MAPBIOMAS
COLOMBIA

MAPBIOMAS
[AGUA]

Apéndice - Glaciar y nival

Algorithm Theoretical Basis Document - ATBD

Tema transversal en Colección 4.0
Versión 1.0
Noviembre 2026

Coordinación del proyecto
Adriana Rojas Suárez
Karen Andrea Huertas

Responsable técnico
John Aguilar

Desarrollo
Emanuel Valero

Equipo de especialistas

Catalina Pacheco
Nicolle Melo
Camila García

Institución
Fundación Gaia Amazonas

Gaia
Amazonas

Calle 70a # 11- 30

Bogotá, Colombia.

(57-1) 772 35 42 / (57-1) 805 37 68

contacto@gaiaamazonas.org

https://www.gaiaamazonas.org

Cómo citar:
MapBiomas Colombia. (2026). MapBiomas Agua - Glaciar: Colección 4.0 Glaciar y nival de Colombia (1985-2025). Fundación Gaia Amazonas. https://plataforma.colombia.mapbiomas.org/

Índice

1. Resumen ejecutivo 5
2. Introducción 5
3. Referencias 6
    3.1 Información de referencia global 6
    3.2 Información de referencia nacional 7
4. Área de Estudio 7
5. Biogeografía de los glaciares colombianos 8
6. Metodología 8
7. Regiones de clasificación 9
Figura 5. Superficies de glaciares y nivales 2025 10
8. Generación de los mosaicos anuales 11
9. Clasificación 13
10. Variables de clasificación 14
11. Leyenda 15
12. Post-clasificación 17
    12.1 Llenado de vacíos de información (Gap Fill) 17
    12.2 Filtro temporal 18
    12.3 Filtro espacial 19
    12.4 Filtro de frecuencia y permanencia temporal 19
    12.5 Integración con las otras clases MapBiomas 20
13. Localización e identificación de los picos glaciares: metodología 22
14. Generación de información glaciar por quinquenios y análisis de su evolución temporal 25
15. Referencias 26

Índice de figuras

Figura 1. Distribución de glaciares tropicales..... 6
Figura 2: Parques Nacionales Naturales con Glaciares y nivales en Colombia.....7
Figura 3. Biomas preliminares..... 8
Figura 4. Diagrama de flujo metodológico para la obtención de mapas de coberturas glaciar y nival..... 9
Figura 6. Creación de mosaicos anuales para Glaciares y nivales..... 12
Figura 7. Mosaicos NDSI mínimo Colección 4 - MapBiomas Colombia Colección 4..... 13
Figura 9. Parámetros de clasificación.....14
Figura 10. Detección de nieves recientes y antiguas en los nevados del Ruiz, Santa Isabel y del Tolima para el año 2002. (INGEOMINAS, 2010)..... 16
Figura 11. Respuesta espectral de Glaciar en el bioma Andes. El Cocuy - Boyacá, Año: 2025, Escala: 100 m Coordenada: -72.282054W, 6.515076N..... 17
Figura 12. Filtro Gap Fill.....18
Figura 13. Filtro temporal.....18
Figura 14. Efecto de la aplicación del filtro espacial.....19
Figura 15. Efecto de la aplicación del filtro temporal..... 20
Figura 16. Aplicación del filtro de permanencia temporal.....20
Figura 17. Integrado de Glaciares con las otras clases Sierra Nevada del Cocuy.....21
Figura 18. Clasificación multitemporal Volcán Nevado de Santa Isabel.....21
Figura 19. Clasificación multitemporal Sierra Nevada del Cocuy..... 22
Figura 20. Identificación documental y bibliográfica de los picos glaciares de los glaciares y nivales de Colombia.....23
Figura 21. Distribución polígono de clasificación de la Colección 4 de MapBiomas Agua correspondientes al año 1985 para el nevado Santa Isabel.....23
Figura 22. Superposición de los polígonos de clasificación de MapBiomas Agua C4 Glaciar y nival con las curvas de nivel de cobertura nacional para la identificación de los picos glaciares..... 24
Figura 23. Trazado y asignación de la localización aproximada de los picos glaciares mediante interpretación cartográfica..... 25
Figura 24. Organización de la información glaciar por intervalos quinquenales..... 26

Índice de tablas

Tabla 1. Regiones de clasificación..... 10
Tabla 2. Parámetros de clasificación..... 14
Tabla 3. índices espectrales y bandas utilizadas para la clasificación..... 15
Tabla 4. Leyenda MapBiomas..... 16
Tabla 5. Orden de filtros por región..... 17

1. Resumen ejecutivo

La fundación Gaia Amazonas a través de la iniciativa colaborativa MapBiomas, que vela por contribuir al entendimiento, difusión y acceso abierto de la dinámica de las coberturas de la tierra y uso del suelo, mediante metodologías rápidas, confiables, de bajo costo, y continua mejora, ha trabajado en la generación de la cuarta colección de mapas de los Glaciares y nivales Tropicales Andinos que se encuentran dentro del territorio colombiano, caracterizada por la mejora de los resultados de la colección 1 , y la inclusión del año 2025. Comenzando con su identificación a partir de referencias nacionales e internacionales, se generaron a partir de ellas, las áreas y/o unidades de estudio, dentro de las cuales se recorre una serie temporal de 40 años, desde 1985 a 2025, a través de la metodología de MapBiomas, donde se generan mosaicos mediante la selección de satélites y enmascaramiento de nubosidad y sombras de nubes, para una posterior clasificación a través de configuraciones de las bandas más sensibles a la cobertura en cuestión, árboles empíricos y Random Forest. Lo anterior, da paso a una post clasificación basada en algoritmos diseñados según el comportamiento de esta cobertura, obteniendo finalmente, mapas y datos valiosos que plasman la disminución de la masa glaciar y nival de Colombia, contribuyendo así a la difusión y acceso al comportamiento de esta cobertura.

2. Introducción

Los glaciares constituyen indicadores clave para el estudio del cambio climático (Carvalho Resende et al., 2022). Por consiguiente, resulta de vital importancia monitorear su evolución a lo largo del tiempo, para comprender la pérdida de masa glaciar (Francou et al., 2013). Específicamente, los Glaciares Tropicales Andinos (GTA), distribuidos entre Colombia y Bolivia se encuentran ante una rápida disminución de su extensión superficial (Turpo et al., 2022) debido a su respuesta relativamente rápida a perturbaciones en las variables climáticas como precipitación, temperatura del aire y humedad atmosférica (Kaser & Osmaston, 2002), por lo cual se les ha calificado como “centinelas del cambio climático” (Carvalho Resende et al., 2022).

La cobertura glaciar y nival en Colombia ha disminuido drásticamente, según el IDEAM (Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales) pasando aproximadamente de 347,9 Km2 al final de la Pequeña Edad de Hielo a 33,09 km2 en 2022, lo que equivale a una pérdida del 90% de su extensión original respectiva a esta edad (IDEAM, 2023). De acuerdo con reportes previos a 2011, las áreas con mayor pérdida corresponden a la Sierra Nevada de El Cocuy, Chita o Güicán, y al Parque Nacional Natural Los Nevados, que incluye el Volcán Nevado del Ruiz, el Volcán Nevado del Tolima y el Volcán Nevado de Santa Isabel. Las dos restantes coberturas glaciares del país corresponden a la Sierra Nevada de Santa Marta y al Volcán Nevado del Huila.

En este contexto, la detección de glaciares y nivales a través de diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes y análisis espacial están siendo cada vez más impulsadas debido a su alto potencial para monitorear cambios a gran escala (Paul & Kaab, 2005) sin la necesidad de realizar extensos trabajos de campo. Para la presente colección, este proceso implica: la adquisición de datos mediante imágenes satelitales; la selección de las adecuadas para el área de estudio y los periodos de análisis, asegurando un amplio cubrimiento de la

cobertura glaciar y nival, bajo porcentaje de nubosidad, y sin interferencias atmosféricas (Bolch et al., 2010); y finalmente, para lograr una clasificación exacta, la aplicación de un árbol empírico y Random Forest y una serie de filtros para diferenciar los glaciares y nivales de otras coberturas terrestres. Este análisis multitemporal permite comparar e identificar los patrones de cambio, como el retroceso glaciar, lo que contribuye significativamente al conocimiento de estas formaciones (Zhen et al., 2019)

En este documento, presentamos una descripción de la metodología aplicada para el mapeo de los glaciares y nivales para la colección 3 de MapBiomas Colombia, usando como base la metodología de la colección 5 de glaciares de RAISG y otras referencias (Turpo et al., 2022), siendo importante recalcar que Colombia no presenta unidades en el límite amazónico definido por la red.

3. Referencias

3.1 Información de referencia global

Las regiones operativas de clasificación utilizaron como referencia el inventario de glaciares de Randolph, como se ve en la **figura 1**, creado por un equipo de científicos de 18 países en donde se utilizaron imágenes satelitales y mapas de referencia con el objetivo de obtener información sobre la ubicación, el tamaño, la forma y el estado de salud de los glaciares alrededor del mundo (RGI Consortium, 2017), específicamente para Colombia reportan información del nevado del Cocuy, sierra nevada de Santa Marta, entre otros.

