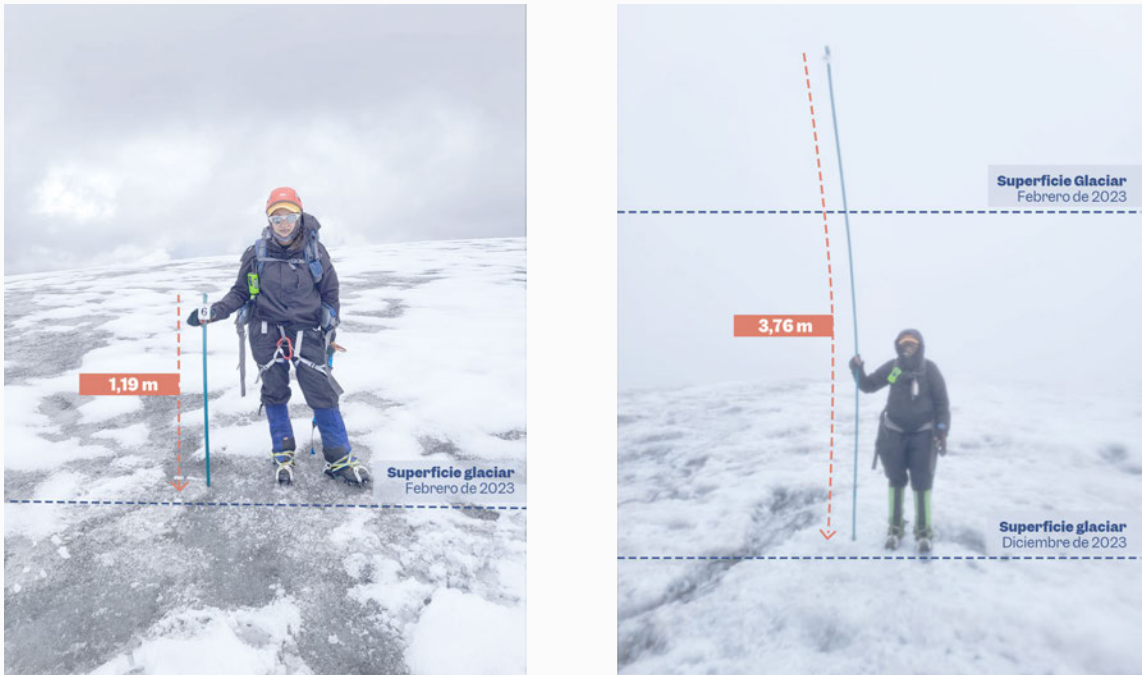
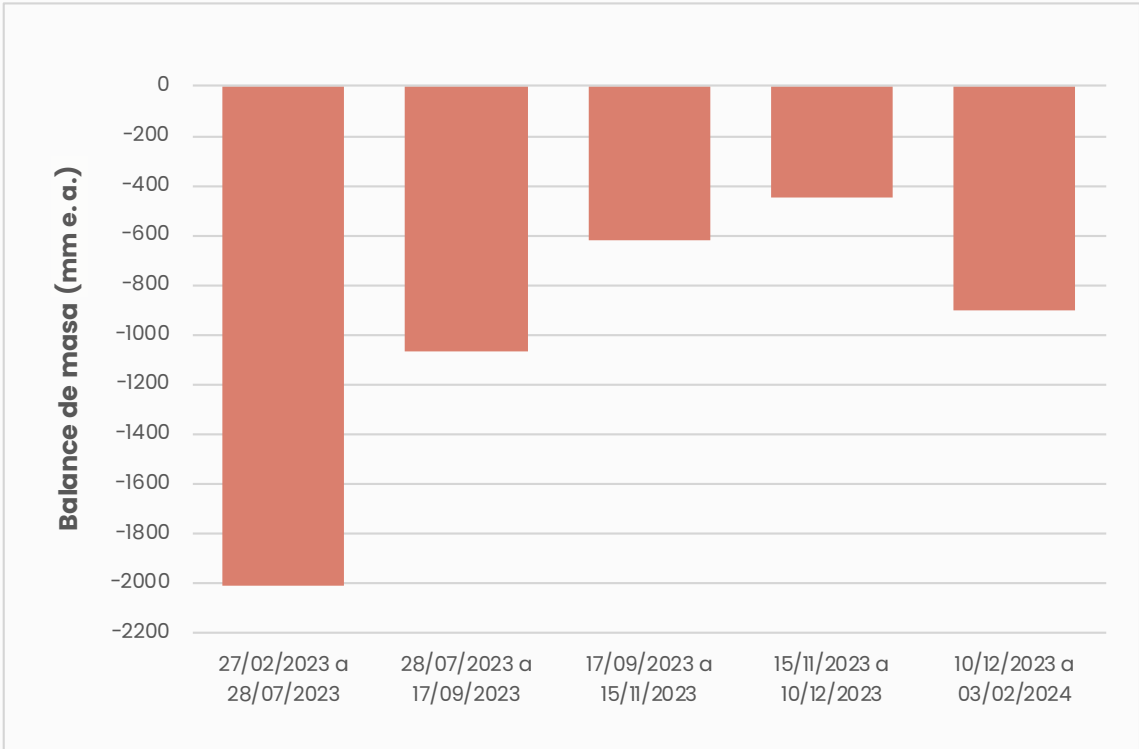


Tabla 13. Campañas de campo para la estimación del balance de masa durante el ciclo hidrológico de 2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Periodo	Número de días entre periodos	Balance de masa (mm e. a.)
27/02/2023 a 28/07/2023 ⁽ⁱ⁾	151 ⁽ⁱ⁾	-2.009,1 ⁽ⁱ⁾
28/07/2023 a 17/09/2023	51	-1.064,1
17/09/2023 a 15/11/2023	59	-617,9
15/11/2023 a 10/12/2023	25	-450,0
10/12/2023 a 03/02/2024	55	-900,0

*Nota: ⁽ⁱ⁾La duración de este periodo de registro en 2023 se debió al cierre del PNN Los Nevados por la actividad del volcán del Ruiz.

Figura 19. Balances de masa en 2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras



En el contexto del monitoreo histórico de este glaciar, la tabla 14 y las figuras 20 y 21 muestran los balances de masa anuales. Como se puede observar, desde que se iniciaron las mediciones en 2006, este glaciar ha estado en permanente desequilibrio con las condiciones climáticas, y se evidencia que las pérdidas de masa han sido la constante. La menor pérdida de masa ocurrió en 2011, durante el fenómeno climático extremo de La Niña, cuando aumentaron significativamente las precipitaciones de nieve y granizo. El balance de masa acumulado negativo, de más de 61 metros, puede asimilarse a una reducción del espesor del glaciar de esas dimensiones.

Tabla 14. Balance de masa anual y balance acumulado, 2006-2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Año hidrológico	Balance de masa mm e. a.	Balance de masa acumulado m e. a.
2006	-2.390	-2.4
2007	-1.462	-3.9
2008	-610	-4.5
2009	-3.345	-7.8

2010	-3.399	-11.2
2011	-883	-12.1
2012	-2.540	-14.6
2013	-3.682	-18.3
2014	-4.084	-22.4
2015	-5.599	-28.0
2016	-5.545	-33.5
2017	-4.265	-37.8
2018	-3411	-41.2
2019	-4.981	-46.2
2020	-4.986	-51.2
2021	-2.743	-53.9
2022	-2.434	-56.4

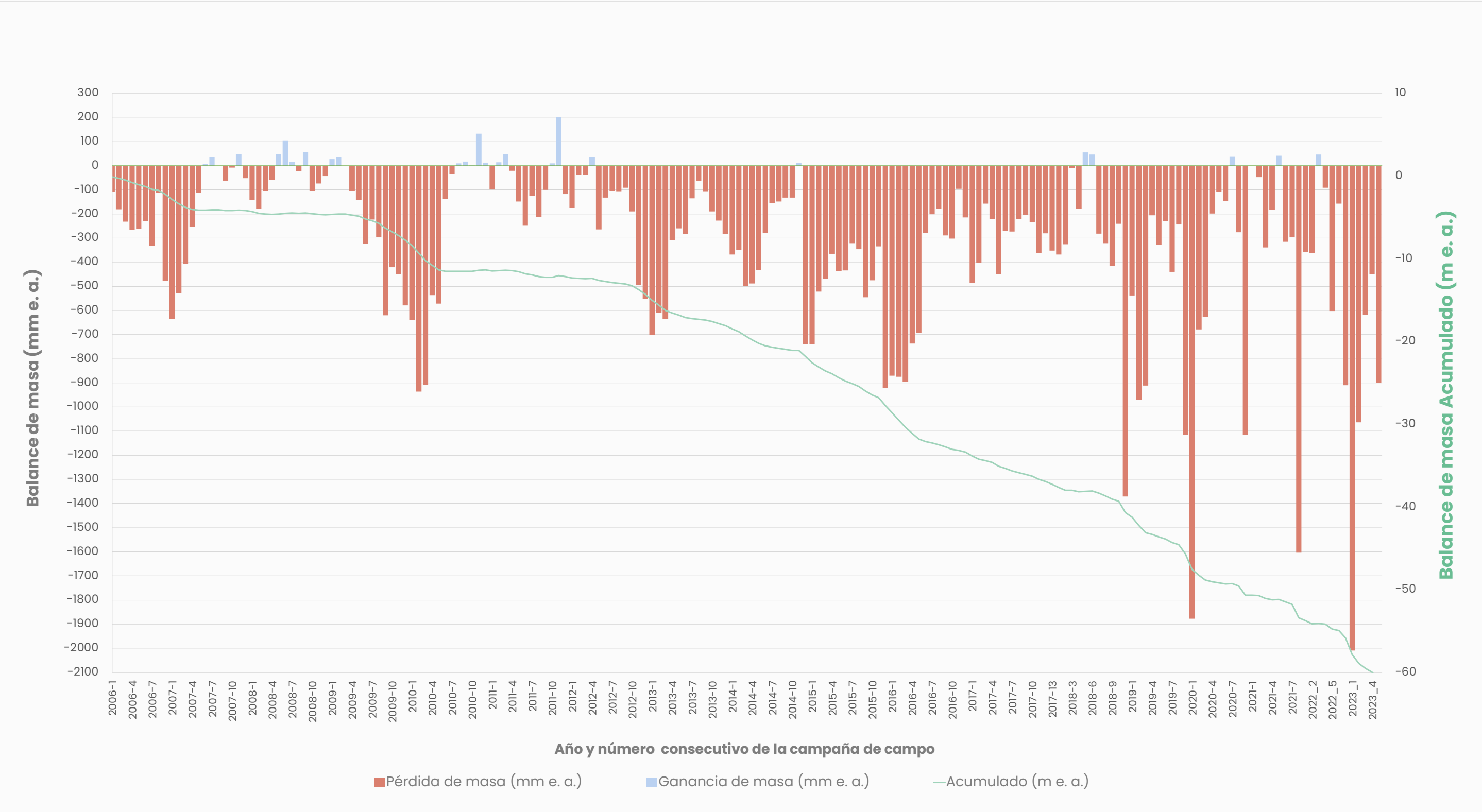
Fuente: Ideam (2023).

Figura 20. Balance de masa anual y balance acumulado, 2006-2023. Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras



Fuente: Ideam (2023).

Figura 21. Balances de masa anual por campaña de campo, 2006-2023.
Glaciar Santa Isabel, sector Conejeras



Fuente: Ideam (2023).

Vale la pena destacar que, debido al intenso derretimiento del hielo y la ausencia de nieve acumulada, el glaciar Conejeras, que hace parte del Santa Isabel, se extinguió por completo entre enero y febrero de 2024. Por lo tanto, después de 18 años consecutivos, se dieron por terminadas las mediciones de campo en este sector, cuestión que se considera un hito, en el estudio de un glaciar nacional, al haber estimado un balance de este tipo hasta su extinción. La fotografía 7 permite observar la marcada pérdida de espesor del último relicto de hielo de este glaciar en solo cuatro meses.

Fotografía 16. Último relicto de hielo del sector Conejeras, glaciar Santa Isabel



Fuente: Yina Nocua (izquierda, diciembre de 2023); Andrés Cruz (derecha, marzo de 2024).

4.2. Balance de masa en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco

En 2009, se eligió el glaciar Ritacuba Negro, localizado al norte de esta sierra nevada, para realizar un cálculo del balance de masa. Este cálculo se llevó a cabo hasta 2012, cuando, por movimientos propios del glaciar que generaron agrietamientos, resultó difícil y peligroso su acceso para la toma de datos, por lo que se trasladó el sistema de medición al glaciar vecino al sur, Ritacuba Blanco.

El balance de masa del Ritacuba Blanco, durante el periodo del 4 de marzo de 2023 al 7 de febrero de 2024, fue de -964,4 mm e. a., cuestión que representa un cambio drástico frente al registrado durante el periodo anterior, que equivale a +654 mm e. a.

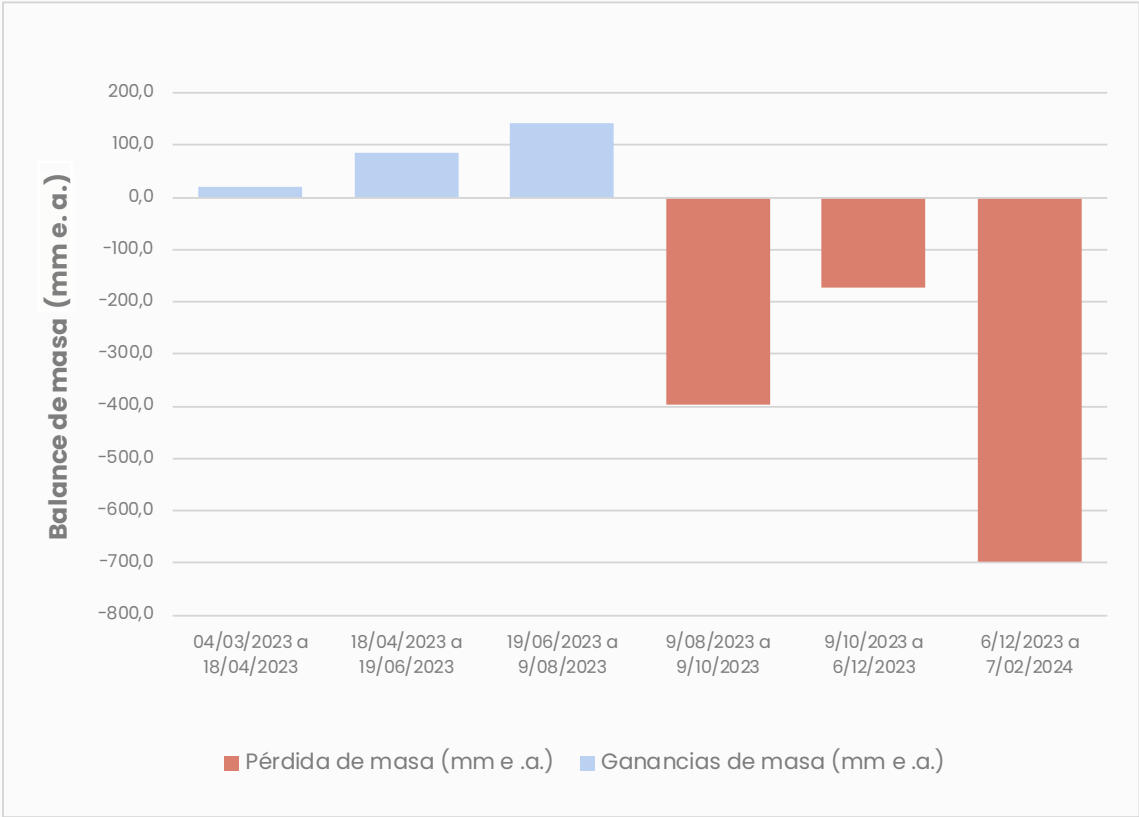
(23/02/2022 a 04/03/2023). Desde 2017 y por seis años consecutivos, este glaciar presentó un balance de masa positivo (ganancias), atribuido a condiciones climáticas locales favorables, traducidas en precipitaciones sólidas relativamente constantes, y a un fenómeno climático extremo de variabilidad climática, como lo fue La Niña 2021-2022. Desde agosto de 2023, se presentaron condiciones secas y de baja precipitación, relacionadas tanto con la temporada seca como con el inicio de condiciones de El Niño, que incrementaron el derretimiento glaciar.

Durante el ciclo hidrológico de observación 2023 (febrero de 2022 a febrero de 2023), se realizaron seis campañas de campo para calcular el balance anual, el cual se muestra en la tabla 15 y se representa en la figura 22.

Tabla 15. Campañas de campo para la estimación del balance de masa durante el ciclo hidrológico de 2023. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco

Periodo	Número de días entre periodos	Balance de masa (mm e. a.)
04/03/2023 a 18/04/2023	45	+21,3
18/04/2023 a 19/06/2023	60	+86,0
19/06/2023 a 9/08/2023	51	+143,1
9/08/2023 a 9/10/2023	61	-396,1
9/10/2023 a 6/12/2023	58	-196,0
6/12/2023 a 7/02/2024	63	-622,7

Figura 22. Balances de masa en 2023. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco



En el contexto del monitoreo histórico de este glaciar, la tabla 16 y las figuras 23 y 24 muestran los balances de masa anuales desde 2009. Como se puede observar, el glaciar Ritacuba Blanco ha sido, a diferencia del Santa Isabel, más estable, e incluso, en 2022, alcanzó un equilibrio (balance de masa cercano a cero), con respecto a la serie de datos desde 2009. Esta dinámica glaciar de la parte norte de esta sierra nevada se atribuye a su tamaño y altitud a la particular posición geográfica y climática entre la región Andina y a la región de la Orinoquía.

