

# MAPBIOMAS

## [COLOMBIA]

### **Apéndice - Glaciares**

Algorithm Theoretical Basis Document - ATBD

Tema transversal en Colección 1.0

Versión 1.0

#### **Líderes temáticos**

Cristhian Mora  
Eliana Mora

#### **Interpretación**

Angie Bustos  
Janner Simbaqueda  
Laura Urrea  
Carolina Hormizda  
Axel Vargas  
Vanessa Bolívar

#### **Desarrollo regional**

Efrain Yury Turpo Cayo

#### **Responsable técnico**

Karen Andrea Huertas

## Índice

1. Introducción	4
1.2. Área de Estudio	5
2. Mosaicos de imágenes	6
3. Clasificación	7
3.1. Variables de clasificación	8
3.2. Mapas de referencia	9
4. Post-clasificación	9
4.1. Llenado de vacíos de información (Gap Fill)	9
4.2. Filtro temporal	10
4.3. Filtro espacial	10
4.4. Filtro de frecuencia y permanencia temporal	11
4.5. Integración con las otras clases MapBiomas	12
5. Referencias	14

Figura 1: Diagrama de flujo metodológico para la obtención de mapas de coberturas Glaciar	5
Figura 2: Área de trabajo	6
Figura 3: Creación de mosaicos anuales para Glaciares	6
Figura 4: Árbol empírico combinado con Random Forest para clasificación de Glaciares	7
Figura 5: Parámetros de clasificación	8
Figura 6: Distribución de glaciares tropicales	9
Figura 7: Filtro Gap Fill	10
Figura 8: Filtro temporal	10
Figura 9: Efecto de la aplicación del filtro espacial	11
Figura 10: Efecto de la aplicación del filtro de frecuencia	11
Figura 11: Aplicación del filtro de permanencia temporal	11
Figura 12: Integrado de Glaciares con las otras clases	12
Figura 13: Clasificación multitemporal Volcán Nevado de Santa Isabel	12
Figura 14: Clasificación multitemporal Sierra Nevada del Cocuy	13
Figura 15: Resultado clasificación 2022	13
Tabla 1: Parámetros de clasificación	7
Tabla 2: Índices espectrales y bandas utilizadas para la clasificación	9

## 1. Introducción

Los glaciares son elementos esenciales para el análisis del cambio climático y su impacto sobre los ecosistemas terrestres. Por ello, la detección y monitoreo de estos en el transcurso del tiempo, es de suma importancia para comprender su evolución y evaluar el derretimiento de los hielos y sus implicaciones en los niveles del mar. Los glaciares de montaña, particularmente en los trópicos, actualmente están disminuyendo rápidamente su extensión superficial (Turpo et al., 2022) y se consideran buenos indicadores del cambio climático, debido a su tiempo de respuesta relativamente rápido a las perturbaciones en las variables climáticas como la precipitación, la temperatura del aire y la humedad atmosférica (Kaser & Osmaston, 2002).

Los glaciares en Colombia han estado disminuyendo, según el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) han pasado de 347,9 Km<sup>2</sup> aproximadamente al final de la pequeña Edad de Hielo (siglos XVII-XIX) a 33,09 km<sup>2</sup> en 2022; es decir Colombia ha perdido el 90% de su área glaciaria. La Sierra Nevada de Santa Marta, solía albergar pequeños glaciares en sus cumbres más altas, uno de los glaciares más conocidos de esta región era el glaciar de Santa Marta. Sin embargo, a lo largo del siglo XX experimentó una disminución significativa en su tamaño y volumen dado al aumento de las temperaturas. De acuerdo a los estudios realizados frente al cambio de área de los nevados colombianos, en los últimos 50 años se estima que los glaciares pierden del 3 al 5% de su área por año. Los estudios adelantados por el IDEAM demuestran que la superficie glaciaria en Colombia se redujo en un 70% desde los años 50's. Evidenciando una posible relación entre el comportamiento recesivo de las masas glaciarias del país y los aumentos de la temperatura media global. Sobre la cordillera de los Andes, en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, también han habido glaciares en el pasado pero como el Glaciar del Nevado del Ruiz han estado en constante retroceso (IDEAM, 2023).