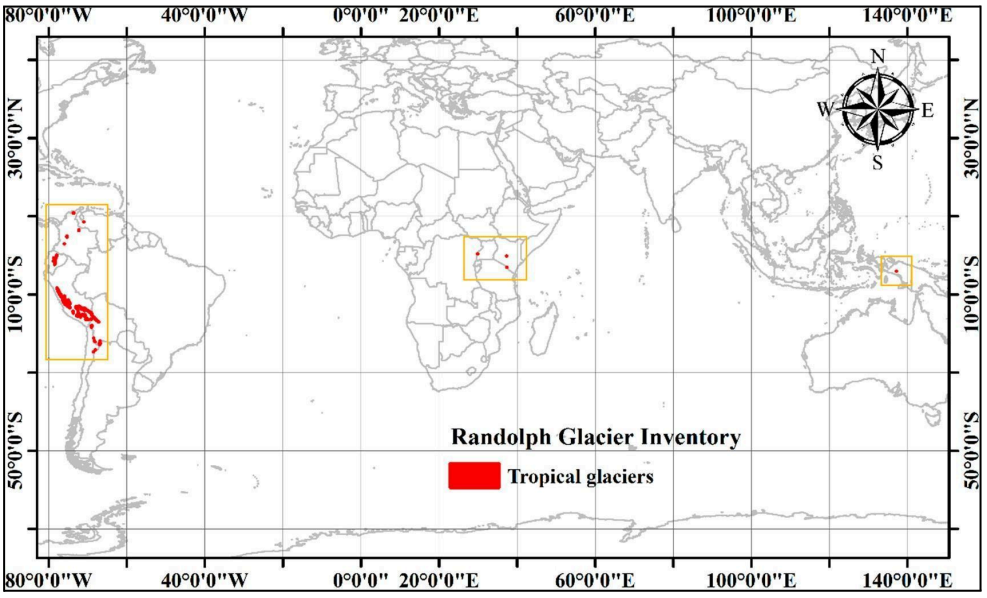


Figura 1. Distribución de glaciares tropicales

Fuente: RGI Consortium, (2017) & Veettil & Kamp, (2019)

3.2 Información de referencia nacional

A nivel nacional, el IDEAM realiza el monitoreo de las áreas glaciares del país mediante

el procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales, complementado con análisis de datos de campo (IDEAM, 2020). Entre los productos generados se destacan las evaluaciones multitemporales de estas áreas, las cuales fueron consideradas como insumo clave para la delimitación de las zonas de estudio. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el límite del ecosistema general y sintético de Glaciares y Nivales definido por el IDEAM (IDEAM et al., 2017).

4. Área de Estudio

A nivel mundial, se reconocen 36 hotspots, áreas que albergan al menos 1500 especies de plantas endémicas pero han sufrido una pérdida del 70% de su hábitat natural. Destacándose entre ellos, los Andes Tropicales se erigen como el hotspot con la mayor riqueza biológica del planeta. Esta región, famosa por su excepcional biodiversidad, cuenta con 130 ecosistemas que sustentan cerca de 35 mil especies (RIT, 2023).

Dentro de estos ecosistemas, los Glaciares Tropicales Andinos son especialmente sensibles a los cambios climáticos debido a las condiciones únicas de la zona. Los glaciares colombianos forman parte de esta singularidad, distribuida entre Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Colombia alberga aproximadamente el 4% de estos glaciares (Lju, 2013). En los últimos 160 años, el país ha experimentado una dramática reducción en el número de glaciares, pasando de 19 en el siglo XIX a solo 6 en la actualidad. Estos glaciares se encuentran dentro de cinco áreas protegidas bajo la categoría de Parques Nacionales Naturales (**figura 2**).

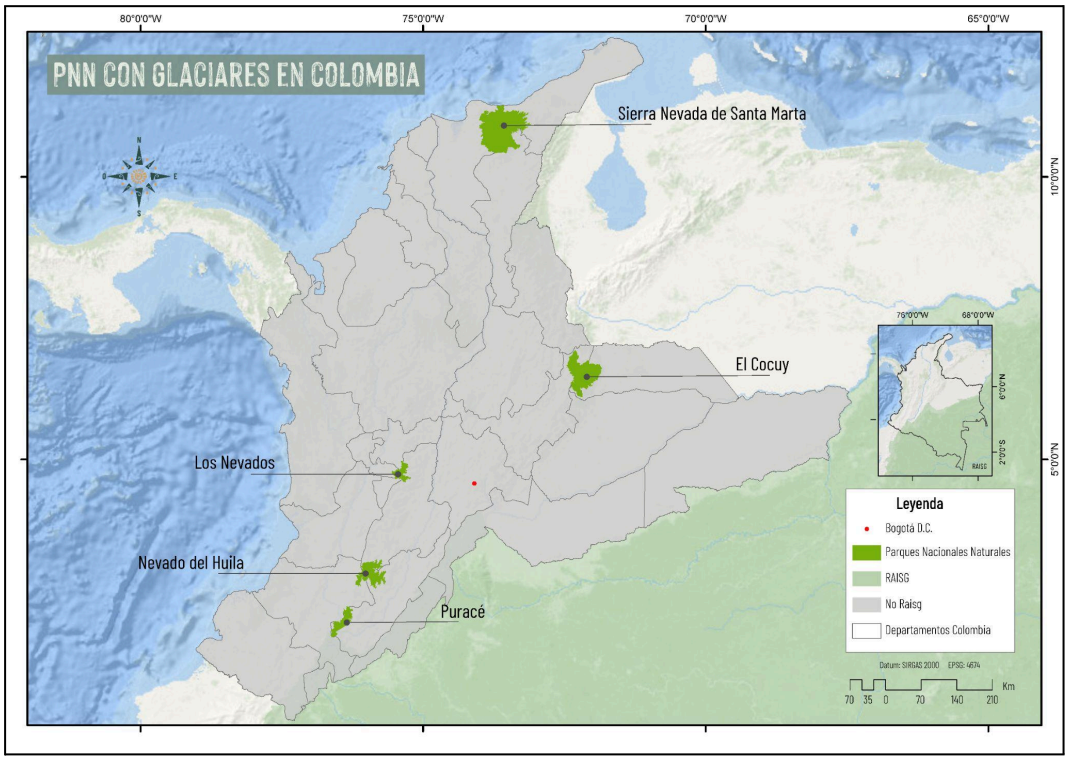


Figura 2: Parques Nacionales Naturales con Glaciares y nivales en Colombia.

5. Biogeografía de los glaciares colombianos

Los glaciares están rodeados por afloramientos rocosos y ecosistemas de alta montaña. Constituyen una ecoregión neotropical en altitudes que van desde el límite superior de los páramos hasta las nieves perpetuas (Hofstede, R., Vásconez, S. y Cerra, M. (Ed.), 2015). Además, se encuentran lagunas glaciares, cuerpos de agua formados por el deshielo del glaciar. Estas áreas están distribuidas dentro del Orobioma del Zonobioma Húmedo Tropical y el Orobioma de Páramo, como se observa en la **figura 3**; formando parte de un ambiente edafogenético caracterizado por bajas temperaturas (IDEAM et al., 2017).

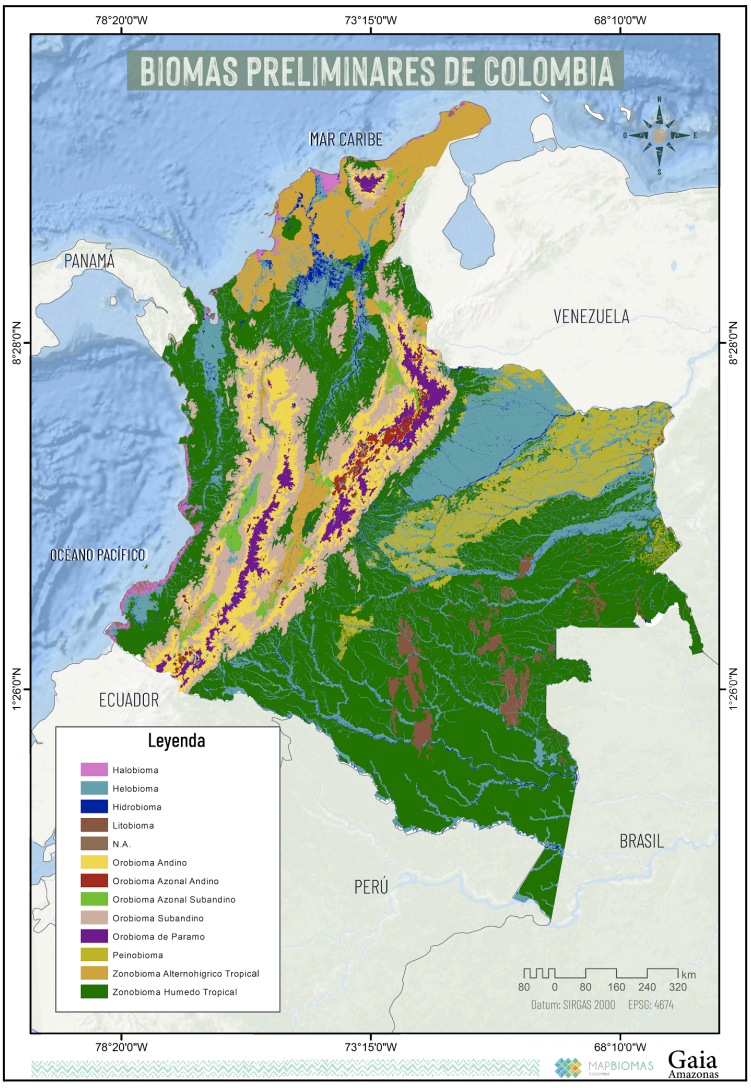


Figura 3. Biomas preliminares

6. Metodología

Para la detección de la cobertura glaciar y nival, primeramente se generaron los mosaicos anuales mediante: la selección de satélites y enmascaramiento de nubosidad y sombras de nubes; y el cálculo del NDSI mínimo con el fin de generar una imagen que representará el comportamiento de la cobertura en el año en cuestión de la forma más exacta, siendo esta base para una posterior clasificación a través de configuraciones de las bandas más sensibles a la

cobertura (NIR y RED) , y variables como nieve, pendiente y nubes, mediante el uso de un árbol empírico y el clasificador Random Forest. Finalmente, se da paso a una post clasificación compuesta por diversos tipos de filtros los cuales solucionan problemas temporales y espaciales. Lo anterior es registrado en la **figura 4.**