Tabla 16. Balance de masa anual y balance acumulado, 2009-2023. Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector glaciar Ritacuba Blanco

Año hidrológico	Balance de masa Milímetros equivalentes de agua (mm e. a.)	Balance de masa acumulado Metros equivalentes de agua (m e. a.)
2009	-1.195	-1.2
2010	-570	-1.8

2011	-42	-1.8
2012	860	-0.9
2013	-861	-1.8
2014	-27	-1.8
2015	-884	-2.7
2016	-513	-3.2
2017	+340	-2.9
2018	+656	-2.2
2019	+384	-1.8
2020	Sin reporte	Sin reporte
2021	+367	-1.5
2022	+654	-0.8
2023	-964	-1.8

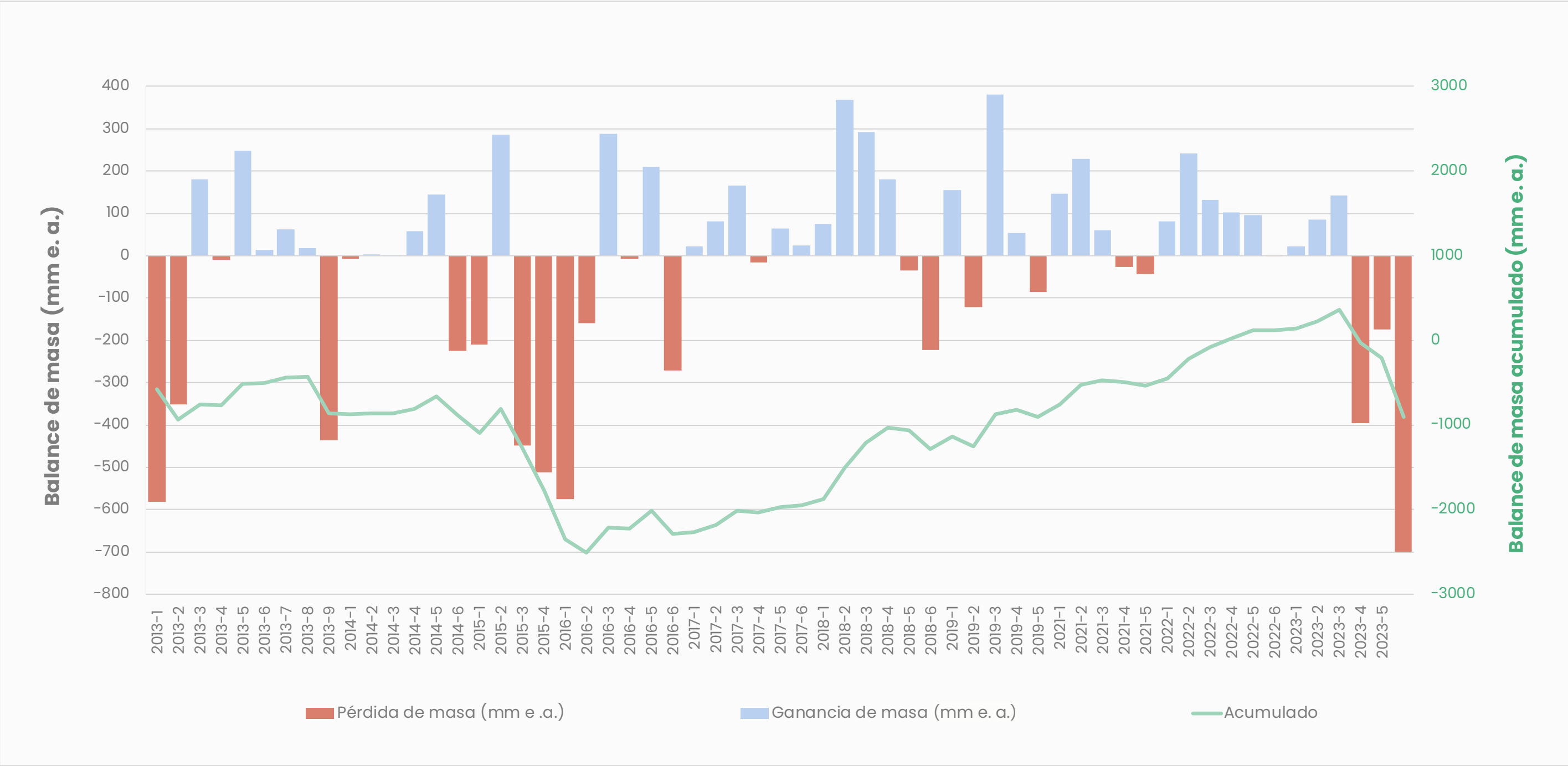
Fuente: Ideam (2023).

Figura 23. Balance de masa anual y balance acumulado de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, sector Ritacuba Blanco



Fuente: Ideam (2023).

Figura 24. Balance de masa anual por cada campaña de campo del sector glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán



Fuente: Ideam (2023).

5. Área glaciar nacional, evolución histórica y volumen de hielo

El cálculo del área glaciar nacional es realizado bienalmente por el Ideam. La última actualización corresponde al año 2022, aunque, gracias a la disponibilidad de imágenes satelitales, fue posible incluir el área de 2021. Pese al aumento de las precipitaciones generadas por el fenómeno de la variabilidad climática de La Niña (2021-2022), el área glaciar en Colombia continúa reduciéndose. Para inicios de 2022, dicha área tenía $33,09 \pm 0,63 \text{ km}^2$, que, al ser comparada con el área a principios del 2021 ($34,20 \pm 0,67 \text{ km}^2$), evidencia una reducción de la cobertura glaciar nacional de aproximadamente $1,11 \text{ km}^2$ (3,2%), un valor anual ligeramente mayor que el reportado el año inmediatamente anterior, si se tiene en cuenta que la disminución entre los años 2020 y 2021 fue de $0,99 \text{ km}^2$ (2,8 %).

Fotografía 17. Cráter del Volcán Nevado del Tolima
© Ruedas Sin Fronteras (2024).

Los resultados del monitoreo satelital indican que la cobertura glaciar colombiana continuó su reducción, la cual es diferente para cada nevado conforme a sus condiciones locales: altitud, tamaño, clima local, entre otros. Se destaca, nuevamente, el rápido derretimiento del glaciar Santa Isabel, que cuenta con una reducción de 17 % de su área entre el 2021 y 2022, situación que viene acentuada desde 2016, cuando ocurrió un fenómeno climático extremo de El Niño. Posteriormente, otro fenómeno de El Niño, que inició su influencia en el segundo semestre de 2023, se tradujo en la extinción del sector Conejeras a inicios de 2024 y en la reducción de los últimos relictos de hielo, denominados por el Ideam como El Hongo (o cumbre Norte) y Laguna Verde (vertiente oriental).

Los glaciares con mayor reducción de área, aparte del Santa Isabel, en valores absolutos fueron la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (−0,34 km²), el Volcán Nevado del Ruiz (−0,28 km²) y la Sierra Nevada de Santa Marta (−0,27 km²), y el de menor fue el glaciar del Tolima (−0,02 km²). En términos porcentuales, el glaciar Santa Isabel continúa con las mayores pérdidas de área (17,1 %), seguido de la sierra Nevada de Santa Marta (4,8 %). (ver tabla 17).

Respecto al volumen de hielo de los glaciares en Colombia, un estudio realizado por Van Wyk de Vries et al. (2022) estima, con base en imágenes satelitales multitemporales y una combinación de ocho modelos matemáticos, un volumen total de hielo en Colombia de $1,68 \pm 0,24 \text{ km}^3$, que oscila entre $1,16 \pm 0,05 \text{ km}^3$ y $1,94 \pm 0,09 \text{ km}^3$. Del total de glaciares, la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán es la mayor reserva de agua con $64 \times 10^7 \text{ m}^3$; seguido por el Nevado del Ruiz, con $45 \times 10^7 \text{ m}^3$; el Nevado del Huila, con $28 \times 10^7 \text{ m}^3$; la Sierra Nevada de Santa Marta, con $27 \times 10^7 \text{ m}^3$; el Nevado Santa Isabel, con $3 \times 10^7 \text{ m}^3$; y, por último, el Nevado del Tolima, con $2 \times 10^7 \text{ m}^3$. Hay que anotar que estas cifras se calcularon con base en imágenes satelitales entre los años 2015 y 2021.

La tabla 17 muestra la evolución de los actuales seis glaciares colombianos en los últimos 170 años (final de la Pequeña Edad de Hielo), y la figura 25, la evolución en las últimas seis décadas.

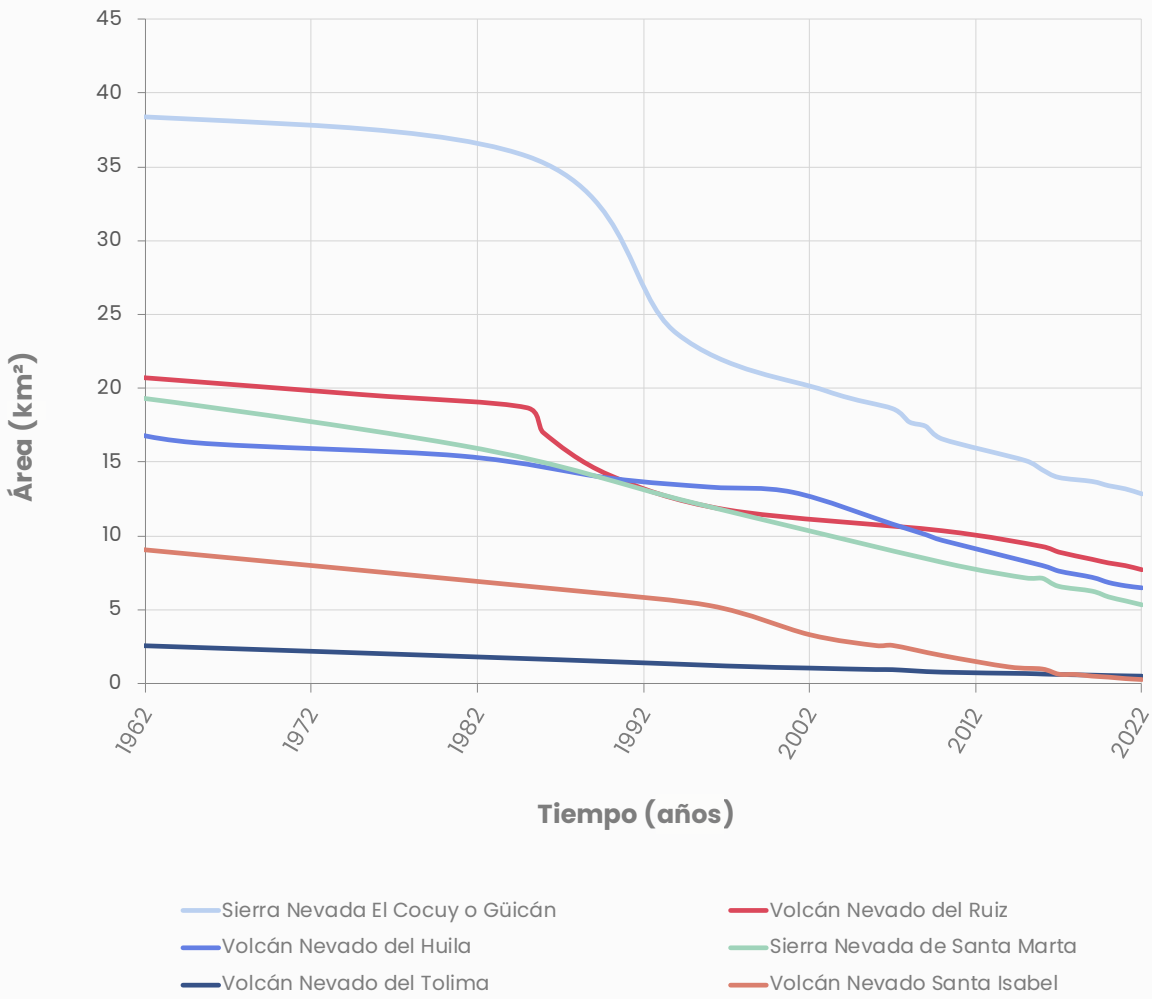
Tabla 17. Evolución del área de los seis actuales glaciares colombianos en los últimos 170 años

Cambio del área glaciar en Colombia (km²)							
Periodo	Área (km²) de la Sierra Nevada de Santa Marta (Chundua)	Área (km²) de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma)	Área (km²) del Volcán Nevado del Ruiz (Kumanday)	Área (km²) del Volcán Nevado Santa Isabel (Poleka Kasué)	Área (km²) del Volcán Nevado del Tolima (Dulima)	Área (km²) del Volcán Nevado del Huila (Wila)	Total Co-lombia Área (km²)
Segunda mitad del siglo XIX	81,6	148,7	47,5	27,8	8,6	33,7	349
Años 50	20,4	38,9	21,0	9,40	2,70	17,5	109
Años 80	16,1	35,7	18,7	6,40	1,60	15,4	91
Años 90	12,2	23,7	14,1	5,30	1,18	13,9	67,81
2010	8,17	16,54	10,3	1,91	0,76	9,70	47,2
2016	7,10	14,46	9,26	1,00	0,64	8,01	39,54
2017	6,55	13,94	8,88	0,65	0,61	7,63	36,65
2019	6,23	13,67	8,39	0,52	0,56	7,21	36,57
2020	5,83	13,38	8,14	0,45	0,53	6,86	35,19
2021	5,57	13,17	7,96	0,35	0,51	6,64	34,20
2022	5,30	12,83	7,68	0,29	0,49	6,50	33,09

Fuente: Ideam (2023).



Figura 25. Evolución del área glaciar en Colombia en las últimas seis décadas



Fuente: Ideam (2023).

A continuación, se presenta espacialmente la evolución de la cobertura glaciar de los actuales seis glaciares colombianos desde mediados del siglo XIX hasta el año 2022 (ver figuras 26, 27, 28, 29, 30 y 31).

Fotografía 18. Nevado del Huila
© Juan C. Otálvaro (2023)

Figura 26. Evolución del área glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta (Chundua)

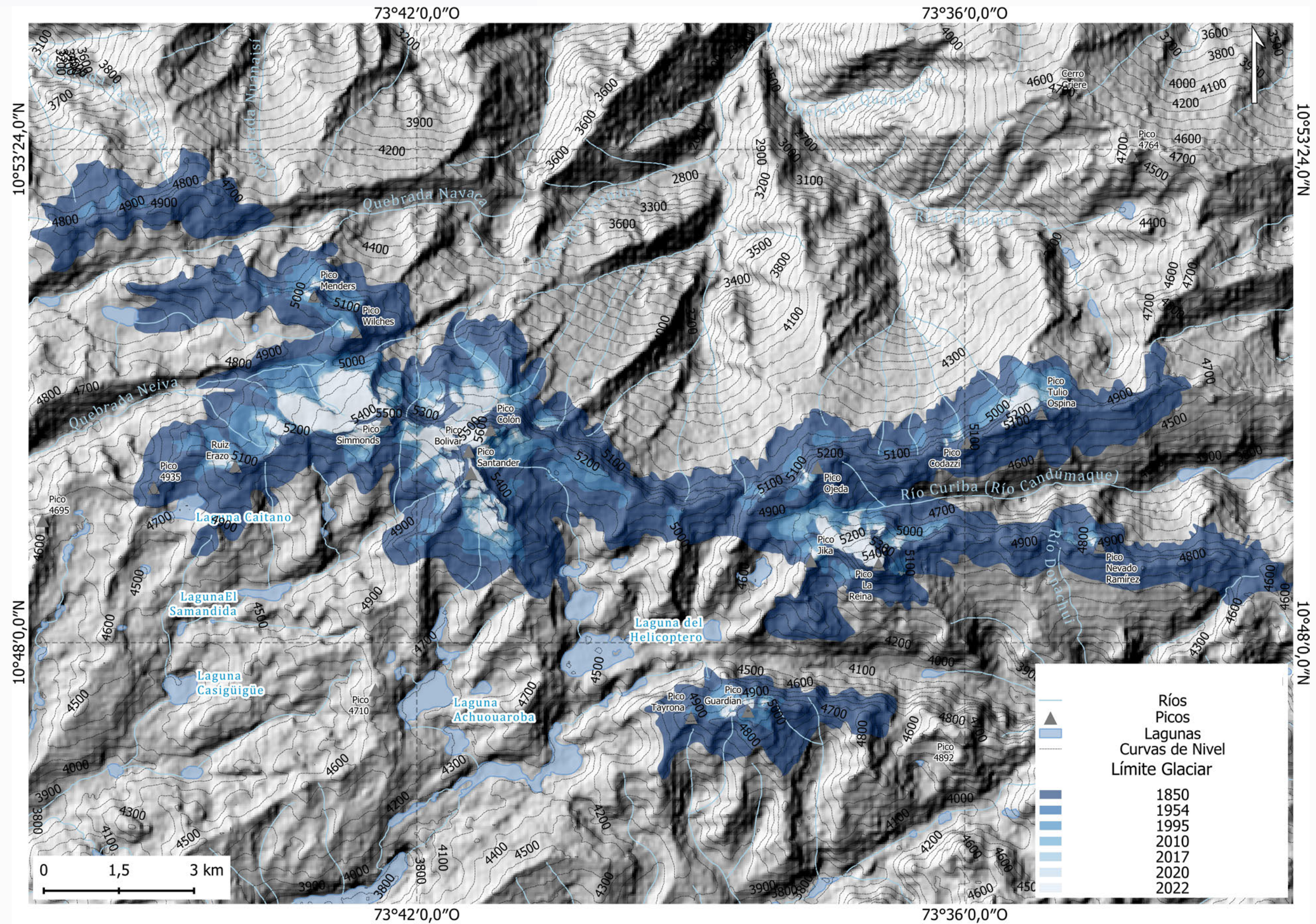


Figura 27. Evolución del área glaciar de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