Por otro lado, la detección de glaciares a través de diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes y análisis espacial cada vez cobran más fuerza debido al alto potencial de las mismas, permitiendo monitorear los cambios a gran escala (Paul & Kaab, 2005). Lo anterior, se hace a través de diferentes procesos, uno de ellos es la adquisición de datos en donde se utilizan imágenes satelitales, que para este caso son Landsat, se realiza la selección de las imágenes apropiadas para el área de estudio y los periodos de tiempo objeto de análisis, se valida que tengan el mayor cubrimiento posible de los glaciares, cuenten con un bajo porcentaje de nubosidad y sin interferencias atmosféricas (Bolch et al., 2010). La adecuada combinación entre bandas espectrales permite resaltar las características distintivas de los glaciares en un tono azulado. Finalmente, para hacer una buena clasificación del elemento de interés, se aplica Random Forest y una serie de filtros que permiten diferenciar los glaciares de otras coberturas terrestres. Este análisis multitemporal permite comparar e identificar los patrones de cambio, como la recesión o expansión de los glaciares, 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 que se encuentran en Colombia, en la colección 1 de MapBiomias Colombia usamos como base la metodología de la colección 3 y otras referencias (Turpo et al., 2022). El proceso completo se dividió en 6 etapas figura 1.

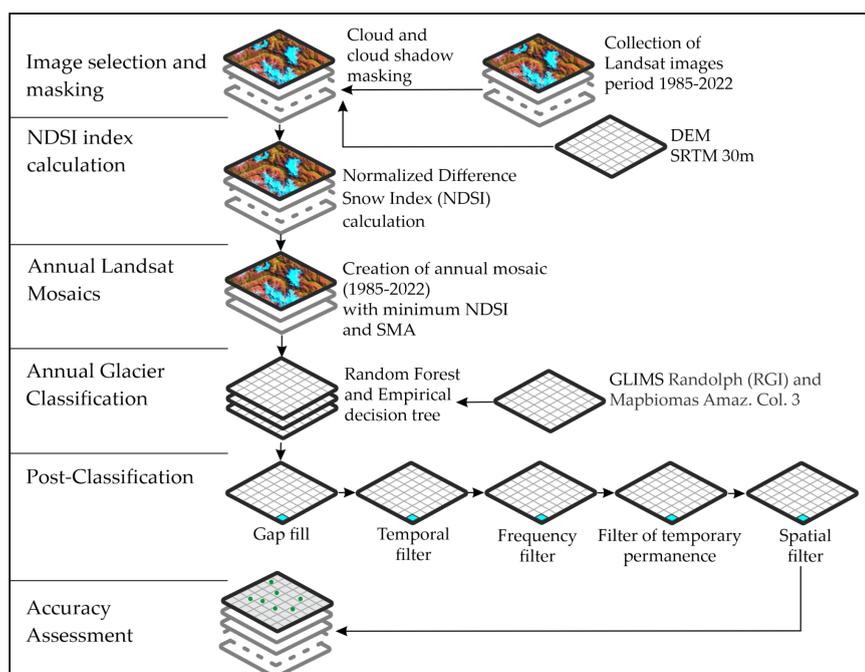


Figura 1: Diagrama de flujo metodológico para la obtención de mapas de coberturas Glaciar

## 1.2. Área de Estudio

Los glaciares colombianos hacen parte de los **Andes Tropicales** que abarcan 158 millones de hectáreas las cuales pasan también por Venezuela, Ecuador, Perú, Chile, Bolivia y Argentina. A nivel mundial existen 36 hotspot (regiones con al menos 1500 especies de plantas endémicas pero con pérdidas del 70% de su hábitat natural) siendo los andes tropicales el que mayor riqueza biológica tiene con 130 ecosistemas que contienen 35 mil especies (RIT, 2023), dentro de estos se encuentran los **Glaciares Tropicales Andinos** los cuales son muy sensibles a los cambios climáticos debido a las condiciones climáticas que se presentan en la zona, están ubicados exclusivamente en latinoamérica teniendo Colombia el 4% de ellos (Lju, 2013).

160 años atrás Colombia tenía 17 masas glaciares en todo su territorio, actualmente solo se cuenta con 6 glaciares como se muestra en la **Figura 15**. Sin embargo, se realizaron 10 regiones de clasificación que contienen los siguientes nevados: Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada del Cocuy, Nevado del Quindío, Volcán Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Rosa, Nevado de Santa Isabel, Volcán Nevado del Tolima, Nevado de Puracé, Nevado del Cumbal y Nevado del Huila. Es importante mencionar que 4 de los anteriores nevados no pudieron ser clasificados ya que la escala temporal y espacial no alcanza para que puedan ser identificadas las masas de nieve que se pudieron encontrar al principio de la serie. Los nevados que sí pudieron ser clasificados son aquellos que se encuentran en la **Figura 15**.

El área de estudio se definió basado en el inventario de glaciares Randolph (RGI Consortium, 2017) e IDEAM, este ha sido cortado con el límite de Raisg. sobre la cual se ha aplicado un Buffer de 1.5 km para considerar área de clasificación.