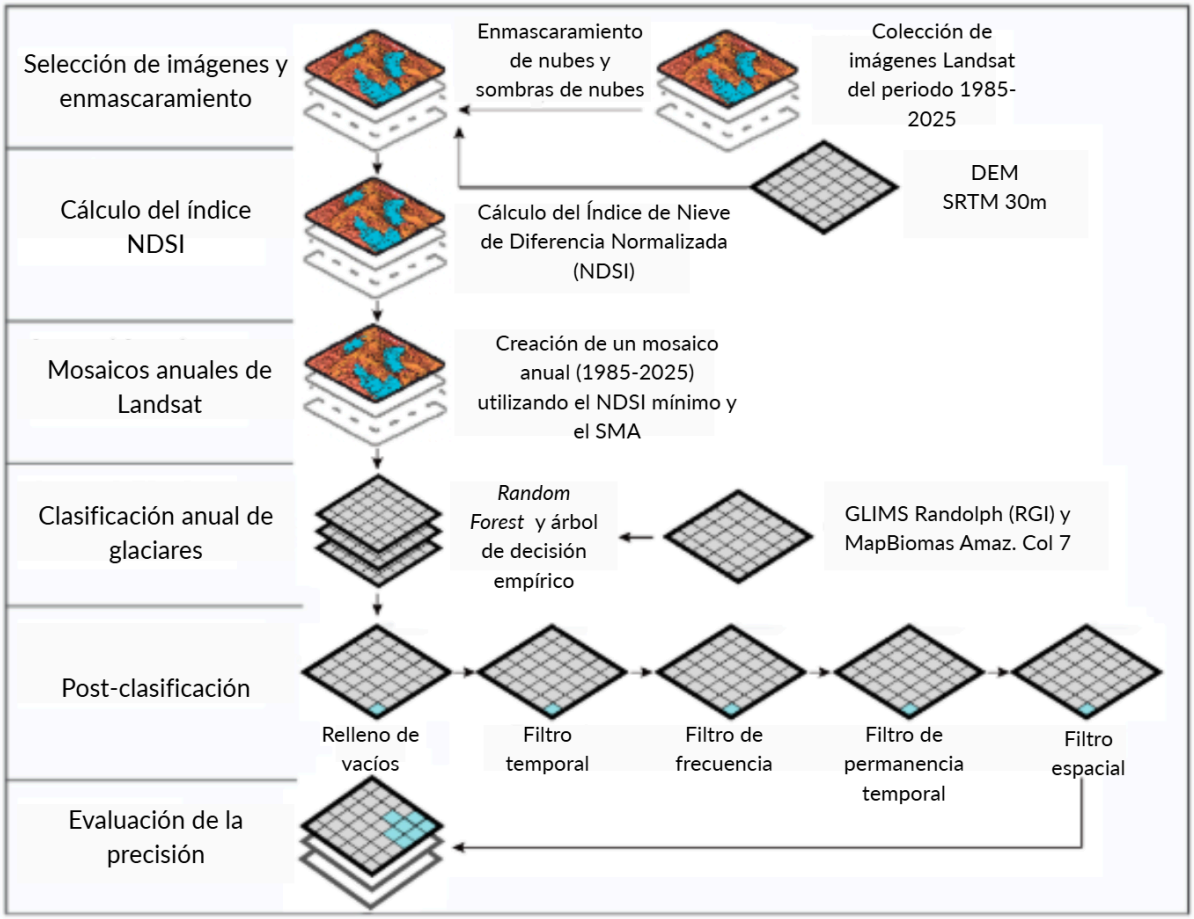


Figura 4. Diagrama de flujo metodológico para la obtención de mapas de coberturas glaciar y nival

7. Regiones de clasificación

La clasificación de los glaciares en Colombia se ha realizado con base en el inventario de glaciares Randolph y datos del IDEAM, específicamente el ecosistema general de glaciares y nivales del mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos (ECM), considerando un área de estudio definida y ajustada con un buffer de 1.5 km para tener en cuenta la clasificación de las masas glaciares (RGI Consortium, 2017). Por fines operativos y de comportamientos de variables se dividió en un total de 6 regiones donde algunas pueden estar compuestas de más de una unidad glaciar y nival tal como se muestra en la **tabla 1.**

Tabla 1. Regiones de clasificación

Código	Glaciar

1001	Sierra Nevada de Santa Marta
1003	Sierra Nevada del Cocuy, Cumbal y Paramillo del Quindío
1019	Volcán Nevado del Huila
1016	Volcán Nevado del Ruiz
1018	Volcán Nevado del Tolima
1017	Volcán Nevado de Santa Isabel y Paramillo de Santa Rosa

Entre las anteriores regiones de clasificación se incluyen nueve unidades glaciares y nivales siendo estas: la Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada del Cocuy, Nevado del Quindío, Volcán Nevado del Ruiz, Paramillo de Santa Rosa, Nevado de Santa Isabel, Volcán Nevado del Tolima, Nevado de Puracé, Nevado del Cumbal y el Nevado del Huila. Es relevante destacar que, como consecuencia de los procesos de deglaciación que han tenido lugar a lo largo de las décadas, cuatro de estos nevados se consideran extintos en la actualidad, siendo ahora denominados paramillos: Paramillo del Quindío, Paramillo de Santa Rosa, el Puracé y el Cumbal. Por lo tanto, en toda la serie temporal no se pueden identificar masas de glaciar y nieve en estas áreas debido a las limitaciones temporales y espaciales en los datos disponibles.

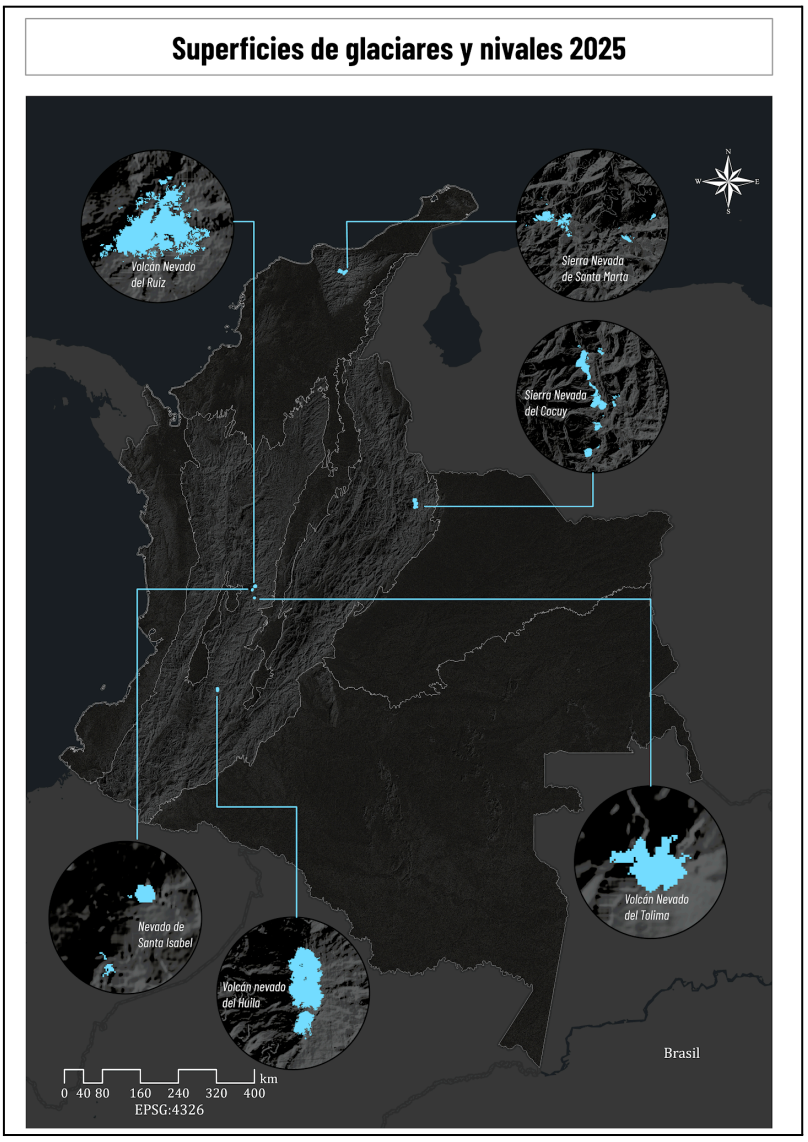


Figura 5. Superficies de glaciares y nivales 2025

8. Generación de los mosaicos anuales

La clasificación de Glaciares y nivales se llevó a cabo utilizando mosaicos anuales, los cuales, fueron generados con parámetros específicos diseñados para la detección de masas de nieve y glaciares a partir de imágenes recopiladas por los satélites L4, L5, L7, L8 y L9 de la serie Landsat, las cuales cumplieran el requerimiento de tener un porcentaje de nube menor o igual al 70%, para posteriormente ser sometidas a métodos de enmascaramiento (técnica Cloud Score y el algoritmo TDOM), y de cálculo de índices que para la presente metodología se enfocó en el NDSI (Índice Diferencial Normalizado de Nieve) mínimo, con el fin de clasificar sobre mosaicos que representaran el área glaciar y nival mínima anual, como se muestra en la **figura 6**.