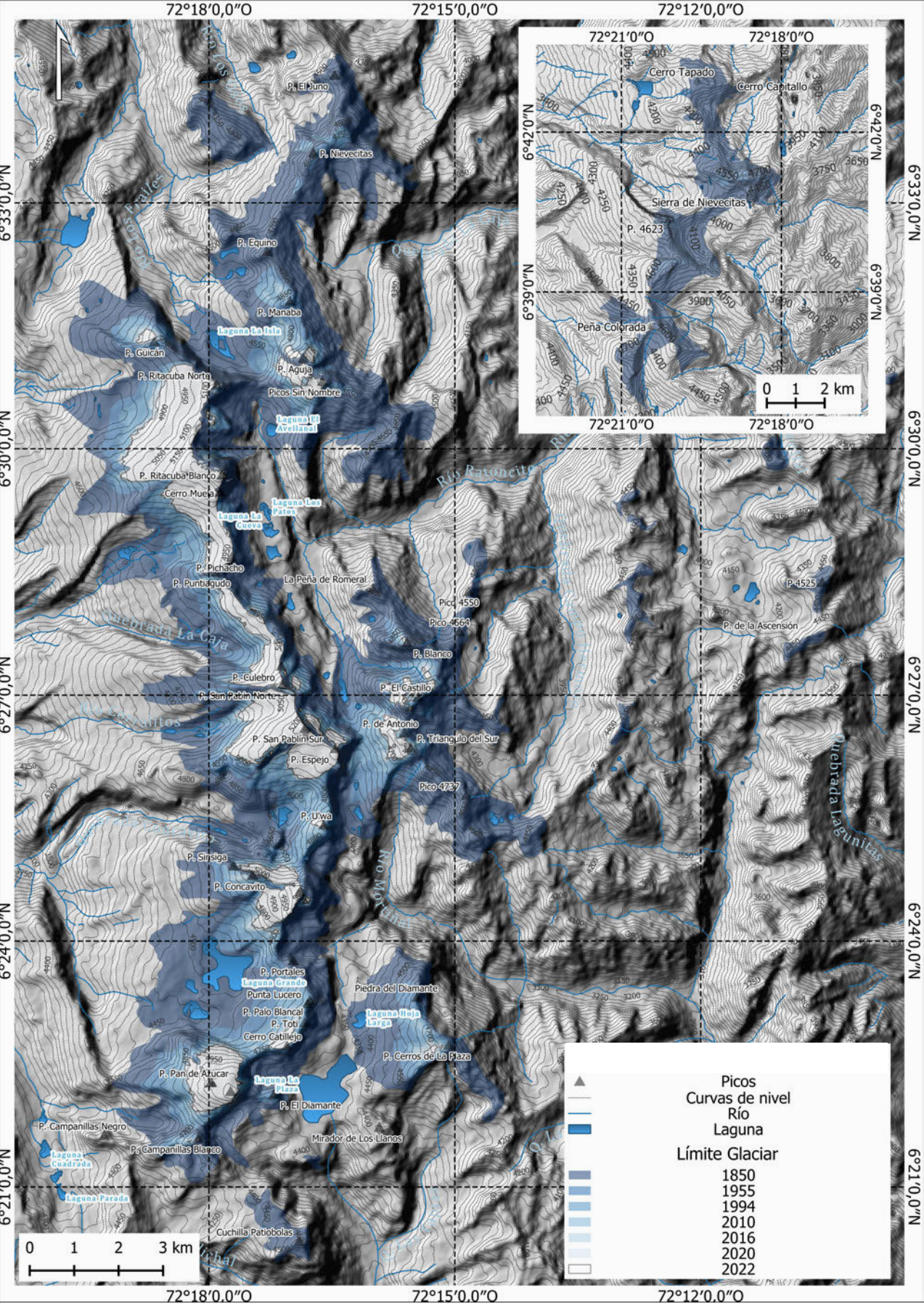


Figura 28. Evolución del área glaciar del Nevado del Ruiz (Kumanday)

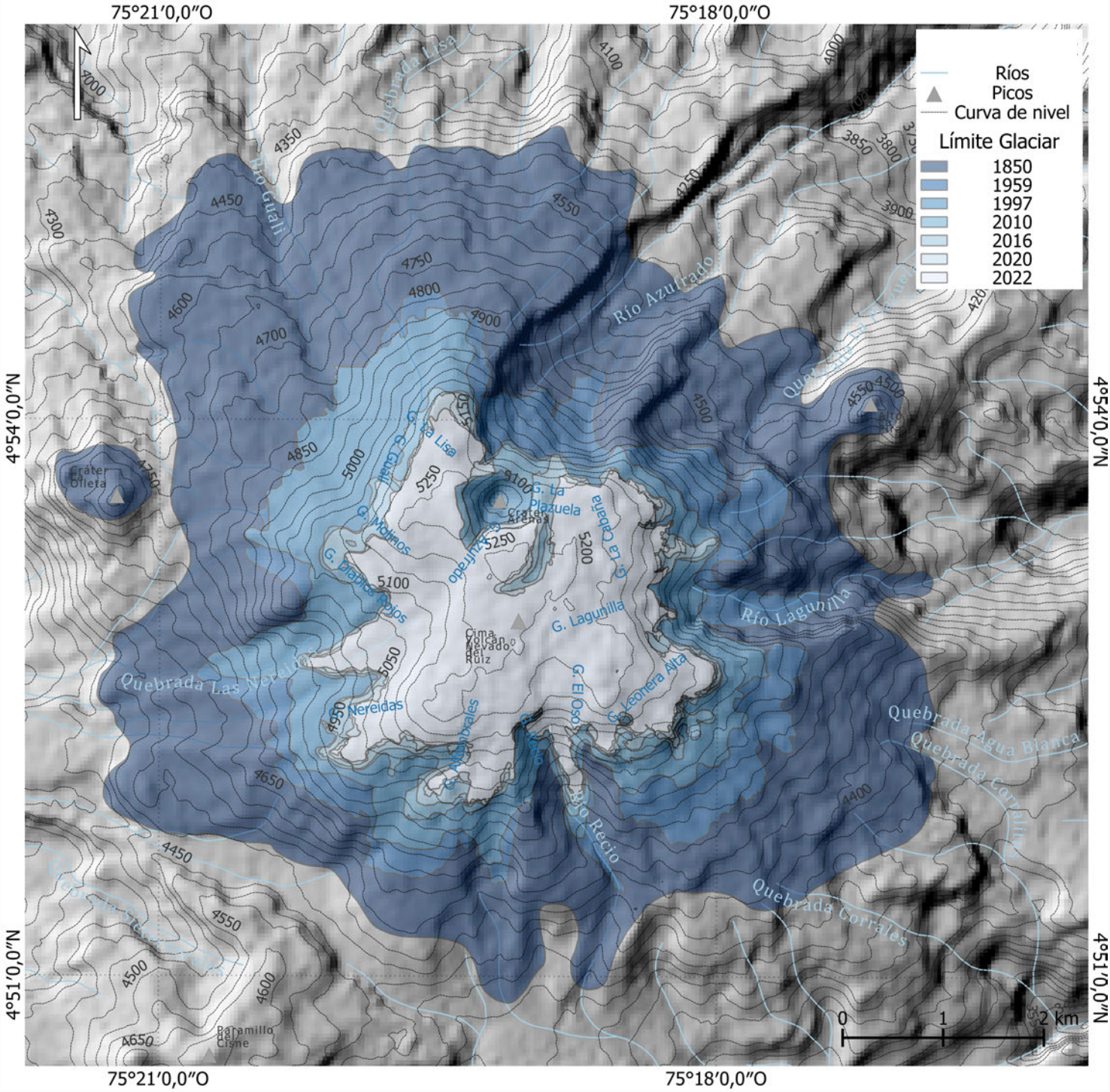


Figura 29. Evolución del área glaciar del Nevado Santa Isabel (Poleka Kasué)

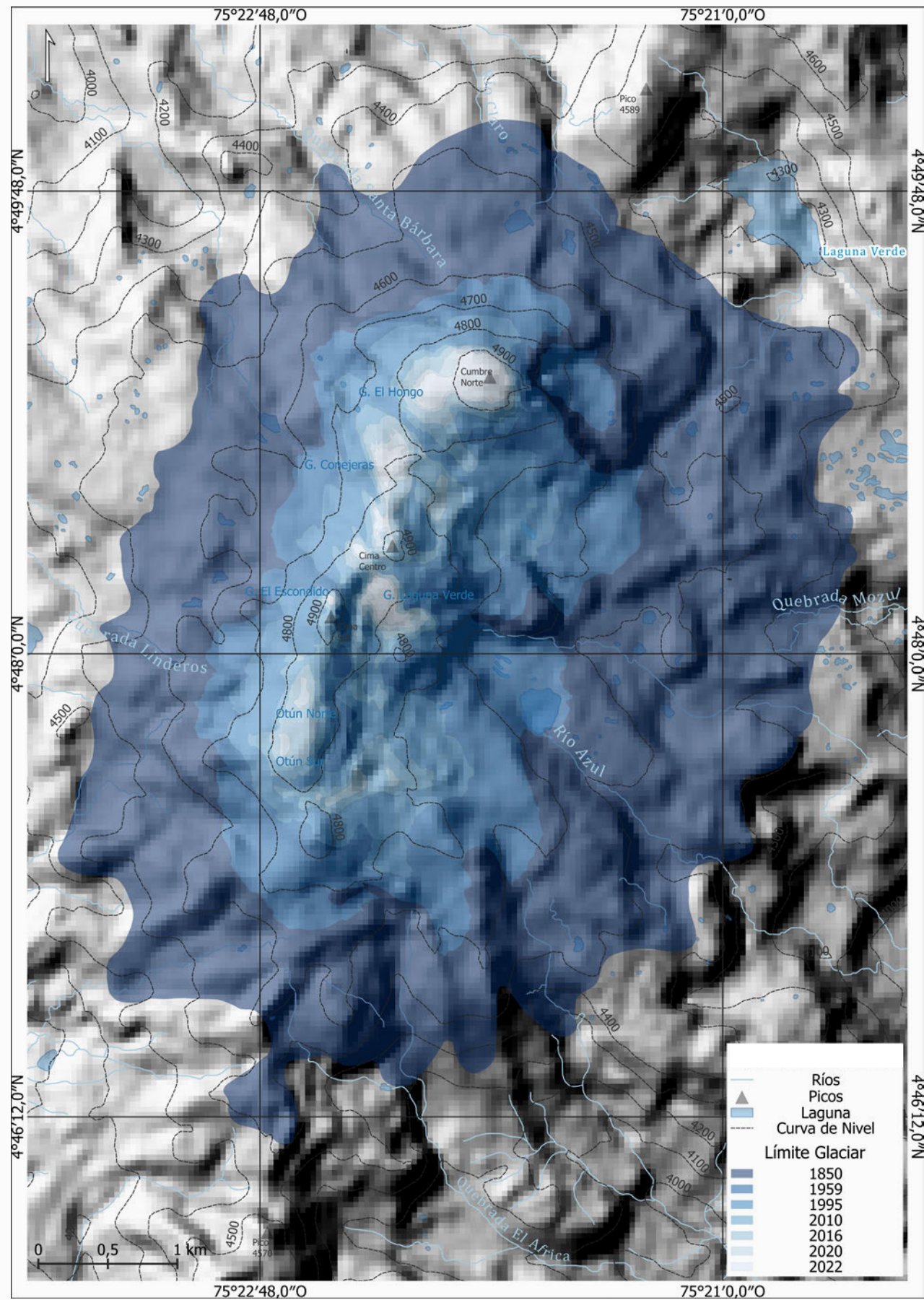


Figura 30. Evolución del área glaciar del Nevado del Tolima (Dulima)

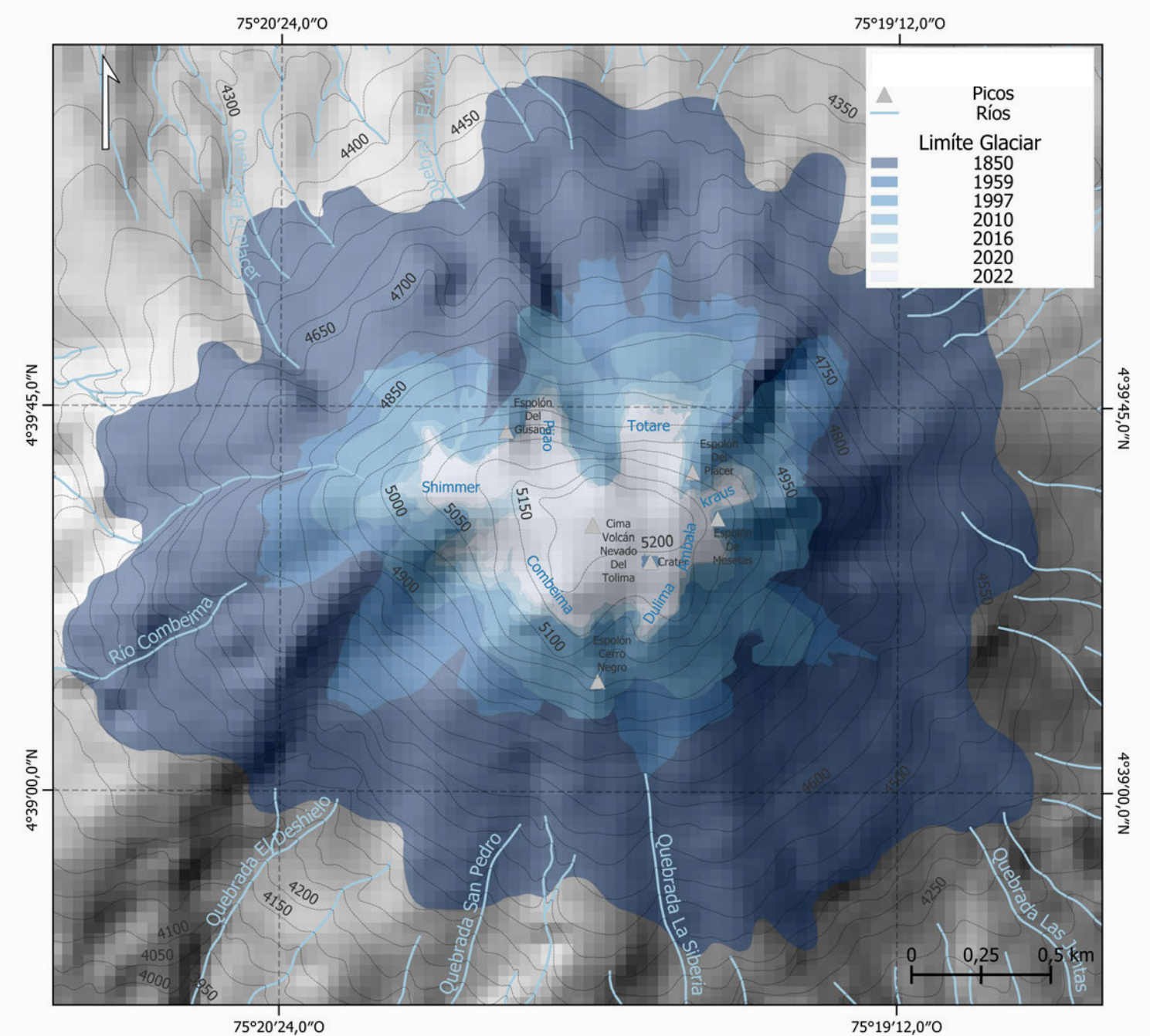
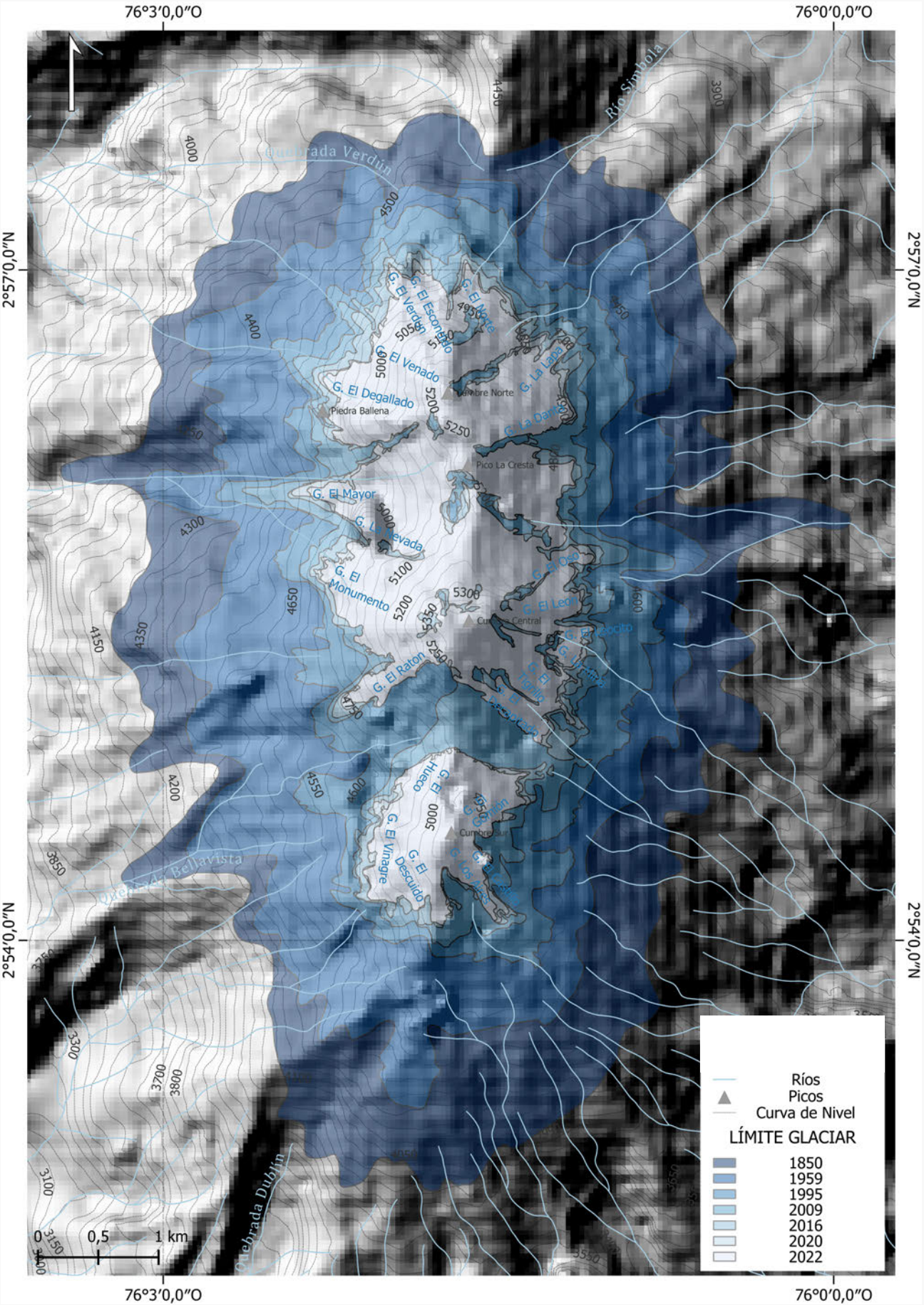


Figura 31. Evolución del área glaciар del Nevado del Huila (Wila)



Fotografía 19. Nevado del Huila, visto desde el Parque Nacional Natural Puracé
© Gustavo Acosta (2019)

6.