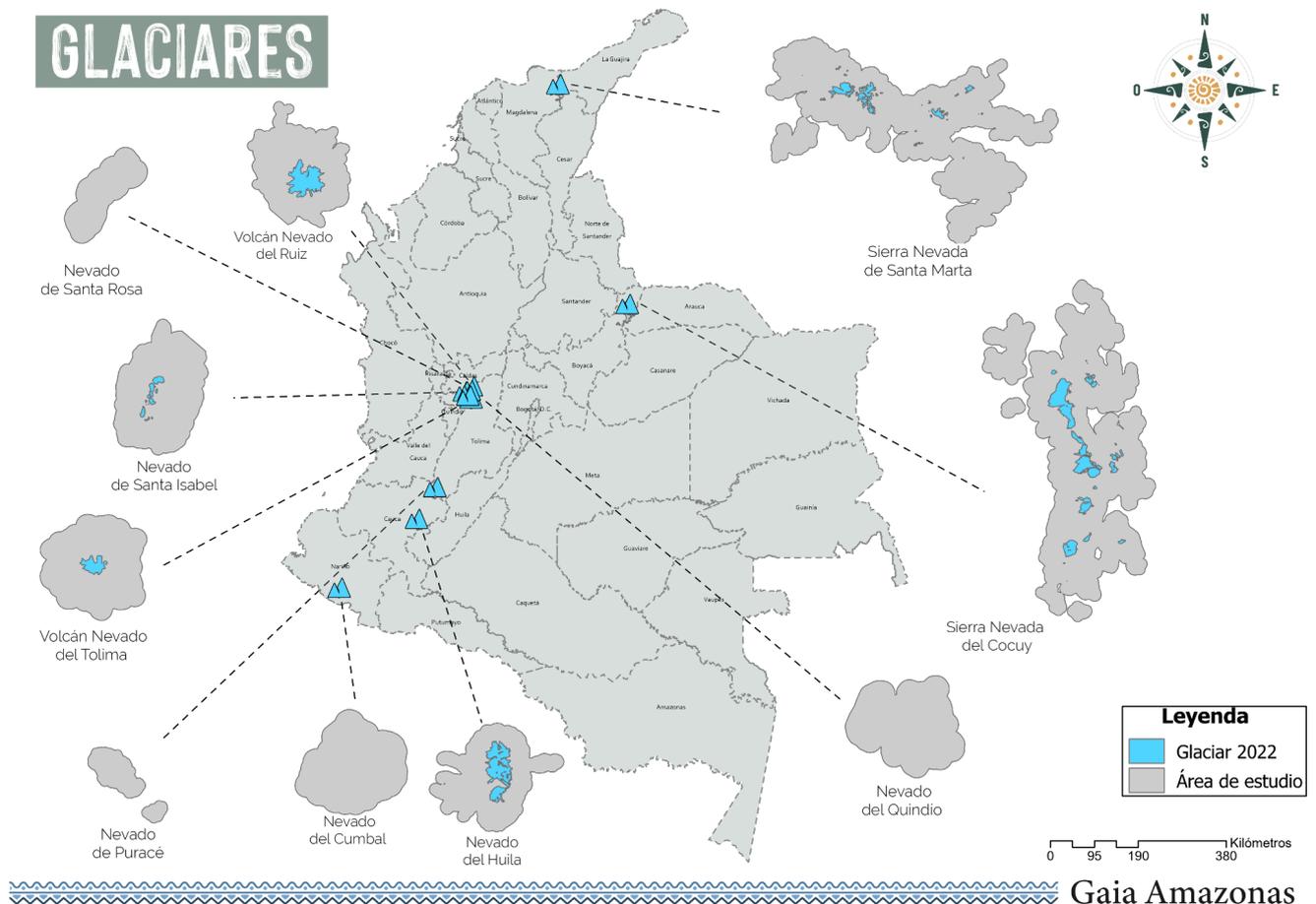


Figura 2: Área de trabajo

La clasificación del tema transversal de Glaciares utilizó los mosaicos de imágenes Landsat generados con los parámetros específicos para la detección de masas de nieve, glaciar y morrenas. Estos mosaicos contemplaban las imágenes con área glaciar mínima anual, basado en el píxel de calidad de NDSI mínimo.

## 2. Mosaicos de imágenes

La clasificación del tema transversal de Glaciares utilizó los mosaicos de imágenes Landsat generados con los parámetros específicos para la detección de masas de nieve, glaciar y morrenas. Estos mosaicos contemplaban las imágenes con área glaciar mínima anual, basado en el píxel de calidad de NDSI mínimo.