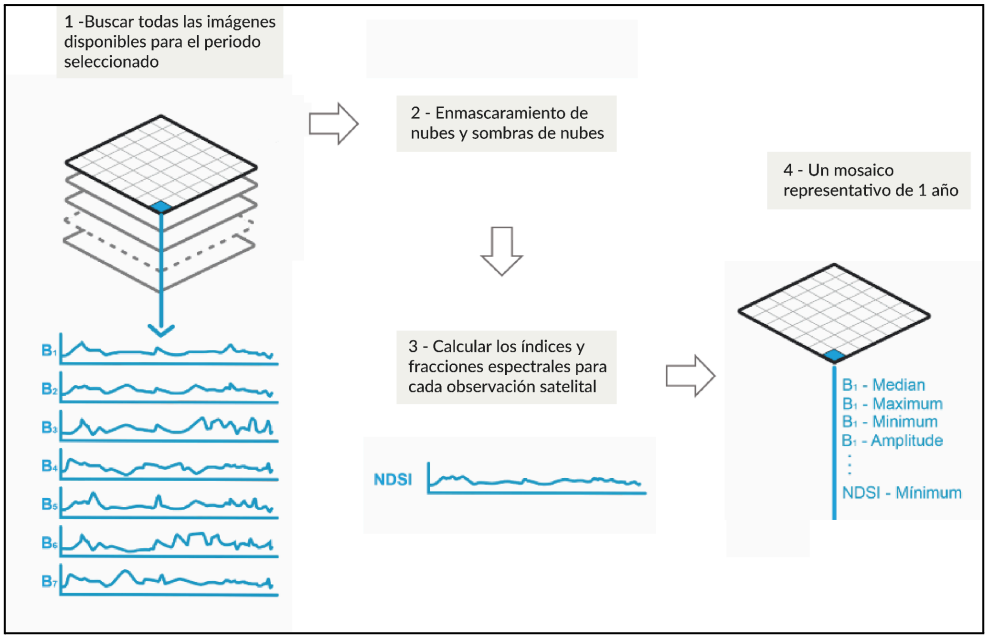
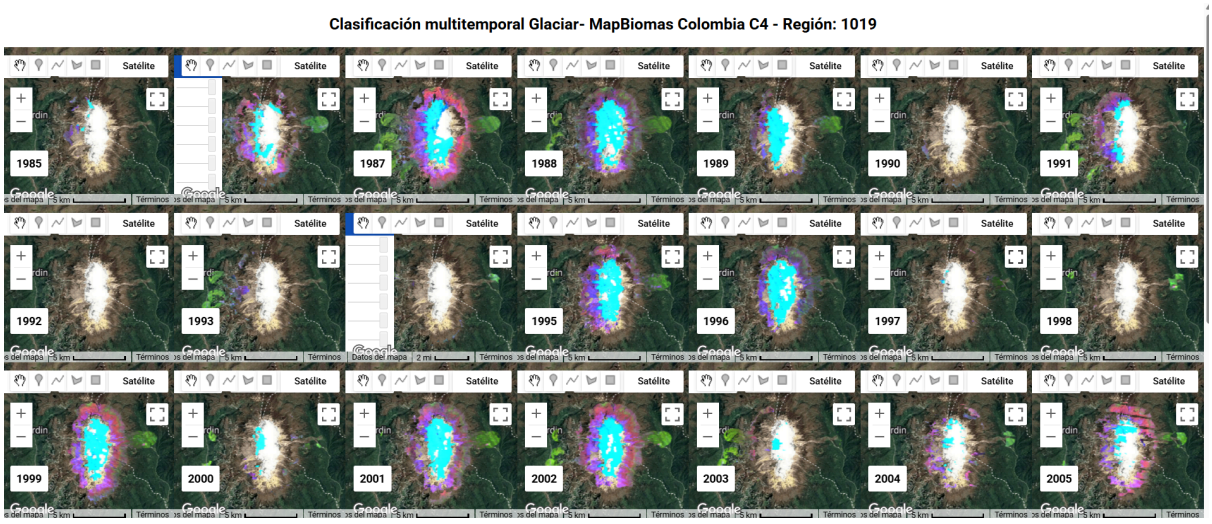


Figura 6. Creación de mosaicos anuales para Glaciares y nivales

De esta manera, el píxel que se usó para la clasificación corresponde al valor mínimo de NDSI, ya que las bandas usadas para su cálculo pasaron por un reductor para la construcción del mosaico final de interpretación. Cabe destacar que, para algunas áreas de estudio, que presentaban pocas imágenes se utilizó el reductor de mediana por mayor disponibilidad de información. En la **figura 7**, se presentan los mosaicos para el Nevado del Huila.



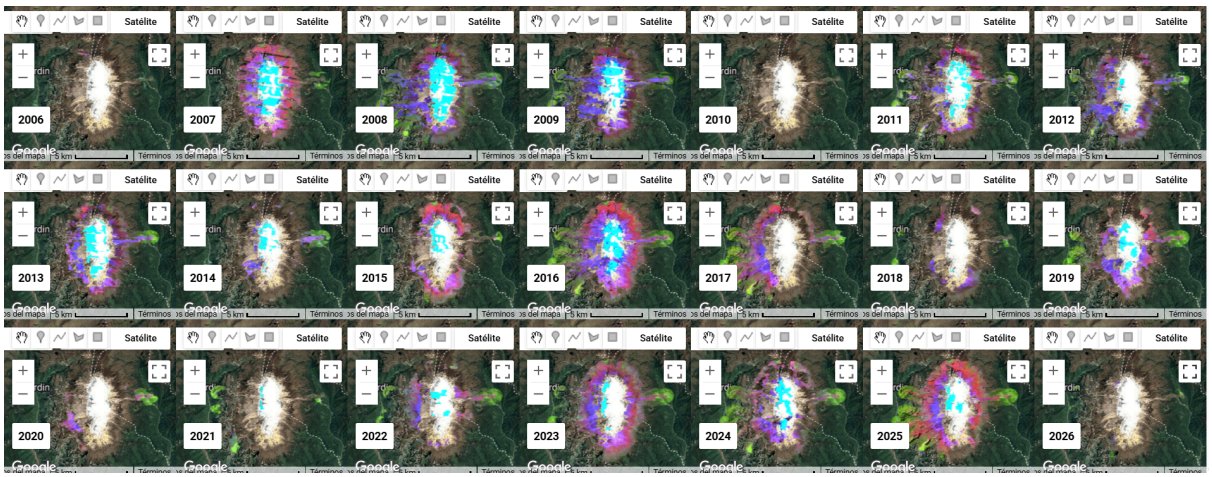


Figura 7. Mosaicos NDSI mínimo Colección 4 - MapBiomas Colombia Colección 4

9. Clasificación

El proceso metodológico efectuado en la etapa de clasificación para la colección 3, luego de la respectiva selección y enmascaramiento de imágenes, cálculo del NDSI mínimo, y la creación de los mosaicos anuales, comprende el uso de un árbol empírico combinado con Random Forest (RF), a partir de una serie de particiones binarias, permitiendo así realizar predicciones con base en esta clasificación, y mediante la manipulación de variables lograr la mejor clasificación de glaciar y nival, tal como se observa en la **figura 8.**

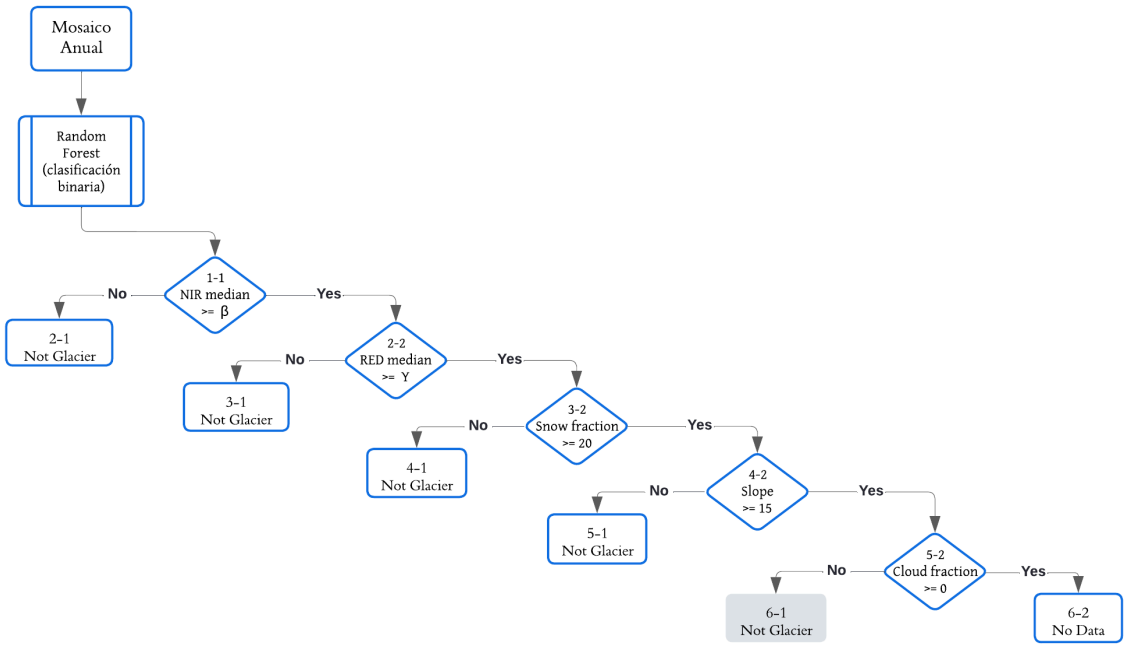


Figura 8. Árbol empírico combinado con Random Forest para clasificación de Glaciares

Además, se han establecido diversos parámetros dentro de los rangos para la detección de nieve y glaciar, los cuales varían dependiendo de la región, como se detalla a continuación.

Tabla 2. Parámetros de clasificación

	Parámetros					
Región	**Shadow Sum**	**Trees**	**Samples**	**Cloud**	**Snow**	**Slope**
1001	3500	80	3000,8000	20	20	15
1003	3500	80	3000,8000	20	40	15
1016	3500	80	3000,8000	20	20	15
1017	3500	50	3000,8000	20	40	15
1018	3500	80	3000,8000	20	18	15
1019	3500	80	3000,8000	20	20	15

Adicional a los parámetros mostrados se asignan diferentes valores al cloud, NIR median y RED median para cada año a clasificar, como se muestra en la figura 9.