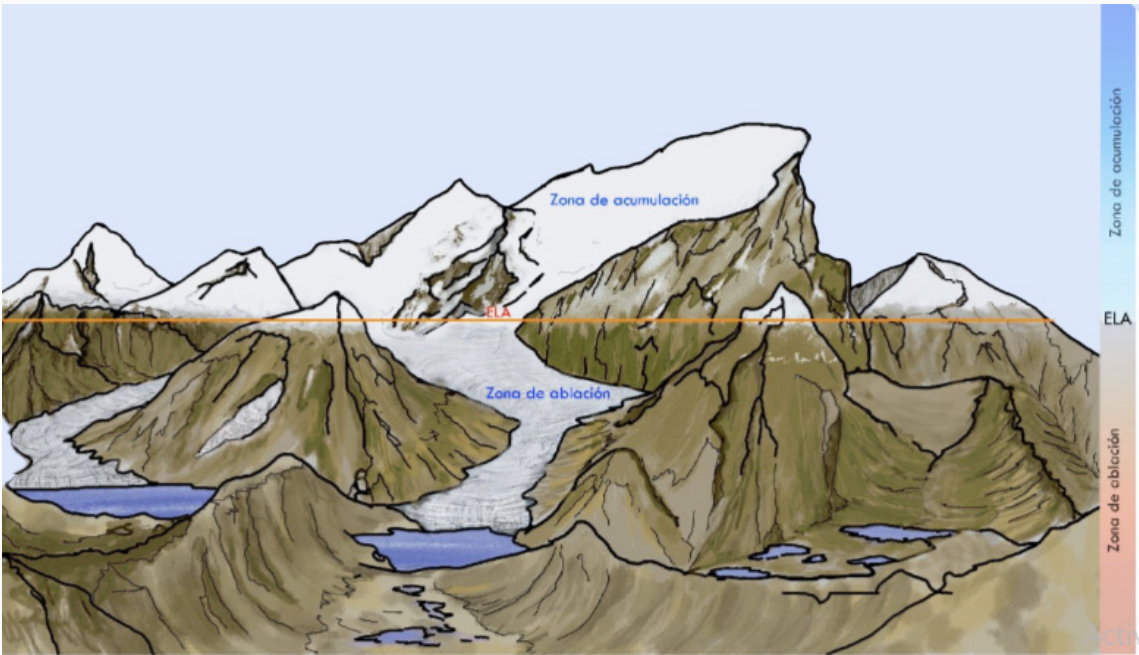
La Línea de Equilibrio Altitudinal como indicador de la evolución de un glaciar y del cambio climático

La Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA, por sus siglas en inglés) es la línea teórica que separa la zona de acumulación glaciar de la zona de ablación glaciar y en la que el balance de masa es cero (Cogley et al., 2011) (ver figura 32). El análisis de la ELA permite entender la dinámica del deshielo; toda aquella área glaciar que se encuentre en altitudes inferiores a la ELA está sometida a procesos de fusión del hielo y la nieve. Por el contrario, la zona del glaciar por encima de la ELA tenderá a conservarse e, incluso, a acumular masa. Conocer esta altitud es clave para saber la tendencia del cambio climático, ya que, a medida que las condiciones de la troposfera cambian, la ELA responde ascendiendo o descendiendo. Desde mediados del siglo XIX, la ELA, en general, ha ascendido.



Fotografía 20. Ritacura Negro, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán
© Jorge Luis Ceballos (2021).

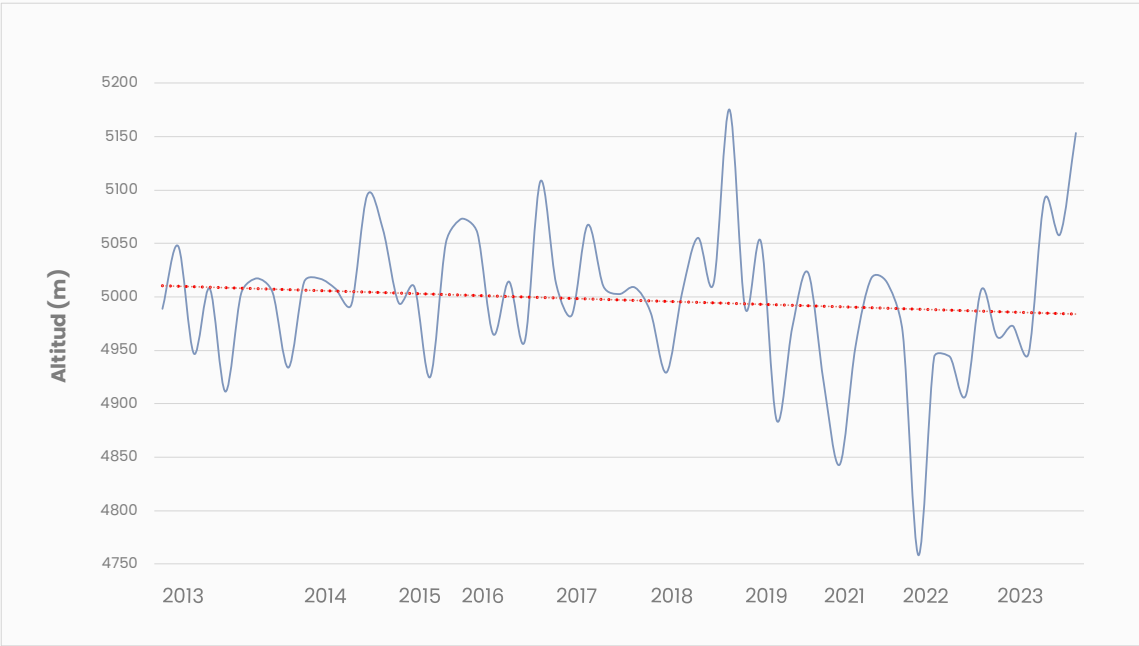
Figura 32. Línea de Equilibrio Altitudinal



Fuente: Ideam (2022).

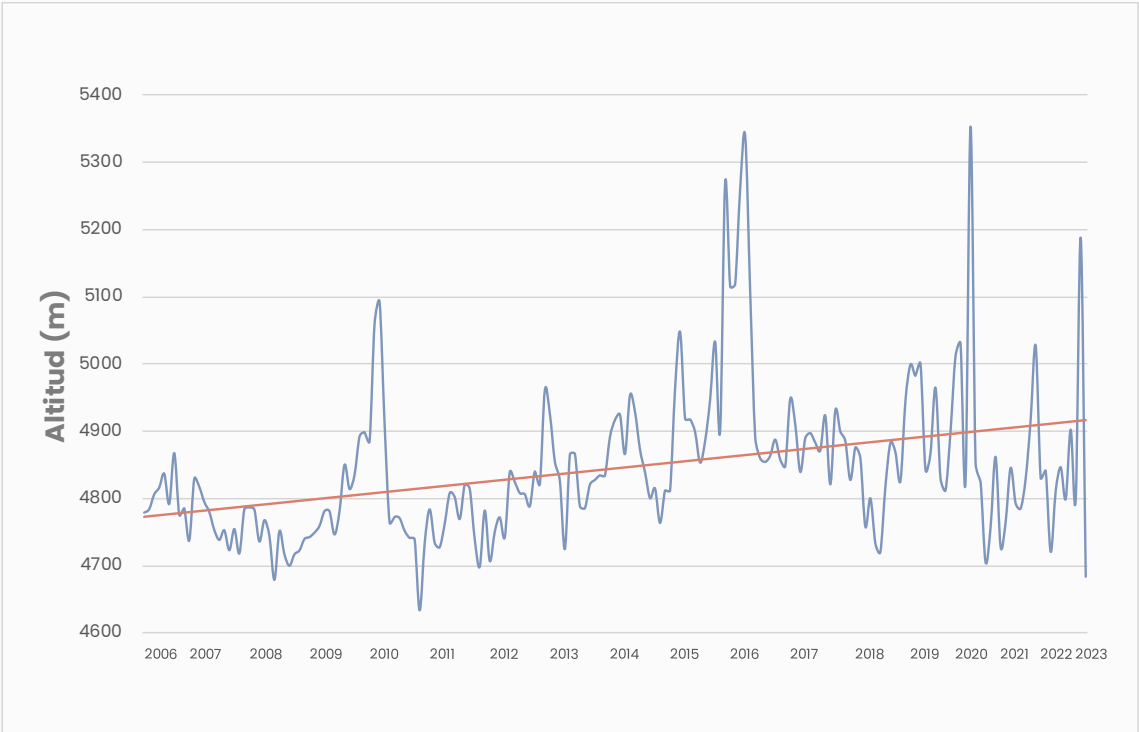
El cálculo de la ELA se determina matemáticamente mediante una correlación entre el Balance de Masa Glaciar y la altitud. Las figuras 33 y 34 muestran el registro histórico de la Línea de Equilibrio Altitudinal para el glaciar Ritacuba Blanco, en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, y para el sector Conejeras, en el glaciar Santa Isabel.

Figura 33. Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA) intranual del glaciar Ritacuba Blanco, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán



Fuente: Ideam (2023).

Figura 34. Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA) interanual del glaciar Conejeras, Nevado Santa Isabel



Fuente: Ideam (2023).

La ELA presenta variaciones altitudinales según la dinámica regional de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) y los fenómenos de variabilidad climática, es decir, bajo incidencia de épocas secas, húmedas y del fenómeno ENSO en su fase cálida, El Niño, y su fase fría, La Niña. En temporadas secas o durante El Niño, la ELA asciende, de modo que aumenta la zona de ablación, debido al incremento de la temperatura ambiente y la escasez de nieve. Por el contrario, durante temporadas de lluvia o La Niña, desciende, de modo que aumenta la zona de acumulación. Es de suponer que, bajo las actuales condiciones de un cambio climático, la ELA tienda a ascender en el tiempo, por lo que expone al glaciar a más superficie de ablación y, con ello, al deshielo. La tabla 18 muestra la dinámica de la ELA en el tiempo y en el espacio, para los dos glaciares donde se practica el balance de masa en Colombia.

Tabla 18. Estimación de la ELA en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán y el glaciar Santa Isabel. Promedio histórico y durante 2023

Momento	ELA (m s. n. m.)	Área glaciar del año 2022 en abla- ción (km²)	Porcentaje de área glaciar en ablación
Sierra Nevada El Cocuy o Güicán			
Promedio histórico (2013–2023)	5.000	8,49	66 %
Máxima ELA registrada (2013–2023) Dic. 2018–feb. 2019	5.175	–	–
Mínima ELA registrada (2013–2023) Abr.–jun. 2022	4.758	–	–
Máxima ELA en 2023: Dic. 2023 a feb. 2024	5.128	11,94	94 %
Mínima ELA en 2023: Junio a agosto	4.950	6,32	49 %
Glaciar Santa Isabel			
Promedio histórico (2006–2023)	4.850	0,118	42 %
Máxima ELA registrada (2013–2023) Jun.–jul. 2021	5.352	–	–
Mínima ELA registrada (2013–2023) Nov.–dic. 2010	4.633	–	–
ELA a mayor altitud en 2023: (Jul.–sep.)	5.186	0,286	100 %
ELA a menor altitud en 2023 (Sep.–nov.)	4.683	0	0 %

Fuente: Ideam (2023).

Así y conociendo la ELA en cada sector de un glaciar y asociándolo a una curva de nivel, es posible extrapolar este comportamiento a todo un glaciar, para estimar cuánta área, teóricamente, estaría en fusión glaciar. Como ejemplo, en la tabla 19 y en la figura 35 se muestran, para Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, las áreas glaciares en zona de ablación para los sectores norte, centro y sur del costado oriental y occidental en los que se han evidenciado diferencias a lo largo de la sierra.

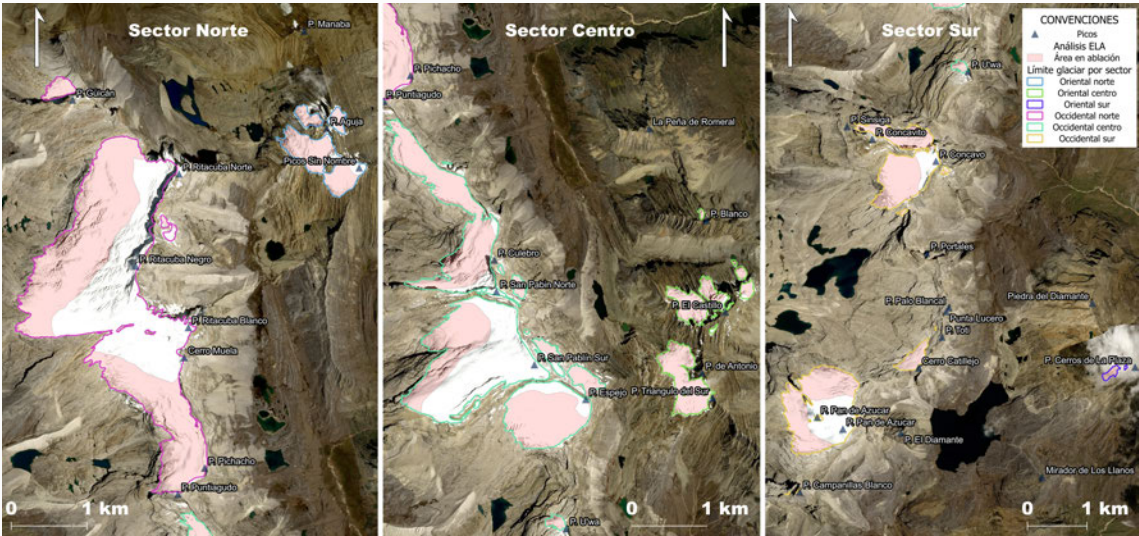
Tabla 19. Área y porcentaje de área en zona de ablación en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Vertiente	Sector	Pico o glaciar	Área glaciar total en 2022 (km²)	Área glaciar en ablación en 2022 (km²)	Porcentaje del área glaciar del sector en ablación
Vertiente occidental	Norte	Güicán, Ritacuba Norte, Ritacuba Negro, Ritacuba Blanco, Picacho y Puntia- gudo	4,96	2,91	58,8
	Centro	San Pablín Norte, San Pablín Sur, Espejo y U’wa	3,89	2,51	64,6
	Sur	Concavito, Cón- cavo, Toti, Pan de Azúcar y Cam- panillas Blanco	2,56	1,89	73,7
Vertiente oriental	Norte	Aguja y Sin Nombre	0,54	0,49	90,2
	Centro	Blanco, El Castillo, Antonio y Trián- gulo del Sur	0,67	0,64	95,1
	Sur	Cerros de la Plaza	0,03	0,03	100

Fuente: Ideam (2023).

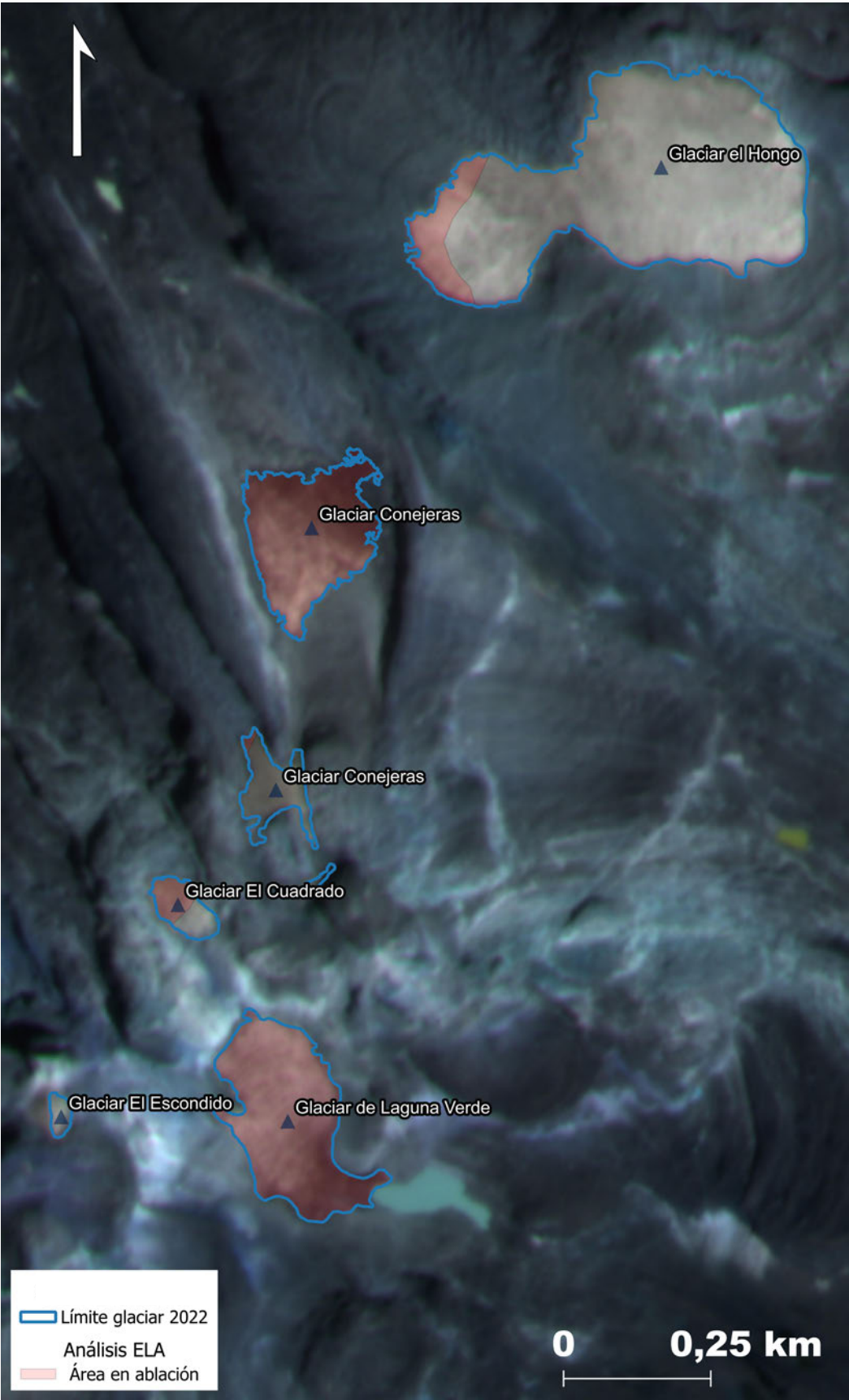
Al analizar los datos de la tabla 19 y relacionarlos con los datos de altitud, se puede establecer que los glaciares más vulnerables al deshielo son aquellos que se ubican más al sur y en la vertiente oriental de la sierra.

Figura 35. Áreas glaciares en zona de ablación para el 2023 en la Sierra de Nevada El Cocuy o Güicán



Para el caso del glaciar Santa Isabel, durante 2023, se calculó una ELA promedio de 4.850 m s. n. m., y el análisis realizado permite concluir que el 42 % del área glaciar del Nevado Santa Isabel se encuentra en la zona de ablación; como se observa en la figura 36 los glaciares: Conejeras (parte baja), Laguna Verde, El Cuadrado, El Escondido se encontraban en su totalidad en zona de ablación. Sin embargo, es importante destacar que durante el periodo julio a septiembre, cuando se presentó el fenómeno de El Niño 2023, la ELA se ubicó a 5.186 m s. n. m., muy por encima de sus cumbres, por lo que el ciento por ciento del glaciar estaba en zona de ablación, lo que condujo a un rápido derretimiento, que puso fin al sector Conejeras a inicios de 2024.