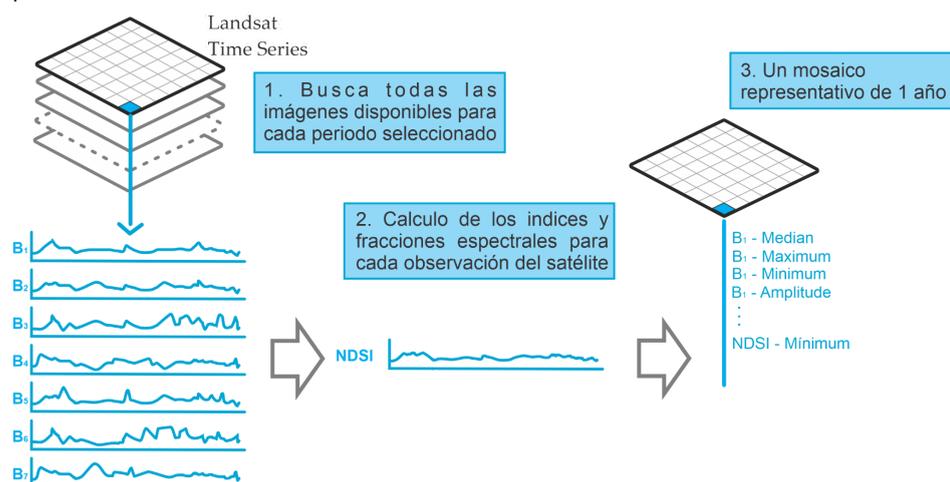


Figura 3: Creación de mosaicos anuales para Glaciares

### 3. Clasificación

La clasificación de los mosaicos Landsat se realizó íntegramente en la plataforma Google Earth Engine, basada en un árbol empírico figura 4.

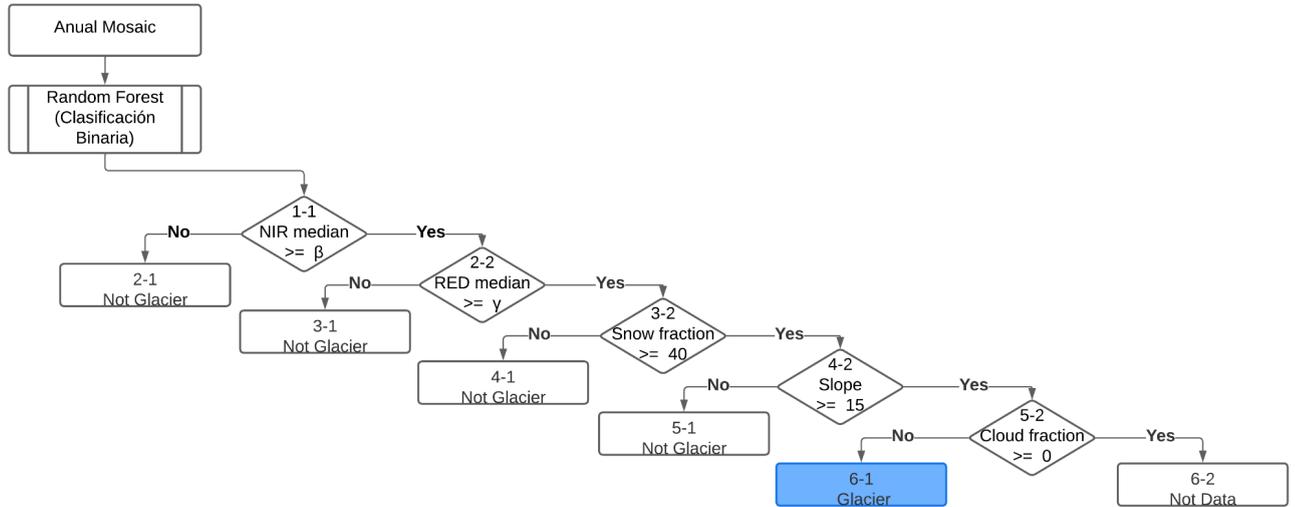


Figura 4: Árbol empírico combinado con Random Forest para clasificación de Glaciares

Se establecen 6 regiones de clasificación que contienen los diferentes glaciares que fueron clasificados, así como se mostró en la figura 4 se establecieron diferentes parámetros dentro de los rangos para la detección de nieve y glaciar como se ve a continuación.