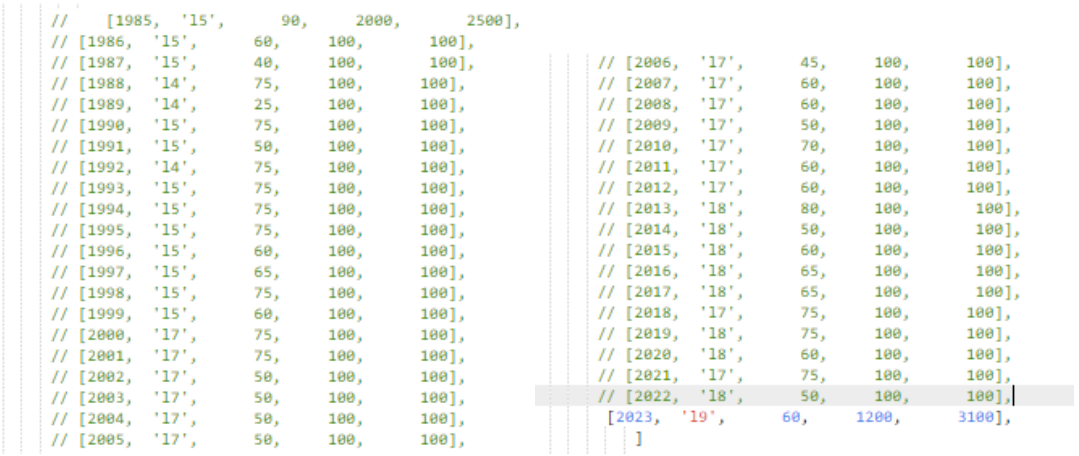


Figura 9. Parámetros de clasificación

10. Variables de clasificación

Por cada región de clasificación se han definido bandas e índices espectrales específicos, los cuales se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 3. índices espectrales y bandas utilizadas para la clasificación

Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Reductor[1]				
				Median	Median_dry	Median_wet	Min	Max
Banda	Blue	B1 (L5 y L7); B2 (L8)	Espectro visible azul		●			
	Green	B2 (L5 y L7); B3 (L8)	Espectro visible verde		●			
	Red	B3 (L5 y L7); B4 (L8)	Espectro visible rojo	●	●			
	NIR	B4 (L5 y L7); B5 (L8)	Infrarrojo cercano	●	●			
	SWIR 1	B5 (L5 y L7); B6 (L8)	Infrarrojo de onda corta 1		●			
	SWIR 2	B7 (L5); B8 (L7); B7 (L8)	Infrarrojo de onda corta 2		●			
Índices	NDSI	(green-swir1)/(green+swir1)	Índice Diferencial Normalizado de Nieve				●	
Fracciones	Cloud Fraction	SMA	Fracción de nube		●			
	Cloud Snow	SMA	Fracción de nieve		●			

11. Leyenda

Desde la Colección 2.0 se incorporaron coberturas nivales en la leyenda, con base en estudios que evidencian la presencia de nieve reciente y antigua en gran parte del área de estudio y, en algunos casos, en sus bordes. Este patrón ha sido documentado, por ejemplo, en los Nevados del Ruiz, Santa Isabel y Tolima para el año 2002, como se observa en la **figura 10**. La distribución de estas coberturas está condicionada por la altitud: en el Nevado de Santa Isabel se registra únicamente en una franja del glaciar, mientras que en los glaciares del Tolima y del Ruiz se observa en la mayor parte del casquete, debido a sus mayores elevaciones (INGEOMINAS, 2010).

[1] El reductor está basado en el índice NDSI, percentil 75 y percentil 25 para Wet y Dry de NDSI respectivamente

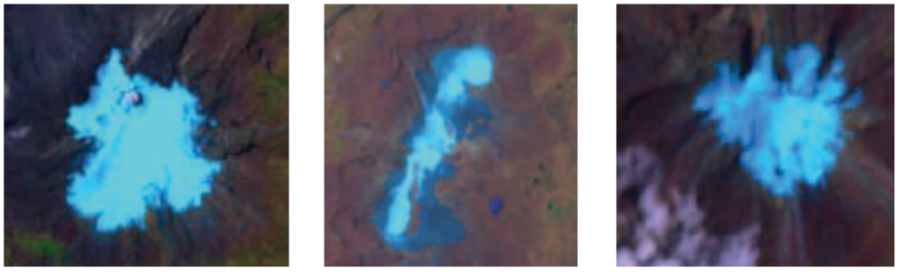


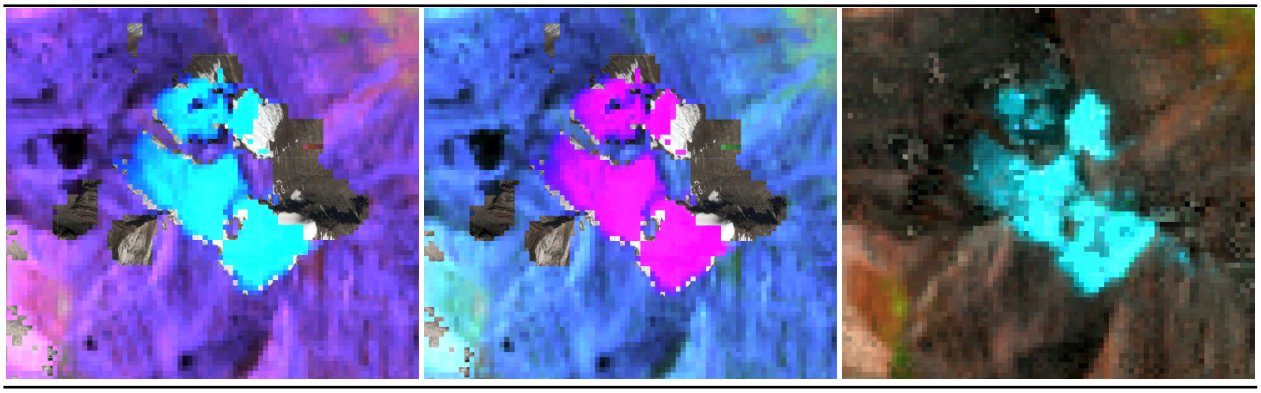
Figura 10. Detección de nieves recientes y antiguas en los nevados del Ruiz, Santa Isabel y del Tolima para el año 2002. (INGEOMINAS, 2010)

Adicionalmente, esta cobertura, en términos de la metodología MapBiomas contiene la siguiente jerarquización mostrada en la **tabla 4**, y a nivel de prelación, se ubica por encima de las demás coberturas de la leyenda en la integración de los mapas.

Tabla 4. Leyenda MapBiomas

NIVEL 1				NIVEL 2				
ID	**Clase nivel 1**	**Hexadecimal code**	**Color**	**ID**	**Clase nivel 2**	**Hexadecimal code**	**Color**	**COBERTURA / USO**
26	Cuerpo de agua	#2532E4		33	Río, lago u océano	#2532E4		Cobertura/Uso
				31	Acuicultura	#091077		Uso
				34	Glaciar y nival	#93DFE6		Cobertura

Finalmente, como se muestra en la **figura 11**, la adecuada combinación entre bandas espectrales permite resaltar las características distintivas de los glaciares en un tono azulado



RGB 654 L8
RGB 543 L7 - L5 - L4

RGB 564 L8
RGB 453 L7 - L5 - L4

RGB 543 L7



Google Earth	Paisaje	MapBiomas

Figura 11. Respuesta espectral de Glaciar en el bioma Andes. El Cocuy - Boyacá, Año: 2025, Escala: 100 m Coordenada: -72.282054W, 6.515076N

12. Post-clasificación

Debido a la naturaleza basada en píxeles del método de clasificación y el trabajo sobre una serie temporal extensa, se aplicó una cadena de filtros post clasificación. El proceso de post clasificación incluye la aplicación de filtros de relleno, temporal, espacial y de frecuencia.

Tabla 5. Orden de filtros por región

Glaciar	Región	1	2	3	4	5	6
Sierra Nevada de Santa Marta	1001	GP	FT	FF	FT	PT	FE
Sierra Nevada del Cocuy	1003	GP	FF	FT	FE	PT	FE
Volcán Nevado del Huila y Puracé	1019	GP	FT	FF	PT	FE	
Volcán Nevado del Ruíz	1016	GP	FT	FF	PT	FE	
Volcán Nevado de Santa Isabel y Paramillo de Santa Isabel	1017	GP	FT	FF	PT	FE	
Volcán Nevado del Tolima	1018	GP	FF	FT	PT	FE	

12.1 Llenado de vacíos de información (Gap Fill)

La secuencia de filtros comienza con el relleno de vacíos de información. En una serie de tiempo larga de regiones severamente afectadas por nubes, se espera que los vacíos puedan ocurrir en el resultado de la mediana. En este filtro, los vacíos son reemplazados por la clasificación temporalmente más cercana. En este procedimiento, si no hay disponibilidad de un valor en el año siguiente, entonces el espacio se reemplaza con el valor del año precedente. Por lo tanto, las brechas solo deberían existir si un píxel dado se ha clasificado permanentemente como sin información en toda la serie temporal.

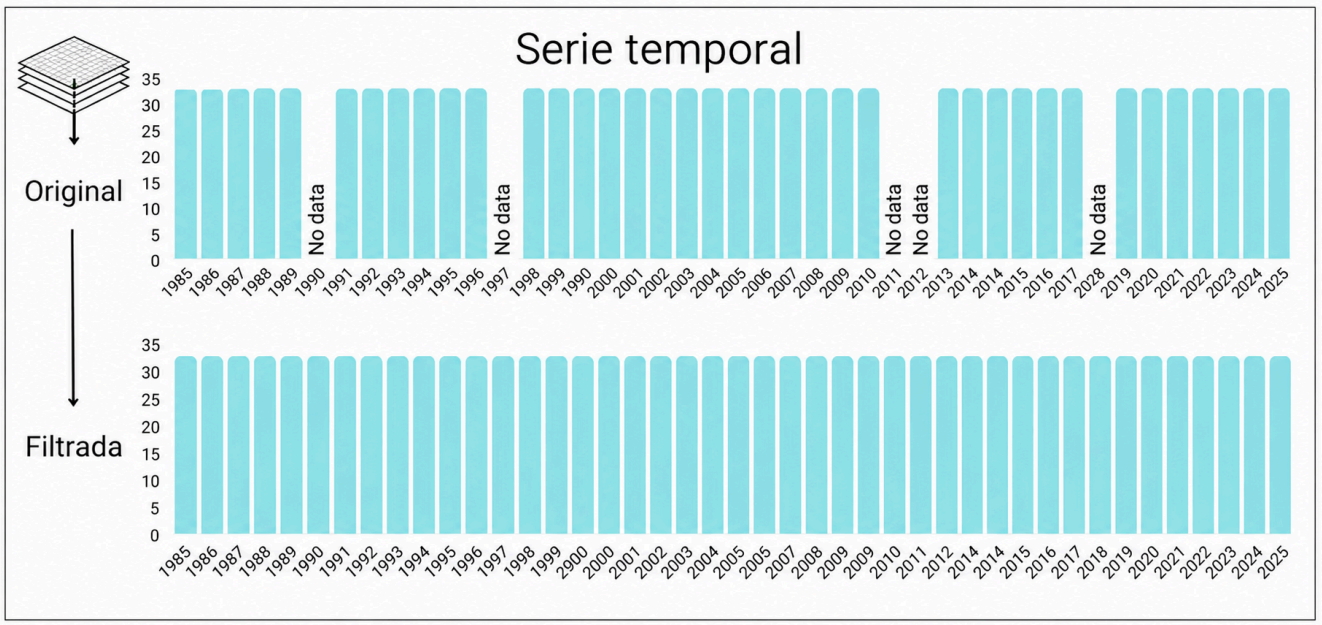
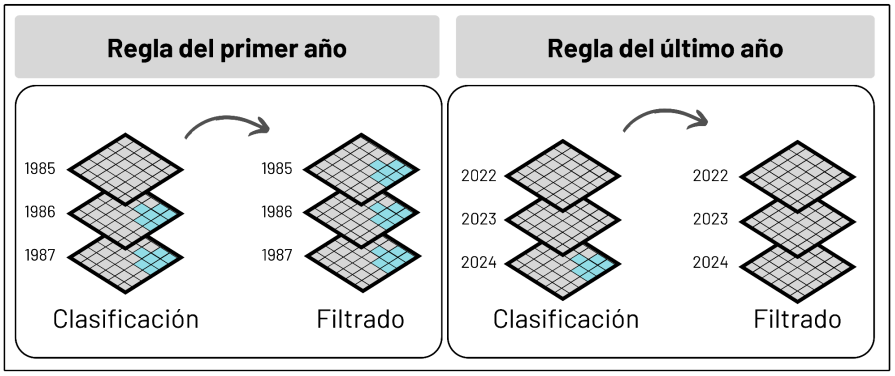