Figura 36. ELA del Nevado Santa Isabel en 2022. Imagen de satélite Planet Scope, composición de falso color



Siguiendo los datos presentados anteriormente, se realizó el ejercicio de extrapolar la ELA a los demás glaciares del país. La tabla 20 presenta el área y el porcentaje total de área, que se encuentra en la zona de ablación para cada una de las zonas glaciares del país.

Tabla 20. Aproximación al área y porcentaje de área glaciar en zona de ablación en los nevados de Colombia

Área Glaciar	Área 2022 (km²)	Área glaciar en ablación (km²) con una ELA a 5.000 m s. n. m .	Porcentaje del área del glaciar en ablación	Área glaciar en ablación (km²) con una ELA a 4.850 m s. n. m.	Porcentaje del área del glaciar en ablación
Sierra Nevada El Cocuy o Güicán	12.83	8,4	67,0	1,8	14,4
Nevado del Ruiz	7.68	0,7	9,8	0,076	1,0
Nevado del Huila	6.50	3,5	55,8	1,1	18,7
Sierra Nevada de Santa Marta	5,30	0,5	11,0	0,06	1,2
Nevado del Tolima	0.49	0,02	5,95	0	0
Nevado Santa Isabel	0.29	0,29	100	0,1	42,0

Se estima que cerca de 13,7 km² (41 %) del área glaciar nacional se encontraría teóricamente para el 2023 en zona de ablación (por debajo de los 5.000 m s. n. m.); si, por el contrario, se generaliza una ELA a 4.850 m s. n. m., como la calculada en el Nevado Santa Isabel, solo el 10 % del área glaciar se encontraría en la zona de ablación.

Bajo este análisis, el Nevado Santa Isabel, el Nevado del Huila y la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán son los más vulnerables al deshielo, debido a su mayor cantidad de área y porcentaje por debajo de la ELA nacional.

Por último, si bien una de las formas de estimar la ELA son los cálculos mediante un registro extendido y continuo del balance de masa, Condom et al. (2007) estimaron, mediante el análisis de la precipitación anual a lo largo de los Andes, que la ELA en Colombia se encontraba entre los 4.700 y 4.800 m s. n. m. en el periodo 1960-1990. A la fecha, siguiendo a Rabatel et al (2013), el nivel de congelamiento en los glaciares tropicales (Ecuador-Colombia) en los últimos 55 años ha ascendido entre 60 y 160 metros, situando la ELA alrededor de los 5.000 m s. n. m. Sin embargo, existen condiciones, a escala local y regional, que hacen variar la ELA (Veettil et al., 2017). El aumento de temperatura planteada en los escenarios de cambio climático, publicados por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), causaría inevitablemente un ascenso de la Línea de Equilibrio Altitudinal y, con ello, un aumento en el tiempo del área glaciar expuesta a los procesos de ablación glaciar.

7. La inminente extinción del glaciar Santa Isabel, sector Conejeras

Para finales de 2023, el glaciar Santa Isabel lo formaban tres relictos de hielo; uno de ellos, conocido como glaciar o sector Conejeras, se extinguió por completo entre diciembre de 2023 y febrero de 2024 (ver figura 37). Su baja altitud (menor a 5.000 metros, lo cual es desfavorable por la temperatura ligeramente superior a 0 °C y una ELA muy cerca de sus cumbres), escasa precipitación sólida (nieve y granizo, considerados el “alimento” esencial del glaciar) y ceniza volcánica dentro del hielo (la cual quedó expuesta en la superficie después de los fenómenos climáticos extremos de El Niño de 2015–2016 y que redujeron considerablemente el albedo) fueron las causas primordiales para el acelerado derretimiento y la extinción de este pequeño glaciar. Durante 17 años (desde el 4 de marzo de 2006 hasta el 2 de marzo de 2024), este extinto glaciar fue el lugar para calcular el primer Balance de Masa Glaciar en Colombia por el método directo (*in situ*), y desde 2009 fue incluido en la red mundial de glaciares del organismo suizo World Glacier Monitoring Service (WGMS). Ya en anteriores informes se había reportado la extinción en enero de 2022 de otros pequeños relictos de hielo como los que drenaban a la laguna del Otún. El sector Conejeras fue el glaciar en el que se practicaron técnicas glaciológicas para conocer su dinámica y su relación con el clima. Una red de 14 estacas o balizas distribuidas sobre su superficie sirvieron como instrumentos para medir y calcular cómo cambiaba su superficie (ver figura 38). Aproximadamente, 200 campañas de campo se llevaron a cabo para calcular balances de masa mensuales, un hito en esta disciplina en Colombia. Adicionalmente, fue el glaciar mejor instrumentado del país con 9 estaciones hidrometeorológicas, instaladas desde su superficie y alrededor del glaciar hasta los 2.700 m de altitud. Por considerarse de especial importancia este glaciar en la ciencia nacional, en la tabla 21 se exponen los hitos más significativos que fundamentaron el desarrollo de la glaciología en Colombia.

El glaciar Conejeras ha sido fotografiado constantemente para registrar sus cambios en el tiempo hasta su extinción. A continuación, se expone esa secuencia:

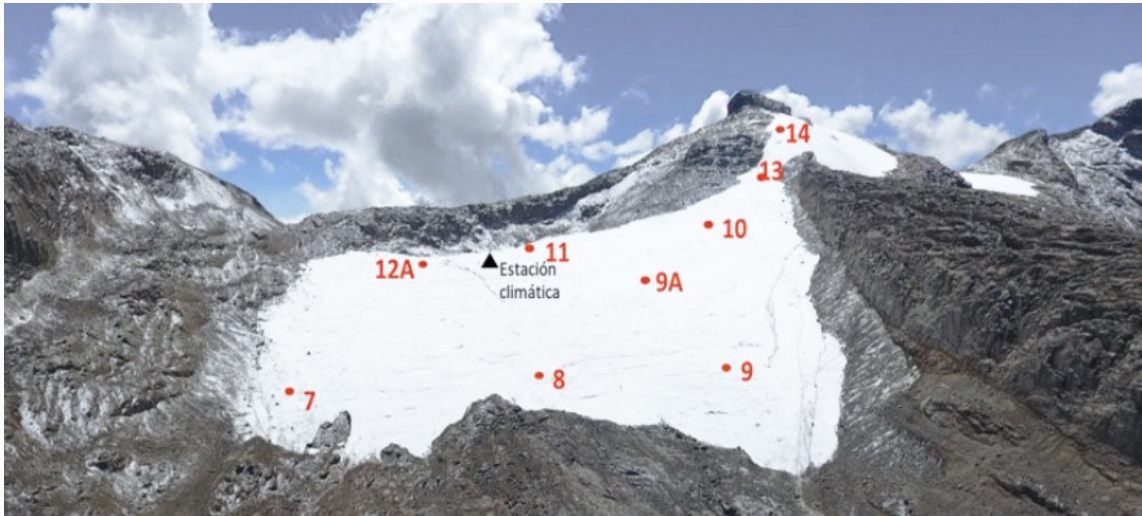
Fotografía 21. Nevado Santa Isabel, sector Conejeras
© Jorge Luis Ceballos (2023).

Figura 37. Seguimiento fotográfico de la extinción del sector Conejeras, Nevado Santa Isabel



Fuente: banco de imágenes del Ideam.

Figura 38. El glaciar Conejeras y la red de balizas de ablación glaciar en 2017



Fuente: Ceballos (2018; 2024).

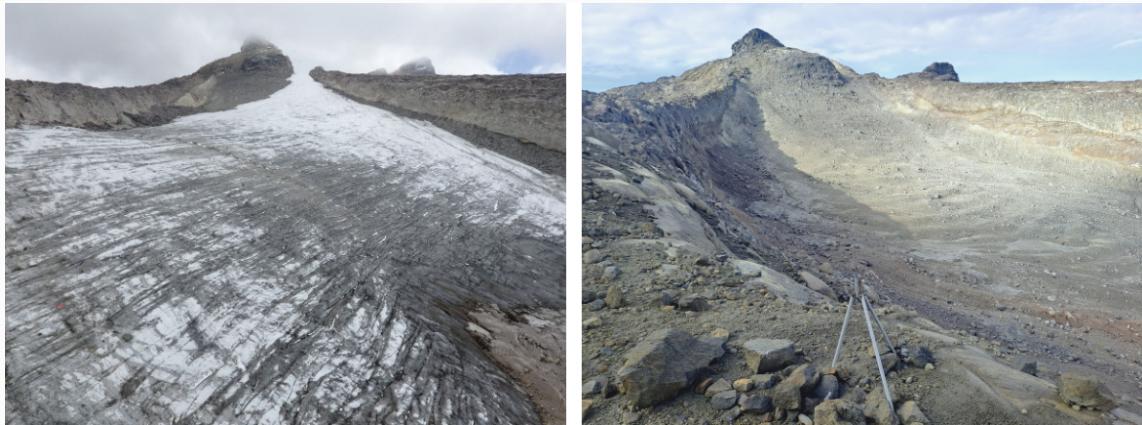
Tabla 21. Hitos de la glaciología en el Nevado Santa Isabel

AÑO	HITO
Años 80 y 90	El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) realiza los primeros trabajos de glaciología de campo, que consistieron en establecer puntos de monitoreo del retroceso del borde del glaciar, y se instalan dos estaciones meteorológicas.
1994–2002	Ideam hereda y continúa el monitoreo del borde del glaciar que realizaba el IGAC.
2004	En cooperación técnica entre el Ideam y la Universidad de Zúrich se selecciona el sector Conejeras como glaciar de estudio.
2005	Primer intento de instalación de una red de balizas (Ideam, Universidad de Zúrich, Observatorio Vulcanológico y Sismológicos de Manizales [OVSM])
2006	El primer proyecto de adaptación al cambio climático en Colombia (INAP) apoya el monitoreo glaciar mediante equipos hidrometeorológicos.
2006 (marzo)	Instalación exitosa de una red de 12 balizas de ablación glaciar en el sector Conejeras (Ideam y OVSM) distribuidas en grupos de 3, y cada 50 metros de altitud. Se inician los primeros cálculos para estimar un balance de masa por el método directo.

2007 (marzo)	Se calcula el primer balance de masa de un año completo.
2008	Se amplía la red de balizas a 14, cubriendo la cumbre Centro.
	Se instala la red de estaciones hidrometeorológicas alrededor del glaciar Santa Isabel.
	Se lleva a cabo una reunión de glaciólogos del Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos del Programa Hidrológico Intergubernamental de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Se visita el glaciar como ejemplo de monitoreo glaciar.
2009	Ingreso del glaciar Santa Isabel, sector Conejeras, al Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS, por sus siglas en inglés).
2010	Instalación de la primera estación meteorológica sobre un glaciar colombiano EMMA (Estación Meteorológica Móvil de Altitud).
	Los glaciares Conejeras y cumbre Norte se separan.
2010–2011	El fenómeno climático extremo de La Niña logra estabilizar ligeramente la pérdida de masa. Algunos meses presentan balances de masa positivos.
2011 y 2012	El fuerte retroceso del borde del glaciar deja inoperables las 3 primeras y más bajas balizas.
2014	Mediante un trabajo colaborativo entre la Universidad de Zúrich (Suiza), la Universidad de Grenoble (Francia), la Universidad de Lausanne (Suiza) y el Ideam, se calcula por primera vez el espesor del hielo del glaciar Conejeras (su máximo es de 52 m) y se hace un levantamiento topográfico utilizando tecnología Lidar.
2015–2016	Fuerte impacto de El Niño incrementa notablemente el derretimiento.
2016	El glaciar continúa su intenso retroceso, y las balizas 4, 5 y 6, que estaban en la mitad del glaciar, quedan inoperables.
	Se alcanza el máximo caudal de aguas de fusión glaciar o pico hidrológico.
	Se incrementa notablemente el turismo en este glaciar.
2017	Medición con GPS diferencial de la altitud máxima de la cumbre Centro (4.932 m s. n. m.), exactitud milimétrica.
2018	Se instala la primera cámara de fotoseguimiento en el sector Conejeras (donación de docente y estudiante de la Universidad Militar).

2019	El glaciar Conejeras se separa de la cumbre Norte.
	Se realiza un estudio de fitocolonización en las rocas despejadas por el glaciar Conejeras (Universidad de los Andes).
	Debido a la fragmentación del glaciar Santa Isabel, se crea una toponimia de los últimos relictos de hielo (Conejeras, Hongo, Cuadrado, Laguna Verde, Escondido, Otún Norte y Otún Sur).
2020	A pesar del aislamiento sanitario por la pandemia covid-19, las mediciones continúan a cargo de técnicos del PNN Los Nevados.
	Se implementa el proyecto “Sendero del cambio climático”, que consistió en la instalación de seis avisos que informan al visitante dónde estuvo el límite del glaciar en diferentes épocas (desde mediados del siglo XIX hasta el 2020).
2021	Por la inminente extinción del glaciar Conejeras se instala una nueva red de balizas de ablación en el sector El Hongo o Cumbre Norte con el fin de continuar el monitoreo.
2021–2022	Fenómeno climático extremo de La Niña con frecuentes nevadas no logra estabilizar el glaciar.
2022	Extinción de dos pequeños relictos de hielo denominados por el Ideam como Otún Norte y Otún Sur. La cuenca del río Otún ya no tiene sistema glaciar que la abastezca.
	Se inicia un monitoreo con cámara de fotoseguimiento al glaciar de Laguna Verde.
	Inicio del monitoreo con cámara de fotoseguimiento en el glaciar El Hongo.
2022–2023	Paulatinamente, las balizas 8 a 14 quedan inoperables por el fuerte derretimiento y adelgazamiento del hielo, lo cual da por terminadas las mediciones para el cálculo de un balance de masa en diciembre de 2023.
2024 (enero)	El glaciar El Hongo o cumbre Norte se divide en dos partes.
2024 (febrero)	Extinción del glaciar sector Conejeras. La estación hidrológica del Ideam “Conejeras-2” se desinstala por falta de caudales para medir.
2024 (febrero)	Estudio microbiológico en el glaciar El Hongo (Universidad de Hokkaido, Universidad de Ciencias Aplicadas de Alta Austria, Universidad de Charles [República Checa]).
2024 (marzo)	Debido a la extinción del glaciar Conejeras, se reubica la estación EMMA en la base del glaciar El Hongo.

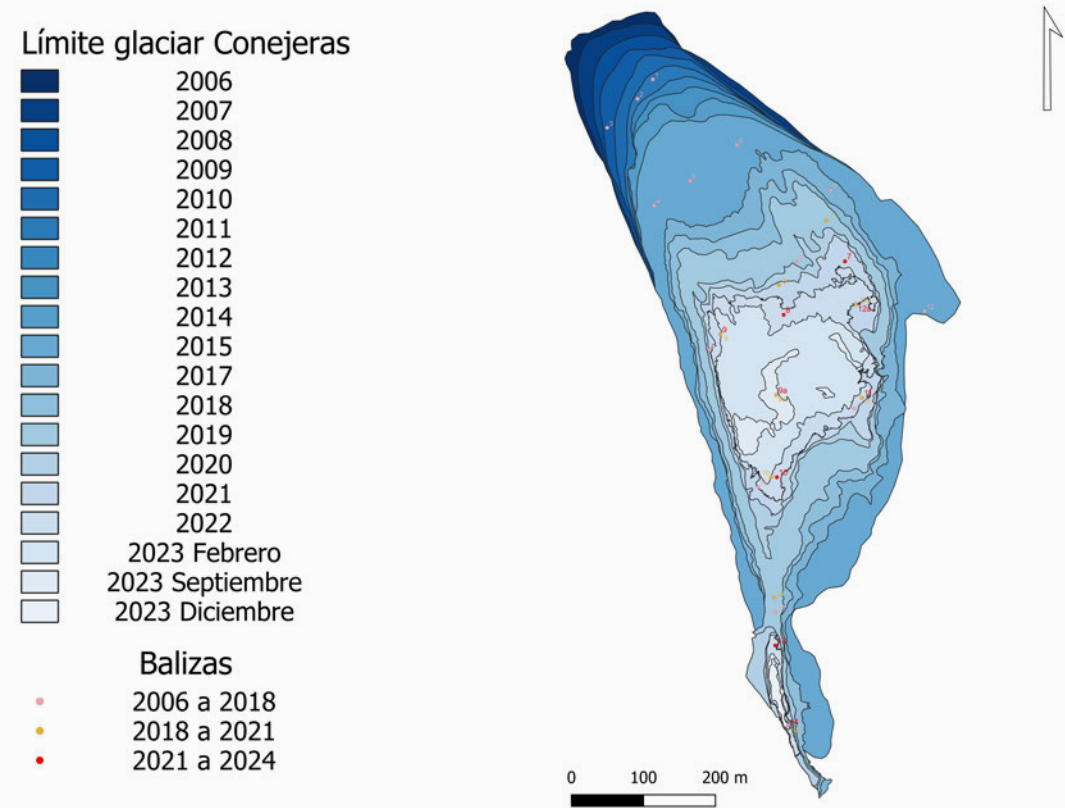
Fotografía 22. Extinción del glaciar Conejeras entre 2018 (izquierda) y 2024 (derecha)



Fuente: Jorge Luis Ceballos (2018 y 2024, respectivamente).