Figura 12. Filtro Gap Fill

12.2 Filtro temporal

El filtro temporal utiliza clasificaciones secuenciales en una ventana móvil unidireccional de 3, 4 o 5 años para identificar transiciones temporalmente incoherentes. Basado en reglas de años intermedios, primer y último año.



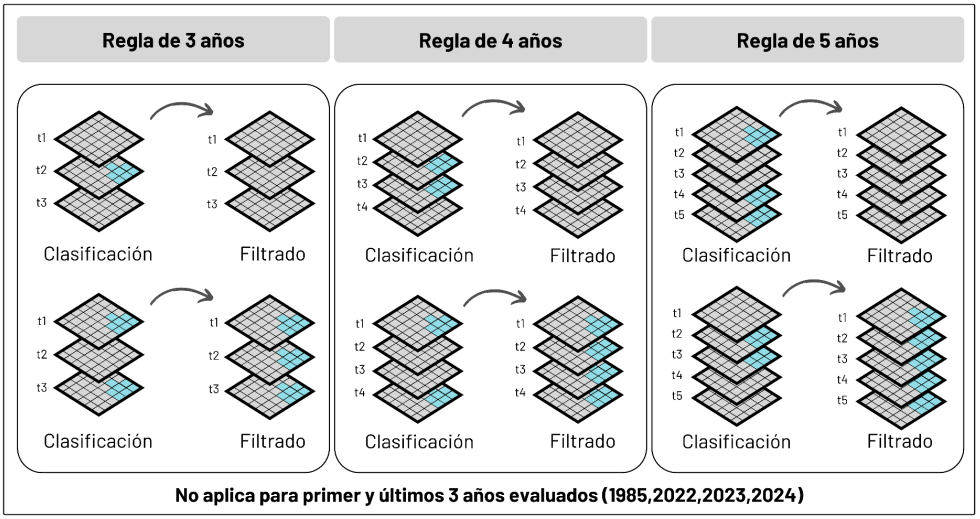


Figura 13. Filtro temporal

12.3 Filtro espacial

A continuación, se aplica el filtro espacial basado en la función "connectedPixelCount", que identifica al conjunto de píxeles (vecindario) que comparten un mismo valor de píxel. En consecuencia, sólo los píxeles que no presentan conexión considerando una cantidad mínima predefinida de píxeles idénticos son definidos como píxeles aislados y reclasificados como se observa en la **figura 14.** Para las áreas se ha considerado un mínimo de 5 píxeles agrupados.

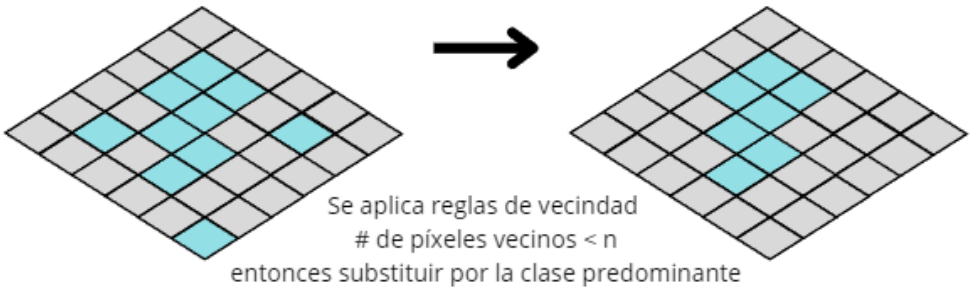


Figura 14. Efecto de la aplicación del filtro espacial

12.4 Filtro de frecuencia y permanencia temporal

Como se muestra en la Figura 14, el filtro de frecuencia considera la ocurrencia de la clase a lo largo de la serie temporal para limpiar el resultado de la clasificación. Además, una regla complementaria de permanencia temporal en la **Figura 15.**

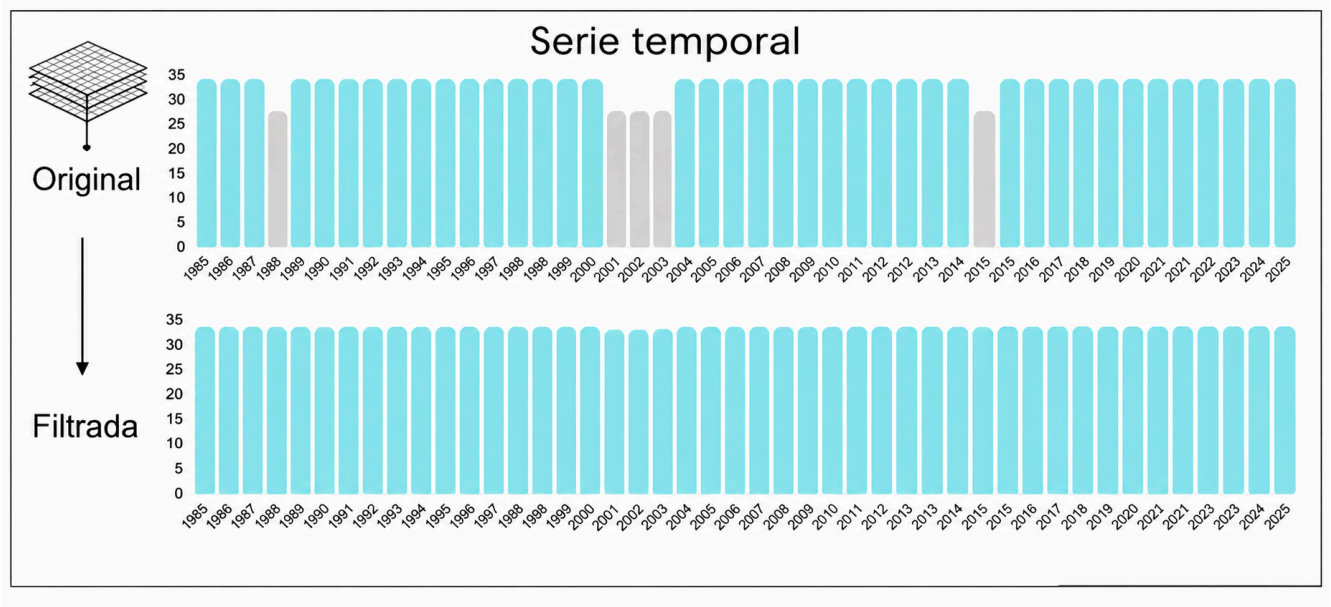


Figura 15. Efecto de la aplicación del filtro

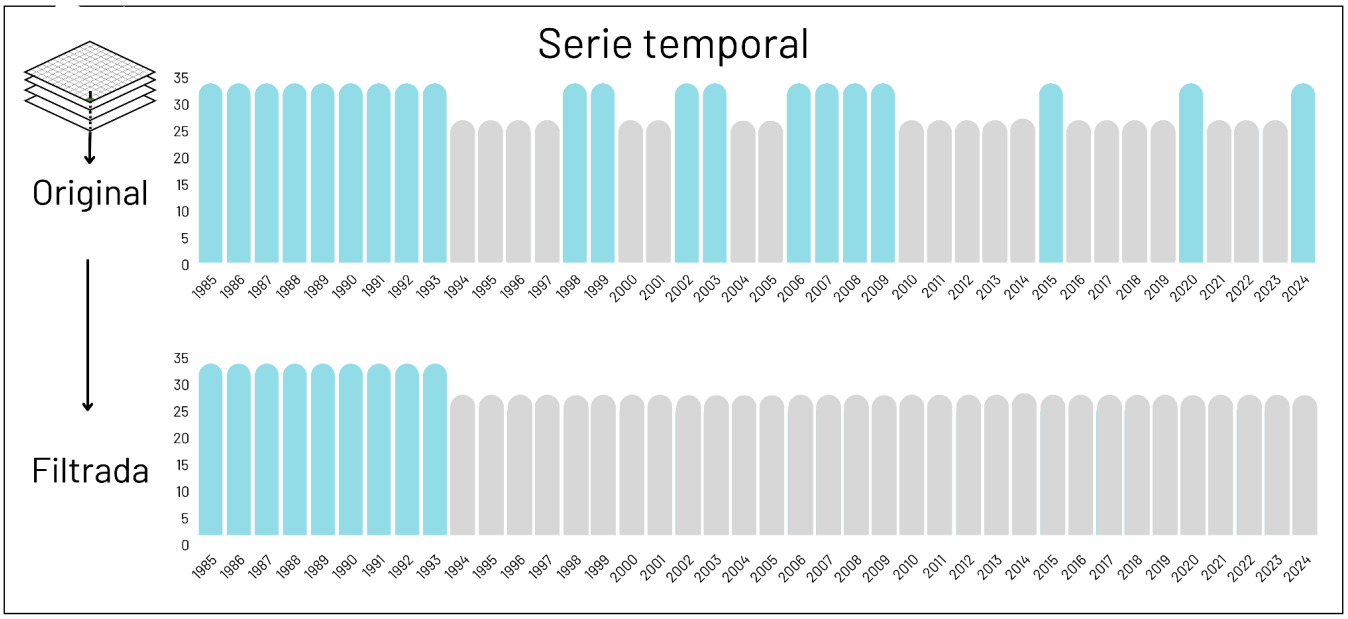


Figura 16. Aplicación del filtro de permanencia temporal

12.5 Integración con las otras clases MapBiomas

Luego de la aplicación de la secuencia de filtros en la etapa de Post clasificación, los temas transversales y los mapas generales de cada bioma son integrados. Esta integración, como se mencionó en la leyenda, depende de una serie de reglas jerárquicas específicas que asignan un orden de prevalencia. Como resultado de esta etapa se obtienen los mapas anuales de glaciares, tal como se muestra en la **figura 17.**