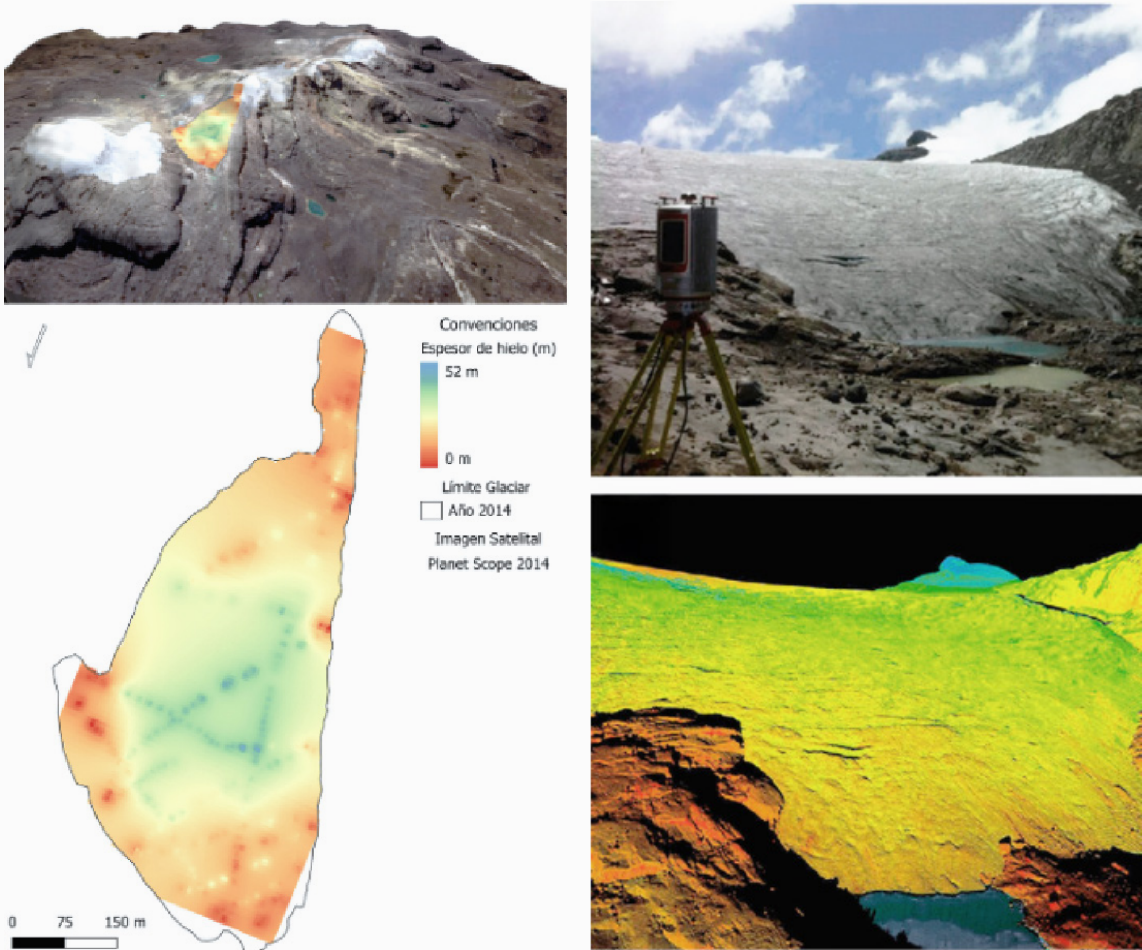
La fotografía 22 da cuenta de la transformación de la superficie del glaciar Conejeras en un periodo de seis años. El seguimiento a estos cambios se hizo mediante la realización de levantamientos topográficos, vuelos fotogramétricos a baja altura con drones e interpretación de imágenes satelitales. La figura 39 muestra la evolución del área glaciar Conejeras desde 2006 hasta su extinción en 2023.

Figura 39. Evolución del área del glaciar Conejeras en el Nevado Santa Isabel desde 2017 hasta 2023 y la red de balizas de ablación glaciar



Uno de los hitos menos conocidos y divulgados es el cálculo del espesor del hielo y la cartografía Lidar en el sector Conejeras. Para el año 2014, se calculó un espesor máximo de 52 m. Los resultados obtenidos (ver figura 40) son una línea base para estudios glaciológicos, hidrológicos y cartográficos, que permitan comprender la dinámica del acelerado deshielo en los glaciares colombianos.

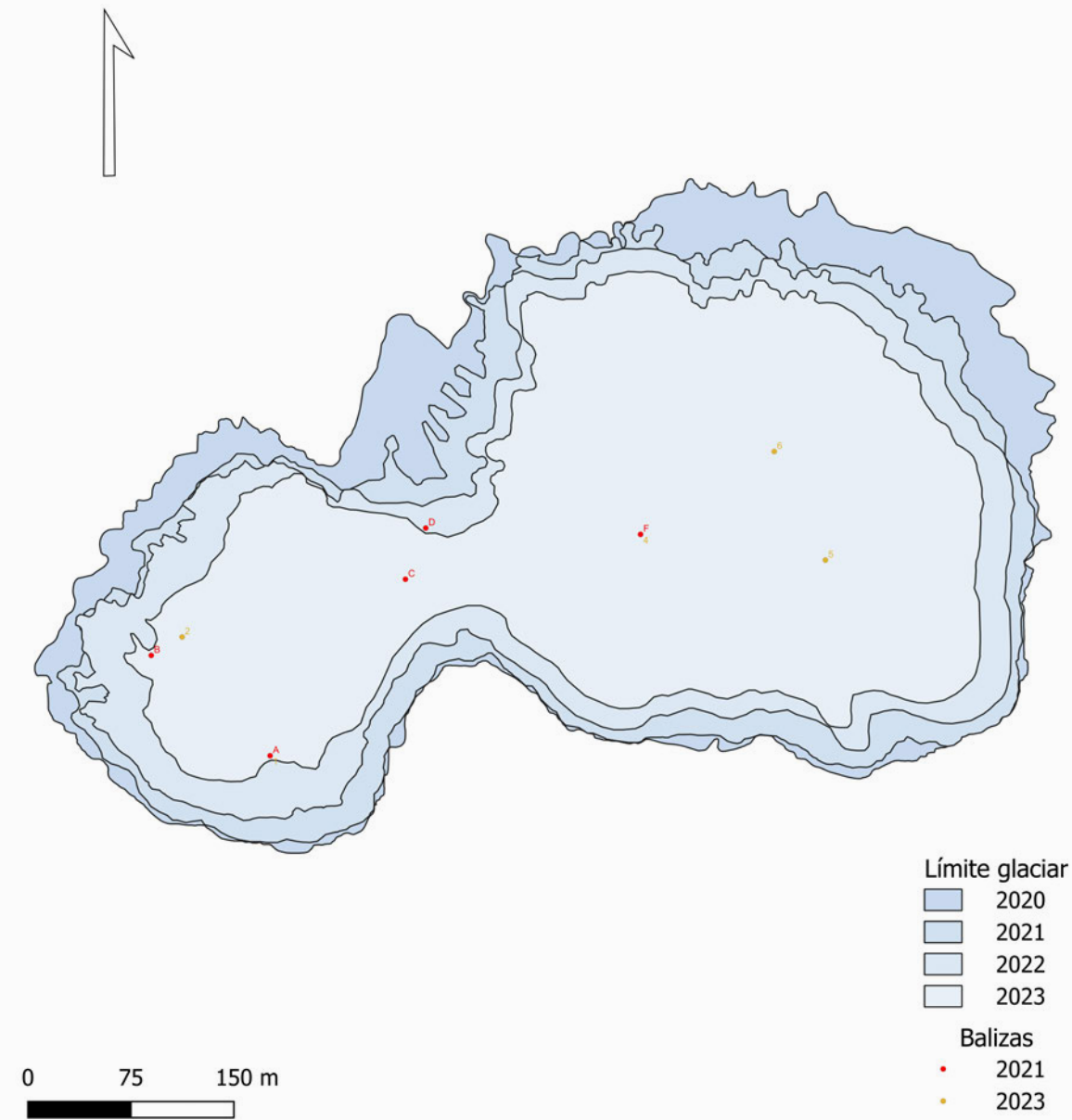
Figura 40. Espesores de hielo y cartografía Lidar calculados en 2014 para el glaciar Conejeras en el Nevado Santa Isabel



Frente a los acelerados cambios observados en el glaciar Conejeras durante el año 2020, el equipo de investigadores del Ideam decidió instalar en el año 2021 una nueva red de balizas de ablación en el sector conocido como cumbre Norte o también El Hongo, con el

objetivo de seguir monitoreando la dinámica de este nevado (ver figura 41). Este seguimiento ha sido desarrollado con una periodicidad mensual. En este sentido, El Hongo se ha consolidado como el cuarto glaciar monitoreado mediante balance de masa glaciológico en Colombia.

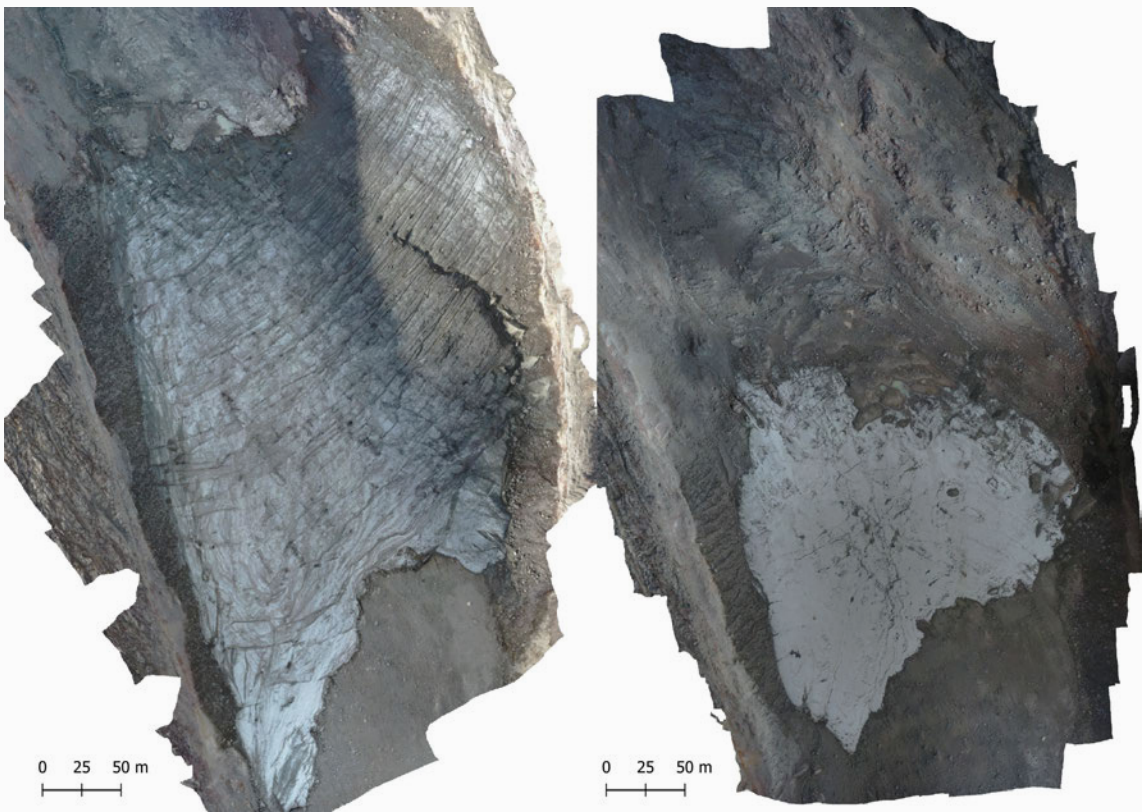
Figura 41. Evolución del límite glaciar del sector El Hongo en el Nevado Santa Isabel desde 2020 hasta 2023 y la red de balizas de ablación glaciar



En los últimos años, el equipo de investigadores ha realizado vuelos fotogramétricos de baja altura, que han permitido calcular modelos de superficie, extensiones glaciares y que, en los próximos años,

se convertirán en insumos de gran importancia para el cálculo de balance de masa con métodos geodésicos. En la figura 42, se muestran los ortofotomosaicos del glaciar Conejeras en el Nevado Santa Isabel, entre los años 2020 y 2023.

Figura 42. Ortofotomosaicos del glaciar Conejeras elaborados a partir de imágenes fotográficas de alta resolución desde dron, 2020 (izquierda) y 2023 (derecha)



Así mismo, mediante la donación de cámaras de fotoseguimineto, donadas por Aguas & Aguas de Pereira y la Universidad Tecnológica de Pereira (ver fotografía 23), se ha realizado el seguimiento fotográfico (ver “Enlaces de interés”, en la sección “Referencias”).

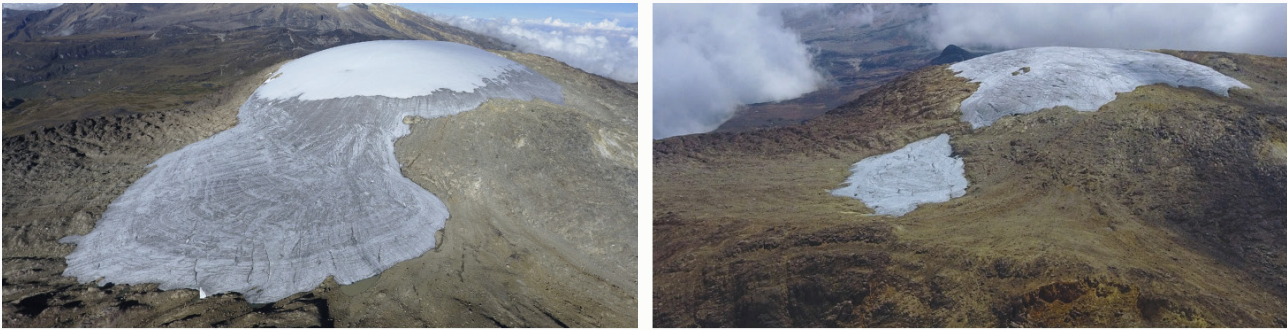
Fotografía 23. Cámara de fotoseguimiento instalada cerca al borde del glaciar El Hongo del Nevado Santa Isabel



Fuente: Jorge Luis Ceballos (febrero, 2023).

A finales de 2022, del Nevado Santa Isabel, solo restaban cuatro relictos glaciares: El Hongo, con un área de 16 ha; Laguna Verde, un relictos de hielo glaciar poco conocido de 5,47 ha, localizado en la vertiente oriental; el Cuadrado, de 0,75 ha; y el Escondido, de 0,21 ha (ver fotografías 24 a 26).

Fotografía 24. Cambios de área en el glaciar El Hongo entre 2017 (izquierda) y 2024 (derecha)



Fuente: Jorge Luis Ceballos (2017 y 2024, respectivamente).

Fotografía 25. Cambios de área en el glaciar Cuadrado entre 2020 (izquierda) y 2024 (derecha)



Fuente: Andrés Cruz (2020 y 2024, respectivamente).

Fotografía 26. Glaciar Laguna Verde entre 2022 (izquierda) y 2024 (derecha)



Fuente: Ideam (2022 y 2024, respectivamente).

Según observaciones de campo, las imágenes de satélite y los datos del balance de masa, la extinción total del glaciar Santa Isabel podría ocurrir durante el próximo lustro.

8. Monitoreo glaciar participativo

Tras cuatro lustros de monitoreo glaciar *in situ* en dos regiones de Colombia, los investigadores del Ideam lograron una cercanía con las comunidades locales que habitan en las áreas de influencia de los Parque Nacionales Naturales Los Nevados y El Cocuy. Grupos de estudiantes, campesinos y guías de turismo de diversos orígenes y edades manifestaron su interés por conocer los resultados y la metodología empleada para evaluar el estado de los glaciares.

Fue así como se inició una labor de divulgación presencial de los conceptos de la ciencia de la glaciología, por medio de talleres y conferencias, que permitieron la vinculación directa de los ciudadanos interesados en el proceso de monitoreo glaciar en Colombia. Por otra parte, aunque es cierto que el cambio climático y sus efectos son uno de los temas más discutidos en la literatura científica, su percepción por parte de los locales, sobre todo en los Andes tropicales, es aún poco estudiada. Esta brecha parece mostrar unas pobres dinámicas de diálogo entre el conocimiento científico y el conocimiento local en torno al impacto de los cambios en el clima (Rosero y Aguirre-Torres, 2019).

En 2019, durante una conferencia realizada en la ciudad de Ibagué sobre monitoreo glaciar, surgió la iniciativa de conformar un colectivo integrado por jóvenes estudiantes y guías de turismo, quienes, durante sus jornadas de ascenso a la alta montaña, tomarían registros que permitieran calcular el Balance de Masa Glaciar del sector Shimmer del Volcán Nevado del Tolima (ver fotografía 28), del cual no se tenían registros, por parte del Ideam, hasta ese momento. Posteriormente, en 2020, durante un evento realizado en el Volcán Nevado Santa Isabel, en el que participaron miembros de la comunidad académica de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), se tuvo un primer acercamiento con el profesor Manuel Tiberio Flórez, quien, por medio de una estadía científica en el Ideam, realizó un estudio, en conjunto con la UTP y el Ideam, para identificar las interacciones entre la actividad turística y la dinámica del glaciar Santa Isabel, en el contexto actual de cambio climático. Para ello, se llevaron a cabo varios talleres con la participación de guías y operadores turísticos de Caldas, Risaralda y Quindío, dada su relación con este glaciar.

En el marco de este estudio, y posteriormente a la incorporación de guías locales a las jornadas de monitoreo por parte del Ideam, en 2021, se identificó una nueva propuesta de parte de un colectivo de Santa Rosa de Cabal (Risaralda), que reportó haber iniciado el registro de datos relacionados con el retroceso del frente glaciar en el sector Conejeras del glaciar Santa Isabel (ver fotografía 29).

Fotografía 27. Monitoreo participativo en el Nevado del Tolima
© Paula Ángel (2024).

Fotografía 28. Colectivo Red de Monitoreo Participativo Volcán Nevado del Tolima



Fuente: Diego Mojica (2021).

Fotografía 29. Colectivo GAIA Turismo y Naturaleza



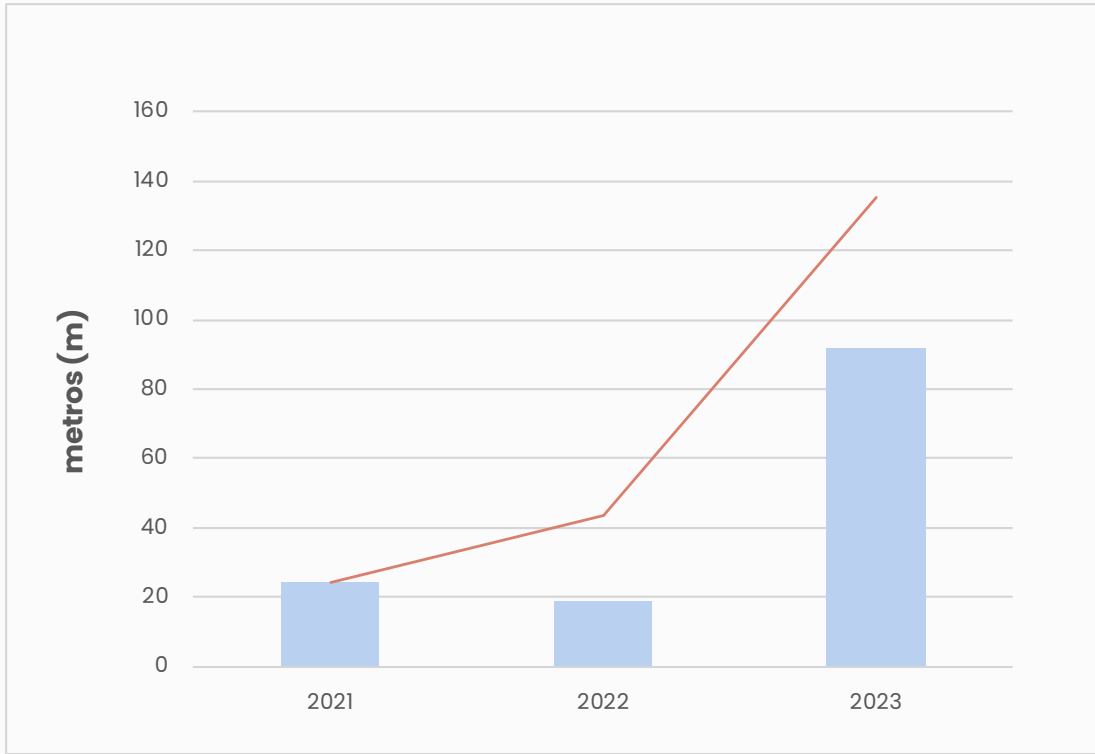
Fuente: Andrés Gutiérrez (2023).