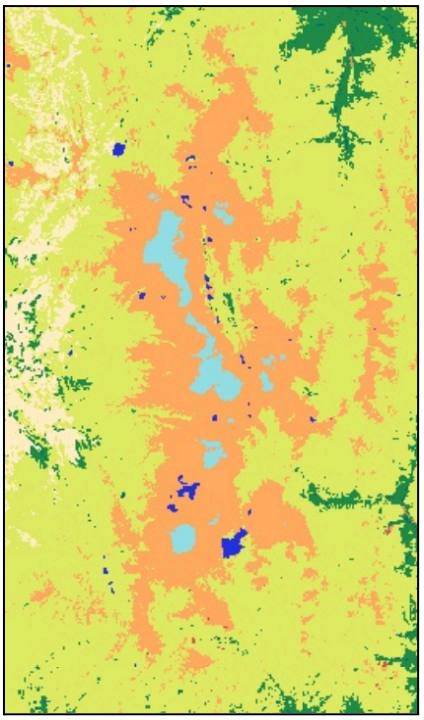


Figura 17. Integrado de Glaciares con las otras clases Sierra Nevada del Cocuy

- **Multitemporal Santa Isabel**



Figura 18. Clasificación multitemporal Volcán Nevado de Santa Isabel

- **Multitemporal Cocuy**

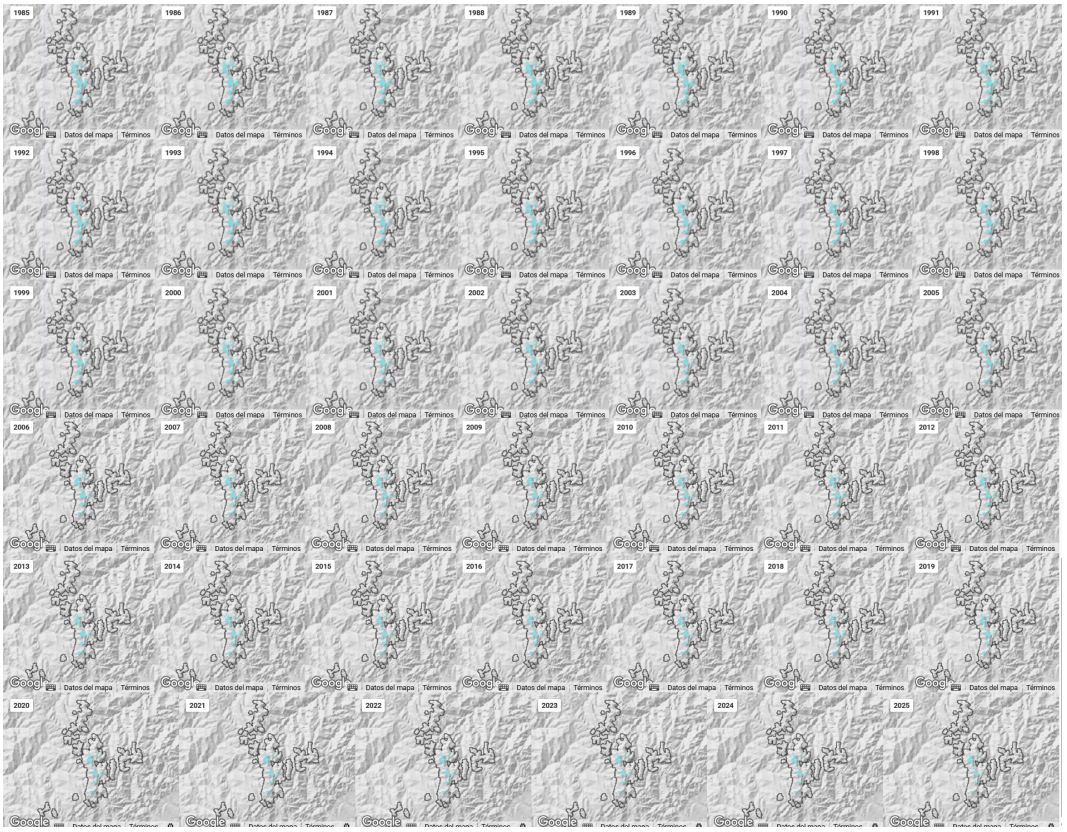


Figura 19. Clasificación multitemporal Sierra Nevada del Cocuy

13. Localización e identificación de los picos glaciares: metodología

Debido a que actualmente no se dispone de una capa geográfica oficial, de cobertura nacional, que contenga la delimitación y localización espacial de los picos glaciares de Colombia, fue necesario desarrollar una metodología de identificación y aproximación geográfica mediante la integración de información cartográfica, documental y geoespacial de fuentes institucionales y bibliográficas.

Nevado / Sistema	Glaciar / Pico	Fecha de Extinción	Observaciones	Link de búsqueda
Nevado Santa Isabel	Conejeras	3/1/2024	Cierre de 18 años de monitoreo directo, primeros cambios en marzo de 2024	https://drive.google.com/drive/folders/1P_Tc20lPFwOE4JPAOrAIhC9
	El Cuadrado	6/1/2024	Primer semestre 2024	https://drive.google.com/drive/folders/1P_Tc20lPFwOE4JPAOrAIhC9
	El Hongo	N/A		file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/informe-del-estado-de-los-glacia
	Laguna Verde	N/A		file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/informe-del-estado-de-los-glacia
	El Escondido	N/A		file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/informe-del-estado-de-los-glacia
	Otún Norte	Desaparecido a inicios de 2022		https://ideam.gov.co/nuestra-entidad/ecosistemas-e-informacion-a
	Otún Sur	Desaparecido a inicios de 2022		https://ideam.gov.co/nuestra-entidad/ecosistemas-e-informacion-a

Figura 20. Identificación documental y bibliográfica de los picos glaciares de los glaciares y nivales de Colombia.

En una primera etapa, se realizó una revisión bibliográfica y documental de fuentes oficiales, publicaciones científicas, cartografía temática y documentación técnica generada por instituciones competentes, con el propósito de identificar los sistemas glaciares y nivales del país, así como establecer la correspondencia entre cada unidad glaciar y su respectivo pico. Esta revisión permitió consolidar un inventario preliminar de los picos glaciares, incluyendo aquellos asociados a masas glaciares actualmente extintas, cuya identificación resulta necesaria para el análisis histórico y espacial de la distribución glaciar nacional.

Posteriormente, con el propósito de establecer una referencia espacial para la localización aproximada de cada pico glaciar, se descargaron los polígonos correspondientes al año 1985 de la Colección 4 de MapBiomas Agua, utilizando esta información como referencia cartográfica para reconocer las áreas de extensión glaciar histórica. La selección de este periodo permitió disponer de una base espacial de referencia para la identificación de las áreas asociadas a los glaciares y nevados objeto de estudio.

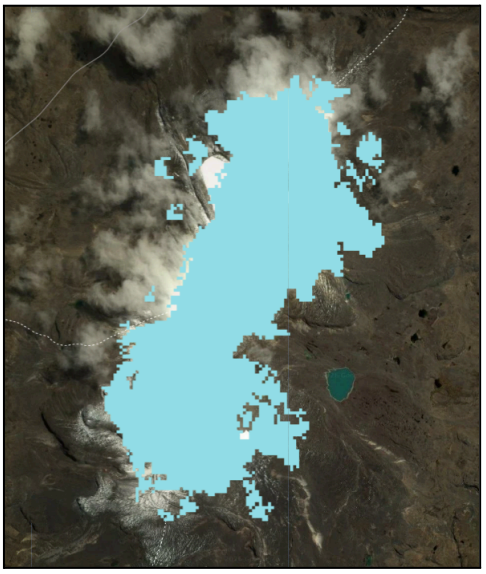


Figura 21. Distribución polígono de clasificación de la Colección 4 de MapBiomas Agua correspondientes al año 1985 para el nevado Santa Isabel.

En una siguiente etapa, los polígonos descargados fueron incorporados a un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y superpuestos con las curvas de nivel de cobertura nacional, considerando la información topográfica correspondiente a cada sistema glaciar o nival previamente identificado. Esta superposición cartográfica permitió analizar la configuración del relieve, las variaciones altitudinales y la relación espacial entre las áreas glaciares históricas y las unidades topográficas circundantes.

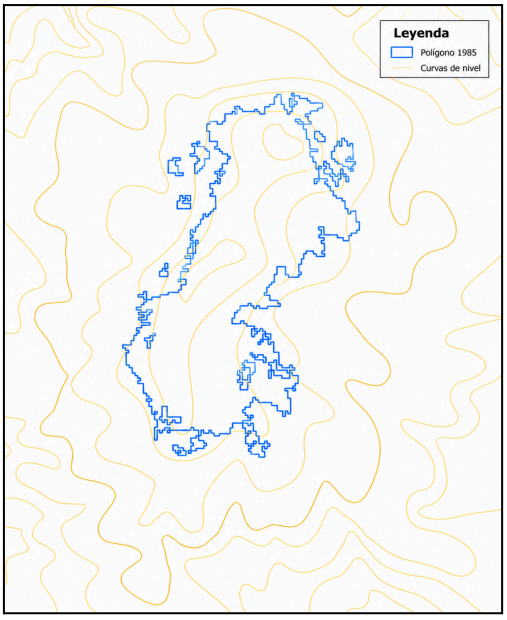


Figura 22. Superposición de los polígonos de clasificación de MapBiomas Agua C4 Glaciar y nival con las curvas de nivel de cobertura nacional para la identificación de los picos glaciares.