Estas dos iniciativas encajan, perfectamente, en las prácticas de monitoreo participativo, que, de acuerdo con la definición de Perevochtchikova et al. (2022), se componen de una dinámica estructurada e inclusiva de generación de información, que involucra a personas que no son científicos en la recolección, el procesamiento y el análisis de datos ambientales. Para el desarrollo de estas actividades, es necesario 1) definir indicadores sensibles a la situación de interés, que sean de fácil seguimiento y reconocimiento por personas no expertas en el tema, y 2) los involucrados deben contar con bases teóricas sólidas, que permitan realizar tanto el trabajo práctico como el análisis sistémico de las variables monitoreadas (Mazón et al. citados en Valencia, 2023). La implementación de las actividades de monitoreo participativo por parte de la Red de Monitoreo Participativo Volcán Nevado del Tolima y del colectivo GAIA Turismo y Naturaleza en los glaciares Tolima y Santa Isabel, respectivamente, constituyen experiencias sin precedente conocido en lugar alguno del planeta en los que se realiza la actividad de la glaciología. Además, han permitido, con sus registros, no solo ampliar la información glaciaria disponible en Colombia, en favor de una mejor comprensión del impacto de las condiciones climáticas locales en el proceso de transformación del paisaje en los sectores monitoreados, sino también, promover una nueva dinámica en el desarrollo de la actividad turística, mediante el desarrollo de:

Una experiencia que vincula la perspectiva científica en su interpretación, lo que representa un acuerdo social, interinstitucional y de conocimiento transdisciplinar para la adaptación social ante los efectos del cambio climático en los ecosistemas de alta montaña que constituyen destinos turísticos con valores objeto de conservación, importancia cultural y oportunidades para la educación ambiental (Flórez et al., 2023, p. 54).

La figura 43 muestra el retroceso del frente glaciar acumulado para los años 2021, 2022 y 2023, que consolidan los registros mensuales, realizados por el colectivo GAIA Turismo y Naturaleza, entre abril de 2021 y septiembre de 2023.

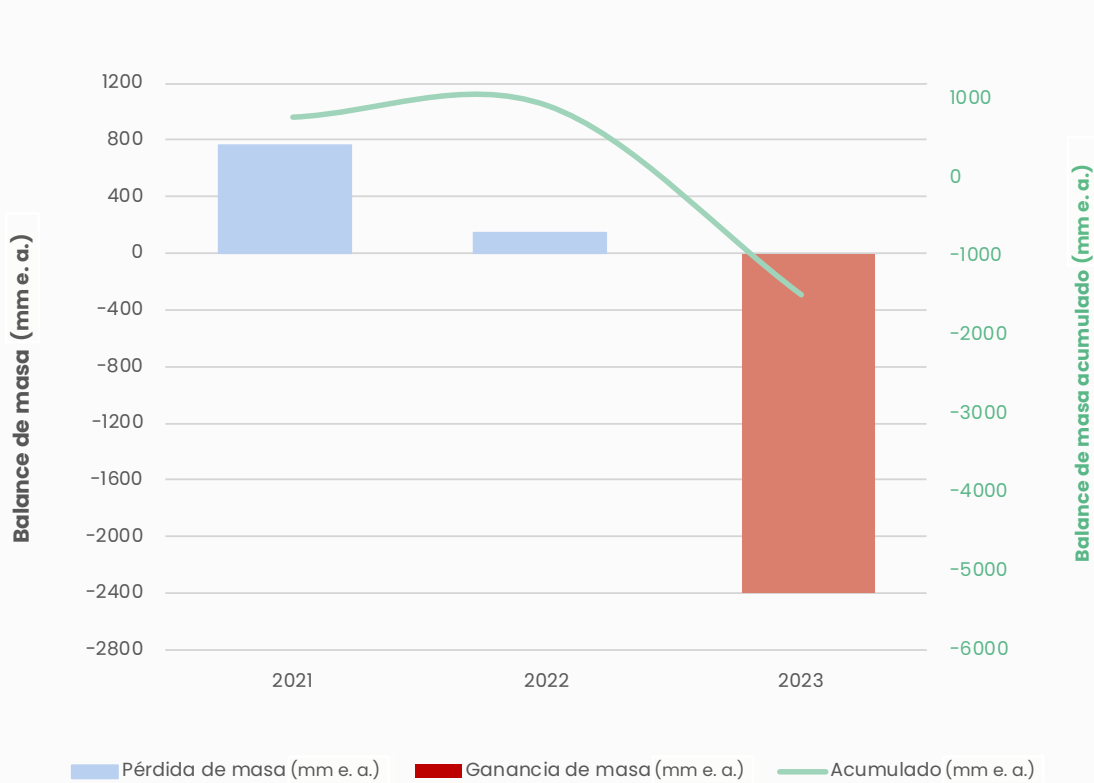
Figura 43. Registros de monitoreo participativo en el sector Conejeras, Nevado Santa Isabel, PNN Los Nevados



Fuente: Ideam (2023).

A continuación, se presenta el balance de masa en el sector Shimmer del Volcán Nevado del Tolima (ver figura 44 y tabla 22), calculado por primera vez para este glaciar y desarrollado como un ejercicio de glaciología participativa,por el colectivo denominado Red de Monitoreo Participativo Volcán Nevado del Tolima, con asesoría técnica del Ideam.

Figura 44. Balance de masa anual y balance acumulado del Nevado del Tolima, sector glaciar Shimmer



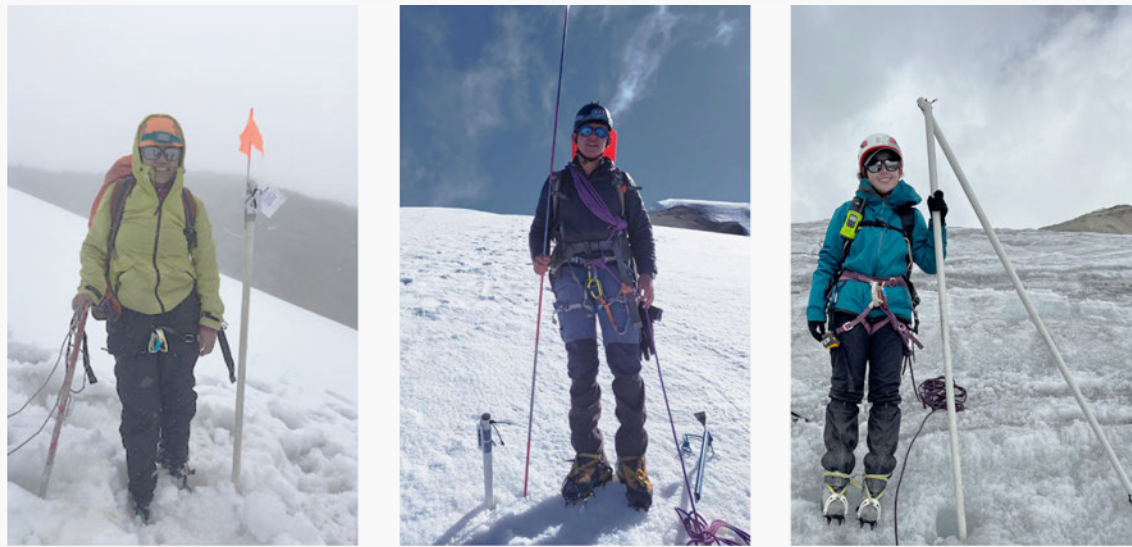
Fuente: Ideam (2023).

Tabla 22. Balance de masa anual y balance acumulado, 2021 -2023. Nevado del Tolima, sector Shimmer

Año hidrológico	Balance de masa en milímetros equivalentes de agua (mm e. a.)	Balance de masa acumulado en metros equivalentes de agua (m e. a.)
2021	764	764
2022	147	912
2023	-2.396	-1.484

Fuente: Red de Monitoreo Participativo Volcán Nevado del Tolima.

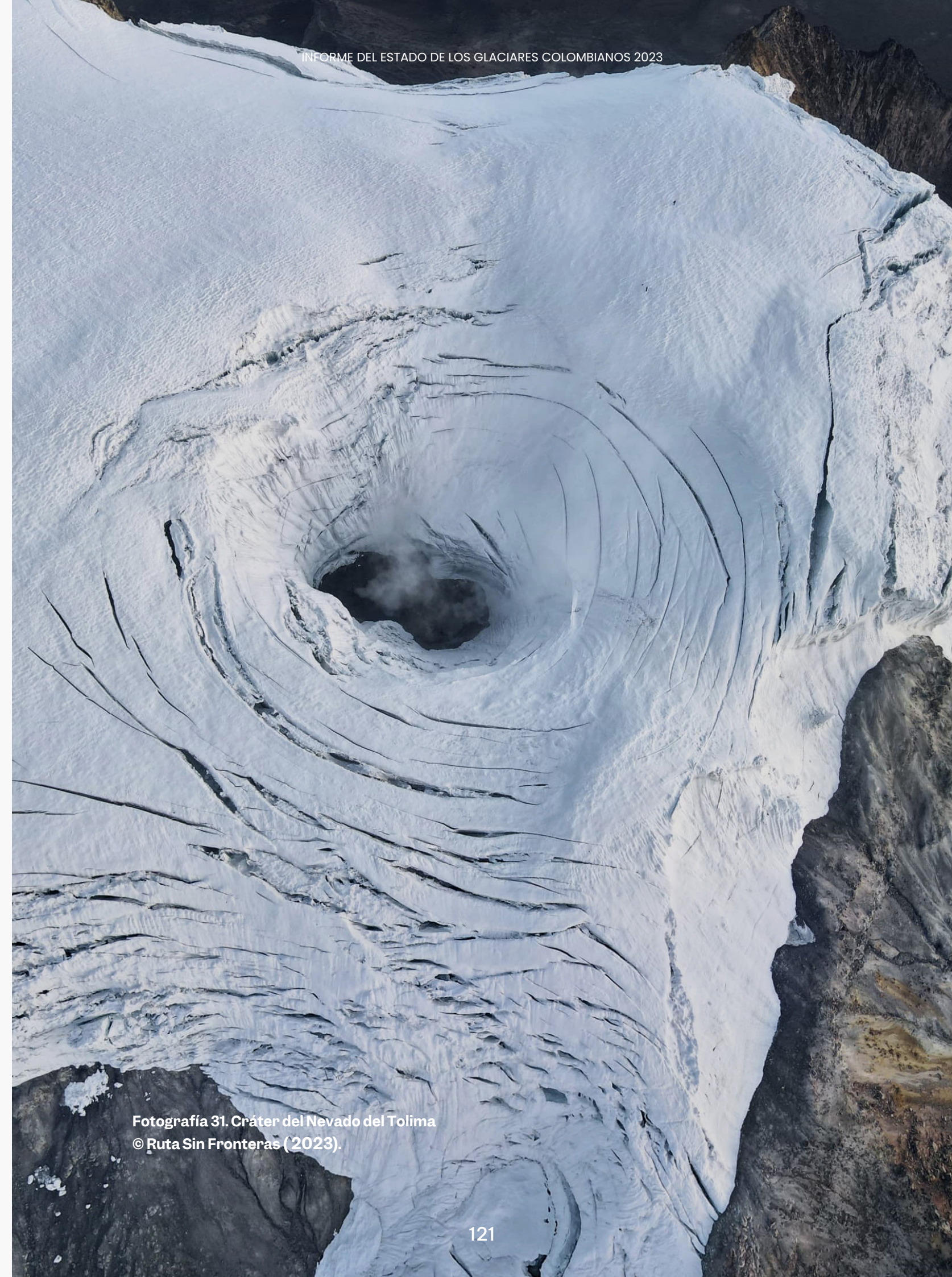
Fotografía 30. Comparación cronológica de la superficie glaciar en la baliza 4, glaciar Conejeras



Fuente: Red de Monitoreo Participativo Volcán Nevado del Tolima. Fechas de cada foto de izquierda a derecha: febrero de 2021, enero de 2022 y marzo de 2024.

El monitoreo glaciar realizado por montañistas, guías, turistas y campesinos registró la dinámica glaciológica desde febrero de 2021 hasta enero de 2024. Resultó de especial interés, dado que, durante el periodo de estudio, coincidieron tanto el fenómeno climático de La Niña (2021 y 2022), con sucesivas precipitaciones y acumulaciones de nieve, como de El Niño, que durante el segundo semestre de 2023 hizo que el glaciar perdiera 2,6 veces más de lo acumulado durante los dos años anteriores (ver fotografía 30 y figura 45).

Figura 45. Cambio en la superficie del glaciar Shimmer, Nevado del Tolima, entre marzo (izquierda) y octubre (derecha) de 2023



Fotografía 31. Cráter del Nevado del Tolima
© Ruta Sin Fronteras (2023).

9. Homenaje a montañistas y exploradores de los glaciares colombianos

Nuestras montañas nevadas no solo juegan un papel importante en el conocimiento del clima pasado, actual y futuro, también son escenarios que guardan historias. Si bien las actividades glaciológicas buscan observar, medir y entender las dinámicas de los glaciares colombianos, los montañistas y escaladores, por su parte, han mostrado otras dimensiones de estas montañas blancas. Durante décadas, han registrado cambios en el glaciar, grietas, áreas escarpadas, mediciones de altitud y senderos para facilitar el acceso a investigadores, que han contribuido al conocimiento y divulgación de los nevados colombianos.

En este reporte, se desea hacer un homenaje a cinco grandes montañistas colombianos fallecidos, quienes, con sus hazañas de conquistar las cumbres más altas de Colombia, recolectaron información valiosa para la investigación glaciológica del país y abrieron el camino a las nuevas generaciones que continúan en este deporte.





9.1. Juan Pablo Ruiz Soto (1957-2023)

Por Luis Pardo Orozco

Fue, por excelencia, quien tuvo a cargo varias de las expediciones nacionales en las montañas más grandes del Himalaya y del mundo, en donde logró coronar dos veces el monte Everest. Sin embargo, su mayor logro del montañismo fue culminar el proyecto Glaciares y Volcanes, que realizó junto con su buen amigo Cristóbal Von Rothkirch, y que consistió en recorrer la geografía nacional para ascender todas las cumbres con glaciar propio y a todos los volcanes superiores a 4.200 metros. Esta hazaña representó, durante 8 años de actividad montañera, un total de 65 cumbres, y se constituye como la máxima expresión de la exploración geográfica que se haya hecho en las cordilleras colombianas. Dadas las condiciones actuales, es prácticamente imposible que este proyecto se pueda repetir. A lo largo de su vida, asesoró a varias organizaciones, como el Banco Mundial, la Fundación Natura y WWF, y cabe resaltar que también fue miembro del Consejo Directivo del Ideam en el 2012. Además de montañista, fue reconocido como un importante ambientalista que dejó un importante legado intelectual, el cual reposa entre diversos libros y variados artículos de prensa y revistas académicas.

“Líder del montañismo colombiano”.



9.2. Manuel Arturo Barrios Prieto (1956-2023)

Por José Fernando Machado y Evoly Gonzáles Pacheco

El experimentado socorrista de la Cruz Roja seccional Tolima, escalador curtido y guía de alta montaña fue experto internacional de seguridad, salvamento y rescate en alturas y lugares remotos e instructor de instructores en Colombia, Perú y Bolivia. Manolo escaló las cumbres más altas de Colombia y la cordillera de los Andes hasta Argentina y Chile. De pocas palabras y muchas risas, tan estoico como tierno, amiguelero y así mismo solitario, intuitivo y perfectamente adaptado a los rigores de la montaña. Su determinación lo llevó a conquistar rutas desafiantes en todos los continentes, como la mítica pared sur del Aconcagua (6.962 m, Argentina), el Huascarán (6.867 m, Perú) en solitario, el Denali (6.194 m, Alaska), el Elbruz (5.642 m, cordillera del Cáucaso), el Mont Blanc (4.810 m, en los Alpes), el Kilimanjaro (5.895 m, Tanzania), el Vinson (4.892 m, Antártida) y la Pirámide Carstensz (4.884 m, Papúa Nueva Guinea). Fue el primer colombiano en llegar a la cima de un ochomil, el monte Broad Peak (8.047 m, cordillera del Karakorum, Pakistán, en 1984); luego alcanzó la cumbre del Cho Oyu (8.201 m, cordillera del Himalaya, en 1999) y el Everest (8.848 m, cordillera del Himalaya, 2001). En 2016, fue uno de los 4 colombianos en completar por primera vez las clásicas “7 cumbres”: la montaña más alta de cada continente, del círculo polar ártico y del polo sur.

Manolo, irrepetible.



9.3. Gonzalo Ospina (1959-2019)

Por Mónica SavdiÉ, nombre artístico

Atraído desde muy joven por las montañas, el bogotano Gonzalo Ospina (1959) hizo sus primeros pinitos en las rocas de Sindamanoy (Cundinamarca). Una vez “conquistada” la zona sabanera, emprendió sus pasos adolescentes hacia la región de Suesca, pues había oído hablar de unos farallones de piedra que se convirtieron en su segundo hogar. Corrían los años ochenta y comenzó a ascender y darle nombre a las primeras y legendarias rutas del hoy reconocido parque de escalada.

Posteriormente, caminó hacia la alta montaña. La Sierra Nevada El Cocuy sería su tercer hogar. Subió sus nevados y ascendió la pared sur del Ritacuba Negro, y fue pionero de escalada en gran pared. En la Sierra Nevada de Santa Marta, realizaría el primer ascenso al pico Colón por la pared oriental.

Su pasión por las montañas lo llevó a crear “Aventura”, tienda especializada en equipo de alta montaña, donde innovó en la manufactura de morrales que convirtieron su marca Spigo en sinónimo de calidad y seguridad. Para comienzos de los noventa, Gonzalo comenzaría a ser un referente para las nuevas generaciones de alpinistas.