A partir de la interpretación conjunta de estos insumos, se realizó la delimitación aproximada de las áreas de referencia para cada glaciar nival y se generaron archivos vectoriales en formato shapefile (SHP), correspondientes a geometrías poligonales en el sistema de referencia geográfico WGS 84 (EPSG:4326), de acuerdo con los parámetros de proyección utilizados para la incorporación de los vectores de MapBiomas Colombia. Sobre esta base cartográfica se efectuó el trazado de la localización aproximada de cada pico glaciar, asignando su respectivo nombre de acuerdo con la identificación documental y bibliográfica previamente realizada. Es importante precisar que las ubicaciones obtenidas corresponden a referencias geográficas aproximadas y no a delimitaciones topográficas de precisión ni a coordenadas oficiales de cumbres, por lo que su utilización está orientada a facilitar la identificación, representación y análisis espacial de los picos glaciares a escala nacional.

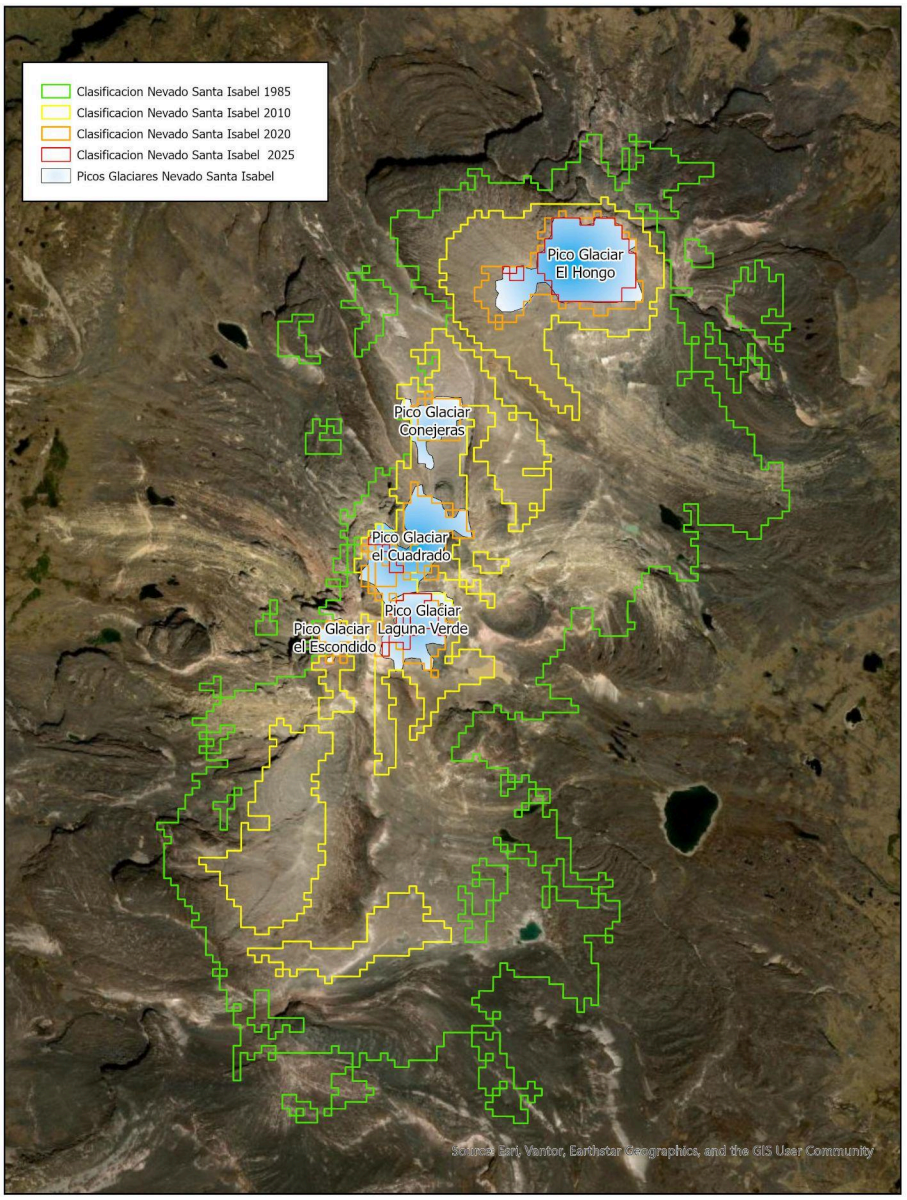


Figura 23. Trazado y asignación de la localización aproximada de los picos glaciares mediante interpretación cartográfica.

14. Generación de información glaciar por quinquenios y análisis de su evolución temporal

A partir de la información histórica, cartográfica y geoespacial disponible para los glaciares de Colombia, se generó un producto complementario orientado a la organización y análisis de su evolución temporal mediante intervalos quinquenales (periodos de cinco años).

Para ello, se recopiló y organizó la información de cobertura glaciar disponible para cada unidad, agrupando los registros cronológicamente en periodos de cinco años. Esta estructuración permitió consolidar una base de información espacial y alfanumérica que facilita la consulta, visualización y comparación de la extensión glaciar entre diferentes periodos.

Posteriormente, se realizó un análisis multitemporal para identificar las variaciones en la superficie de cada glaciar, reconocer las tendencias de retroceso y comparar su comportamiento a lo largo del tiempo. Como resultado, se obtuvo un producto geoespacial organizado por quinquenios que permite analizar la evolución histórica de los glaciares, tanto individualmente como a escala nacional.

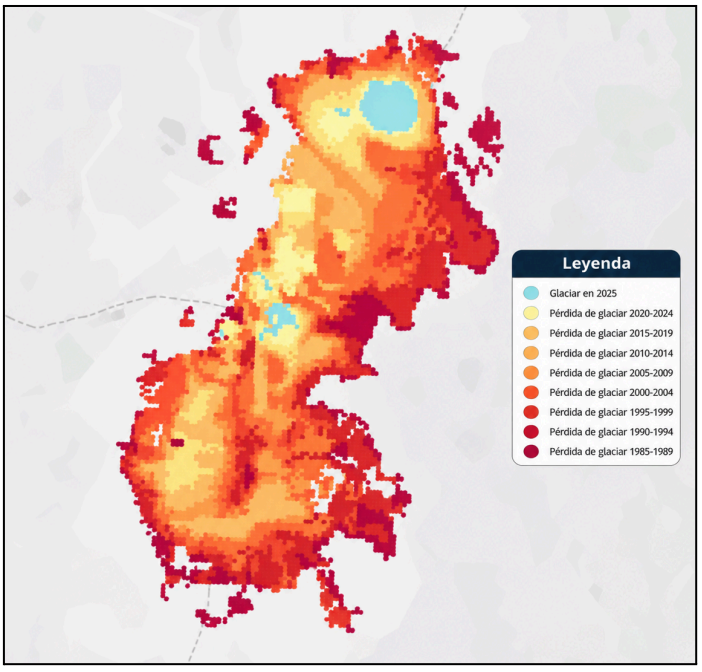


Figura 24. Organización de la información glaciar por intervalos quinquenales.

15. Referencias

Bolch, T., Menounos, B., & Wheate, R. (2010). *Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985-2005*. *1*(114), 127-137.

Carvalho Resende, T., Stepanov, M., Bosson, J.-B., Emslie-Smith, M., Farinotti, D., Hugonnet, R., Huss, M., & Berthier, E. (2022). *World Heritage Glaciers: Sentinels of Climate Change* (p. 34 p.) [Application/pdf]. [object Object]. https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000578916

Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J., Silvestre, E., Ginot, P., & Mendoza, J. (2013). *Glaciares de los Andes tropicales: Víctimas del cambio climático*.

Hofstede, R., Vásconez, S. y Cerra, M. (Ed.). (2015). *Vivir en los páramos. Percepciones, vulnerabilidades, capacidades y gobernanza ante el cambio climático*. https://issuu.com/mcerra/docs/uicn_cdlp_hofstede.et.al.2015_vivir

IDEAM. (2020). *INFORME DEL ESTADO DE LOS GLACIARES COLOMBIANOS*.

IDEAM. (2023). *Glaciares en Colombia*. http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares-colombia

IDEAM, I. de H., Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Humboldt, I. de I. de R. B. A. von H., INVEMAR, I. de I. M. y C. J. B. V. de A., & IGAC, I. G. A. C. (2017). *Mapa de Ecosistemas Continentales, costeros y Marinos de colombia. Escala 1:100.000*. https://www.andi.com.co/Uploads/MapaEcosistemas2017.pdf

INGEOMINAS. (2010). *Glaciares, nieves y hielos de América Latina. Cambio climático y amenazas*. Servicio Geológico Colombiano. https://doi.org/10.32685/9789589789698

Kaser, G., & Osmaston, H. (2002). *Tropical glaciers*. Advisory board. https://onggem.files.wordpress.com/2011/02/kaser-osmaston-2002-tropical-glaciers1.pdf

Paul, F., & Kaab, A. (2005). *Perspectives on the production of a glacier inventory from multispectral satellite data in Arctic Canada: Examples from the Baffin Island and Bylot Island region, Nunavut*. *42*, 59-66.

RGI Consortium. (2017, julio). *Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0*. https://www.glims.org/RGI/00_rgi60_TechnicalNote.pdf

Turpo, E., Borja, M., Espinoza, R., Moreno, N., Camargo, R., Almeida, C., Hopfgartner, K., Yarleque, C., & Souza, C. (2022). *Mapping Three Decades of Changes in the Tropical Andean Glaciers Using Landsat*

Data Processed in the Earth Engine. 14, 9. https://doi.org/10.3390/rs14091974

Veettil, B., & Kamp, U. (2019). *Global Disappearance of Tropical Mountain Glaciers: Observations, Causes, and Challenges. 9*(5), 196. https://doi.org/10.3390/geosciences9050196

Zhen, Z., Liu, S., Jiang, Z., Shangguan, D., Wei, J., Guo, W., Xu, J., Yong, Z., & Danni, H. (2019). *Glacier changes and surges over Xinqingfeng and Malan Ice Caps in the inner Tibetan Plateau since 1970 derived from Remote Sensing Data. 64*(245), 1083-1096.