En el plano internacional, ascendió en Perú el Alpamayo por la temeraria ruta “La Ferrari”. En Argentina, realizó un doble ascenso al Aconcagua por la normal y la ruta Berlín de la cara sur. En Yosemite, California, escaló en 1996 “El Capitán”. A finales del siglo XX, Gonzalo formó parte de las expediciones nacionales que se aventuraron a escalar varios “ochomiles” del Himalaya como preparación para el ascenso al Everest. Tuvo en sus manos alistar el campamento último para el logro de sus coequiperos en 2001.

“Gonzalo comenzaría a ser un referente para las nuevas generaciones de alpinistas”.



9.4. Lenin Granados (1967-1998)

Por Luis Pardo Orozco

Fue un ingeniero industrial que se inició como montañista autodidacta en el medio universitario, con lo que llegó a ser reconocido por su capacidad organizativa y de gestión de expediciones. Lenin era amplio conocedor de los principales macizos y cumbres colombianas, en las que había realizado un sinnúmero de travesías y ascensos de considerable dificultad, entre los que destacan, en el ámbito nacional: la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, el Nevado del Tolima, el Nevado del Ruiz y el Nevado Santa Isabel.

Lenin, de Santa Rosa de Viterbo en Boyacá, destacó desde muy joven por sus rápidos logros en los nevados de Colombia, el Aconcagua y el Denali. Adelantó sus estudios en la Universidad Distrital de Bogotá, en donde fue líder del Club de Montañismo Universitario.

“Su destreza técnica, su andar fluido, su templanza boyacense..., así como el más fuerte y el de corazón más limpio”, como lo describe Cristóbal von Rotkirch, fueron los elementos que le permitieron ser parte de ese naciente montañismo colombiano en el Himalaya.

Tristemente, fue la primera gran pérdida del montañismo colombiano cuando iniciaba la época del “ochomilismo” nacional, que buscaba posicionar a los escaladores más prometedores en las cumbres más altas del mundo. En esta oportunidad una avalancha de 500 m de ancho, 1 km de largo y 1,5 m de espesor lo arrastró y arrojó en las laderas del místico Manaslu.

“Su destreza técnica, su andar fluido, su templanza boyacense..., así como el más fuerte y el de corazón más limpio”.



9.5. Víctor Correa (1978-2012)

Por Luis Pardo Orozco

Los montañistas lo recuerdan como el ser más espontáneo y divertido, con quien se podía compartir un campamento base en las montañas de su natal Güicán de la Sierra. Desde niño, y junto a su perro labrador, Erwin recorría los páramos del norte de Boyacá escudriñando caminos que guardaba en su memoria, para luego recorrerlos con clientes mientras trabajaba de guía o porteador de morrales, de modo que lograba posicionar su agencia como una de las más prósperas operadoras de turismo en el PNN El Cocuy.

Pero su relación con la montaña y los glaciares no era solamente laboral, pues también disfrutaba de las montañas desconocidas, las vertientes agrestes y los glaciares lejanos. Esta relación lo llevó a conocer, si no todos, a la gran mayoría de los picos, cerros, vertientes, aristas, agujas, glaciares de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán.

Esa pasión lo llevó a soñar en grande y muy alto, sueño que alcanzó en las altas cotas del Himalaya, en donde todavía aún permanece arropado por las laderas del monte Manaslu.

Su espíritu guerreo, aventurero, altruista, humilde y de gran corazón, como buen boyacense, hicieron que se ganara un espacio en el cariño y admiración de miles de montañistas y turistas que tuvieron el honor de distinguirlo, conocerlo y caminar junto a él.

**“Su espíritu
guerreero,
aventurero,
altruista, humilde
y de gran corazón,
como buen
boyacense”.**

10.

Conclusiones

- La cobertura glaciar nacional continúa disminuyendo. Entre 2021 y 2022, se redujo 3,2 % (1,11 km²). Aunque su ritmo disminuyó ligeramente durante ese periodo, debido a los efectos del fenómeno climático extremo de La Niña, continúa la disminución de la cobertura glaciar colombiana.
- El sector o glaciar Conejeras incrementó su derretimiento durante el segundo semestre de 2023, a causa del inicio del fenómeno climático extremo de El Niño, cuestión que ocasionó su extinción a inicios de 2024 y dio por terminadas las mediciones para estimar el Balance de Masa Glaciar.
- De continuar el derretimiento, la extinción total del glaciar Santa Isabel podría ocurrir en el transcurso del próximo lustro, dependiendo de la variabilidad climática, como los fenómenos de El Niño o La Niña y de la influencia de la actividad del volcán del Ruiz.
- El indicador ambiental Balance de Masa Glaciar, que se calcula para dos glaciares colombianos (Sierra Nevada El Cocuy o Güicán y el Volcán Nevado Santa Isabel), continuó en el 2023 siendo disímil entre ambos sitios, y se atribuye, principalmente, a condiciones geográficas y climáticas locales y regionales. El balance de masa acumulado sigue siendo negativo para ambos sitios, pero desigual en sus pérdidas de masa.
- Después de seis años de registrar ganancias de masa, se evidenció, durante el 2023, en el glaciar Ritacuba Blanco en la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, una pérdida de masa, ocasionada por la influencia de El Niño a lo largo del segundo semestre de ese año. Sin embargo, en esta sierra nevada se presentan diferencias de norte a sur en la dinámica de sus glaciares.
- La ubicación ecuatorial de los glaciares colombianos los hace sensibles a las condiciones climáticas actuales, pero, aunque existe una condición global de cambio climático, hay circunstancias locales que disminuyen o acentúan su reducción. Algunas de ellas son la altitud, la pendiente, el clima local y la exposición a la

radiación solar. Adicionalmente, los eventos climáticos regionales ENSO, en la fase cálida de El Niño, acentúan el derretimiento, como en el caso del evento 2015-2016 y 2023. Por el contrario, la fase fría de La Niña tiende a estabilizar la reducción glaciar, como en el caso del evento 2010-2011 y, recientemente, el evento 2021-2022.

- La experiencia de glaciología participativa continuó en los glaciares Santa Isabel y Tolima. Además, surgió una nueva iniciativa local en comunidades de guías de montaña de la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, cuestión que muestra, una vez más, que las comunidades, cuya economía depende directa o indirectamente de los entornos glaciares en Colombia, encuentran en la ciencia ciudadana una alternativa para profundizar sus conocimientos empíricos del paisaje de la alta montaña y resignificar la experiencia turística de ascenso a las montañas blancas a través del aprendizaje experiencial como mecanismo de adaptación a las transformaciones irreversibles del territorio que habitan.

Referencias

Agencia Nacional de Tierras. (2022). *Dirección de Asuntos Étnicos, Resguardos Indígenas [Base de Datos]*. Actualizado a 5 de julio de 2024.

Bolívar. (2025, enero 21). Estado de los glaciares en Ecuador [Diapositivas]. Conferencia Glaciares Tropicales: La extinción de los hielos perpetuos, Urcuquí, Ecuador.

Cáceres, B. (2017). Evolución de los glaciares del Ecuador durante los últimos 60 años y su relación con el cambio climático. *Goal Workshop 2017 México*, 135-138.

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*. UNESCO-IHP (IHP-VII Technical documents in hydrology 86, IACS contribution 2).

Condom, T., Coudrain, A., Sicart, J.E., y Théry, S. (2007). Computation of the space and time evolution of equilibrium-line altitudes on Andean glaciers (10°N-55°S). *Global and Planetary Change*, 59(1-4), 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.021>.

Correa, A., y Ancochea, E. (2009). Complejo volcánico Nevado del Huila: evidencias de su historia eruptiva. *Boletín Geológico* 43, 41-52.

Dirección General de Aguas (2022). *Inventario Público de Glaciares*. Dirección Nacional de Aguas. <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/InventarioGlaciares.aspx>.

Flórez, A. (2003). *Colombia: evolución de sus relieves y modelados*. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53415>.

Flórez, M., Morales, T., Ceballos, J., Ospina, J., y Zuluaga, L. (2023). Destinos turísticos resilientes y adaptativos al cambio climático. La incorporación del monitoreo participativo del retroceso glaciar en la experiencia turística como estrategia de adaptación social. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., Jackson, M., Kääb, A., Kang, S., Kutuzov, S., Milner, A., Molau, U., Morin, S., Orlove, B., y Steltzer, H. (2019). High Mountain Areas. En 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 y N.M. Weyer (Eds.), *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/06_SROCC_Ch02_FINAL.pdf

Ideam. (2012). *Glaciares de Colombia: más que montañas con hielo*. Ideam.

Ideam. (2023). *Informe del estado de los glaciares colombianos 2022*. Ideam.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2024). *Diccionario geográfico de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). <https://diccionario.igac.gov.co>

Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem). (2023). *Memoria descriptiva del Inventario Nacional de Glaciares y Laguna de Origen Glaciar del Perú*. Dirección de Investigación en Glaciares (DIG), Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem). <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/7029db53-5118-4e93-8b2a-71e6e26db5f6>

Inventario Nacional de Glaciares (Inaigla). (2018). *Resumen ejecutivo de los resultados del Inventario Nacional de Glaciares*. Inaigla-Conicet, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. pp. 27. https://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page_id=2571

Masiokas M.H., Rabatel A., Rivera, A., Ruiz, L., Pitte, P., Ceballos, J.L., Barcaza, G., Soruco, A., Bown, F., Berthier, E., Dussaillant, I., y MacDonell, S. (2020). A Review of the Current State and Recent Changes of the Andean Cryosphere. *Front. Earth Sci*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00099>

Medwedeff, W.G. y Roe, G.H. (2017). Trends and variability in the global dataset of glacier mass balance. *Clim. Dyn*, 48(9-10), 3085-3097. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3253-x>

Montenegro Bocanegra, J. E. (2007). *Modelo institucional del Ideam sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Ideam.

Oerlemans, J. y Hoogendoorn, N. (1989). Mass-Balance Gradients and Climatic Change. *Journal of Glaciology*, 35(121), 399-405. <https://doi.org/10.3189/S0022143000009333>

Ordóñez, M., Laverde, C., y López, C. (2020). *El Nuevo Domo de Lava del Volcán Nevado del Ruiz y la Geomorfología Actual del Cráter Arenas 2020*. Servicio Geológico Colombiano.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2022). *Estado del clima en América Latina y el Caribe 2021 (OMM-N.º 1295)*. Organización Meteorológica Mundial (OMM). <https://library.wmo.int/records/item/58014-state-of-the-climate-in-latin-america-and-the-caribbean-2021#.Ytq6sHbMKUm>

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2024). *Estado del clima en América Latina y el Caribe 2023 (OMM-N.º 1351)*. Organización Meteorológica Mundial (OMM). https://library.wmo.int/records/item/68895-el-estado-del-clima-en-america-latina-y-el-caribe2023?language_id=13&back=&offset=

Perevochtchikova, M., Almeida Leñero, L. O., Flores-Díaz, A. C., y González, R. (2022). ¿Qué sabemos del monitoreo participativo en México? Propuesta conceptual desde la perspectiva socioecosistémica y revisión sistemática de literatura científica. *Gestión y política pública*, 31(2), 123-175. <https://doi.org/10.60583/gypp.v31i2.1259>

-
Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gómez, J., Cáceres, B., Ceballos, J.L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendoza, J., Ménégos, M., Ramirez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M., y Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7(1), pp. 81-102. <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>

Ramírez, E. (2014). *Inventario de glaciares, cuerpos de agua y bofedales de la Cordillera Real de Bolivia*. Ministerio del Medio Ambiente y Agua.

Ramírez, N., Melfo, A., Resler, L. and Llambí L. D. (2020). The end of the eternal snows: integrative mapping of 100 years of glacier retreat in the Venezuelan Andes. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 52(1), 563-581. <https://doi.org/10.1080/15230430.2020.1822728>

Resolución 207 de 2023 [Parques Nacionales Naturales de Colombia]. “Por medio de la cual se ordena la apertura y se adopta la reglamentación del ecoturismo en el Parque Nacional Natural de los Nevados”. 4 de agosto de 2023.

Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, F., Muñoz, C., y Vuille, M. (2017). *Manual Balance de Masa Glaciar*. Ediciones Centro de Estudios Científicos.

Rosero, G. D. y Aguirre-Torres, D. (2019). Programa de Monitoreo Climático Participativo: diálogo de saberes en la sierra ecuatoriana . En Bustamante, R. y Canedo, G. (Eds.) *Visiones sobre el clima y gestión del riesgo climático*. Estudios y propuestas de estrategias de adaptación al cambio climático. Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (ASDI), UMSS y Centro Agua, 151-172.

Ruiz Soto, J. P. (2018). *Las 7 cumbres sin límites*. Epopeya Colombia.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). 2024. *Redes de monitoreo Volcán Nevado del Tolima*. Servicio Geológico Colombiano

Valencia, B. L. (2023). *Monitoreo participativo como estrategia de formación en cambio climático de los estudiantes de la Institución Educativa Rodrigo Arenas Betancurt. 2023*. Fundación Universitaria Los libertadores.

Van Wyk de Vries M., Carchipulla-Morales, D., Wickert, A. D., y Minaya, V. G. (2022). Glacier thickness and ice volume of the Northern Andes. *Sci Data* 9,(342). <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01446-8>

Veettil, B. K., Wang, S., De Souza, S. F., Bremer, U. F., & Simões, J. C. (2017). Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 77, 218-246. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.04.009>

Enlaces de interés

.

Repositorio Informes del Estado de los Glaciares Colombianos y libro *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo* (2018, 2020, 2021, 2022):
Informe del estado de los glaciares colombianos

Documental “Los Hijos del Hielo”. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (Usaid):
https://www.youtube.com/watch?v=v7oB_4hJspU

World Glacier Monitoring Service (WGMS):
<https://wgms.ch/>

Mountain Research Initiative (MRI):
<https://mountainresearchinitiative.org/>

The Global Glacier Casualty List (GGCL) is a dynamic platform to visualize data about recently disappeared and soon-to-disappear glaciers:
https://glaciercasualtylist.rice.edu/?data_id=dataSource_1-18ec41ee5e2-layer-75%3A33&page=Page

Proyecto “Revisiting inter-annual glacier mass balance as a response to the recent climate variability along the Andes region”:
<https://www.yachaytech.edu.ec/glacier-mass-balance-andes/>

Sitio web del Servicio Geológico Colombiano. Nevado del Ruiz:
<https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoRuiz/Paginas/generalidades-volcan-nevado-ruiz.aspx>

Sitio web del Servicio Geológico Colombiano. Nevado del Tolima:
<https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoTolima/Paginas/generalidades-volcan-nevado-tolima.aspx>

Sitio web del Servicio Geológico Colombiano. Nevado del Huila:
<https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoHuila/Paginas/generalidades.aspx>

Sitio web del Servicio Geológico Colombiano. Nevado Santa Isabel: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadodeSantaisabel/Paginas/generalidades-volcan-nevado-santa-isabel.aspx>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña:
<https://www.gob.pe/inaigem>

Registro con cámara de fotoseguimiento. Un día en el glaciar Conejeras del Nevado Santa Isabel:
https://youtu.be/h3X9OOr_5UE

Registro con cámara de fotoseguimiento. División del área glaciar de El Hongo del. Nevado Santa Isabel:
https://youtu.be/cPtG2_fEtFY

Registro con cámara de fotoseguimiento. Cambios en el glaciar Shimmer del Nevado del Tolima:
<https://youtu.be/2Fo3m5yc9XU>

Perforación del hielo:
https://youtu.be/_IEkM0ZQNhU

Instalación de balizas de ablación:
<https://www.youtube.com/shorts/q2joUue05LA>

Medición de acumulación de nieve:
https://www.youtube.com/shorts/S40ks_ttyPU

Levantamiento topográfico:
<https://www.youtube.com/watch?v=E-oiTLeG4gk>

Cómo se manipula una cámara de fotoseguimiento glaciar:
<https://youtu.be/hDM5x3xtsTg>

Anexos

A. Insumos para el cálculo del área

Las imágenes de satélite utilizadas para actualizar el área glaciar colombiana fueron donadas en el marco del Memorando de Entendimiento MoU-2019-1 entre el Ideam y Chemonics International Inc., sucursal Colombia, a través del proyecto “Modelos Innovadores de Conservación para Páramos y Bosques”.

Imágenes satelitales para el cálculo del área glaciar en el 2022			
GLACIAR	INSUMO	RESOLUCIÓN ESPACIAL	FECHA DE TOMA
Volcán Nevado Santa Isabel (Poleka Kasué)	Imagen Planet Scope	3 m	03 de febrero de 2022
	Imagen Planet Scope	3 m (8bandas)	03 de mayo de 2022
Volcán Nevado del Tolima (Dulima)	Imagen Planet Scope	3 m	12 de febrero de 2022
Volcán Nevado del Ruiz (Kumanday)	Imagen Planet Scope	3 m	17 de noviembre de 2021
	Imagen Planet Scope	3 m (8bandas)	03 de mayo de 2022
Sierra Nevada de Santa Marta (Chundua)	Imagen Sentinel	10 m	13 de enero de 2022
	Imagen Planet Scope	3 m	16 de enero de 2022
Sierra Nevada del Cocuy o Güicán (Zizuma)	Imagen Spot 6/7	1.5 m	22 de enero de 2022
	Imagen Sentinel 2	10 m	30 de enero de 2022
Volcán Nevado del Huila (Wila)	Imagen Planet Scope	3 m	09 de enero de 2022
	Imagen Planet Scope	3 m	03 de febrero de 2022
	Imagen Sentinel	10 m	08 de enero de 2022

B. Información e insumos de los mapas de evolución glaciar año 2022

Información de referencia para los mapas de evaluación de área glaciar desde 1850 hasta 2022	
Sistema de referencia de coordenadas	CTM 12
Elipsoide	GRS80
Proyección cartográfica	Transversa de Mercator
Origen latitud	4° N
Origen longitud	73° W
Falso este	5.000.000
Falso norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0,999
Fuentes de información	
Cartografía base	IGAC 1:25000
Ares glaciares	Ideam año 2022
Zonificación hidrográfica	Ideam (2013) Escala 1:100.000
Modelo de Elevación Digital (DEM)	SRTM 12,5 metros IGAC (2011)
Elaboración	Andrés Felipe Cruz Mendoza



Fotografía 32. Nevado del Tolima desde el glaciar Santa Isabel
© Jorge Luis Ceballos (2024).

INFORME DEL ESTADO DE LOS **GLACIARES** **COLOMBIANOS**

2023