Parámetros						
Región	Shadow Sum	Trees	Samples	Cloud	Snow	Slope
1001	3500	80	3000,8000	20	20	15
1003	3500	50	5000,4000	20	30	15
1016	3500	50	6000,3000	20	40	15
1017	3500	55	5000,8000	20	40	15
1018	3500	80	3000,8000	20	18	15
1019	3500	50	3000,8000	20	20	15

Tabla 1: Parámetros de clasificación

Adicional a los parámetros mostrados se asignan diferentes valores al cloud, NIR median y RED median para cada año a clasificar





Tabla 2: Índices espectrales y bandas utilizadas para la clasificación

<sup>1</sup> El reductor está basado en el índice NDSI, percentil 75 y percentil 25 para Wet y Dry de NDSI respectivamente

## 3.2. Mapas de referencia

### 3.2.1. Información de referencia global

Las regiones operativas de clasificación utilizaron como referencia el inventario de glaciares de Randolph 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.

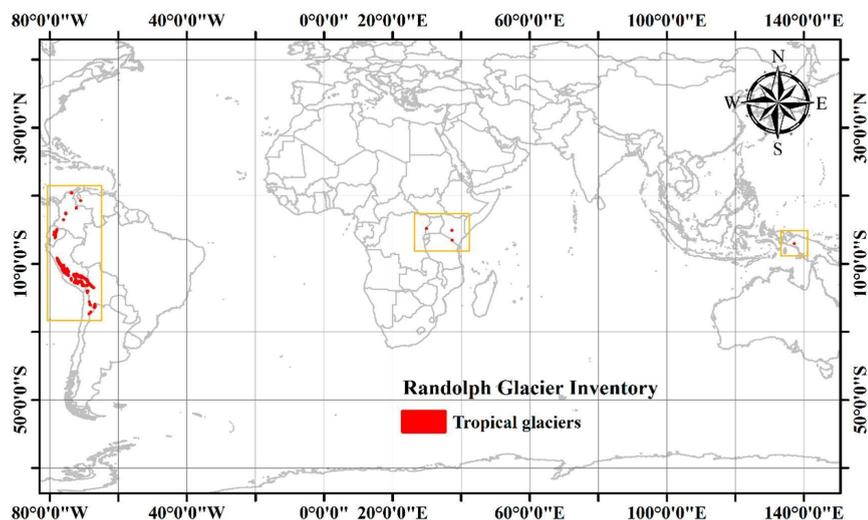


Figura 6: Distribución de glaciares tropicales, fuente: (RGI Consortium, 2017), (Veettil & Kamp, 2019)

### 3.2.2. Información de referencia nacional

A nivel nacional el IDEAM realiza el monitoreo de los glaciares desde el año 1977, el cual se realiza teniendo en cuenta diferentes variables como lo son la altura de las nieves y glaciares, temperatura del agua y del aire, velocidad del viento y la concentración de gases de efecto invernadero. Se utiliza como insumo las estadísticas y diferentes datos que se pueden adquirir del instituto con el fin de contrastar la información generada desde la clasificación.

## 4. 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.

### 4.1. 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

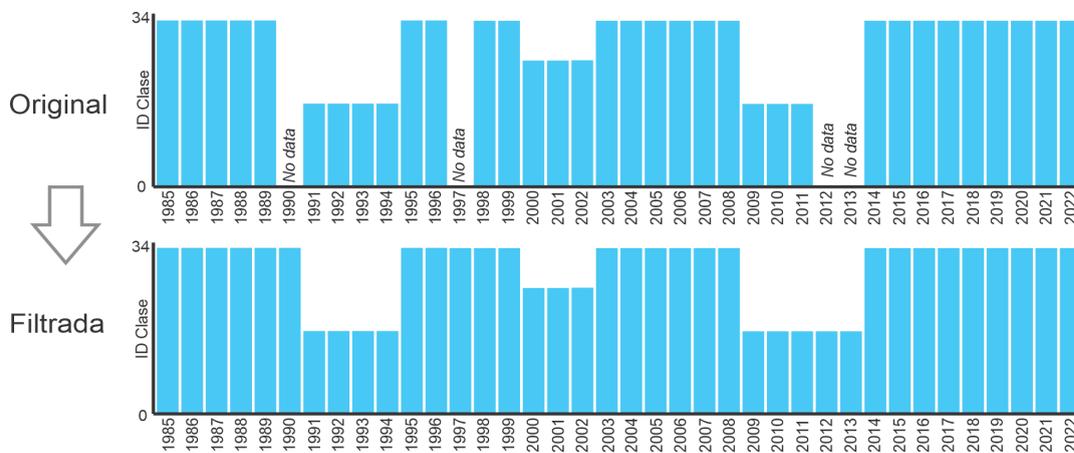


Figura 7: Filtro Gap Fill

## 4.2. Filtro temporal

Después del llenado de vacíos, se ejecutó un 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.

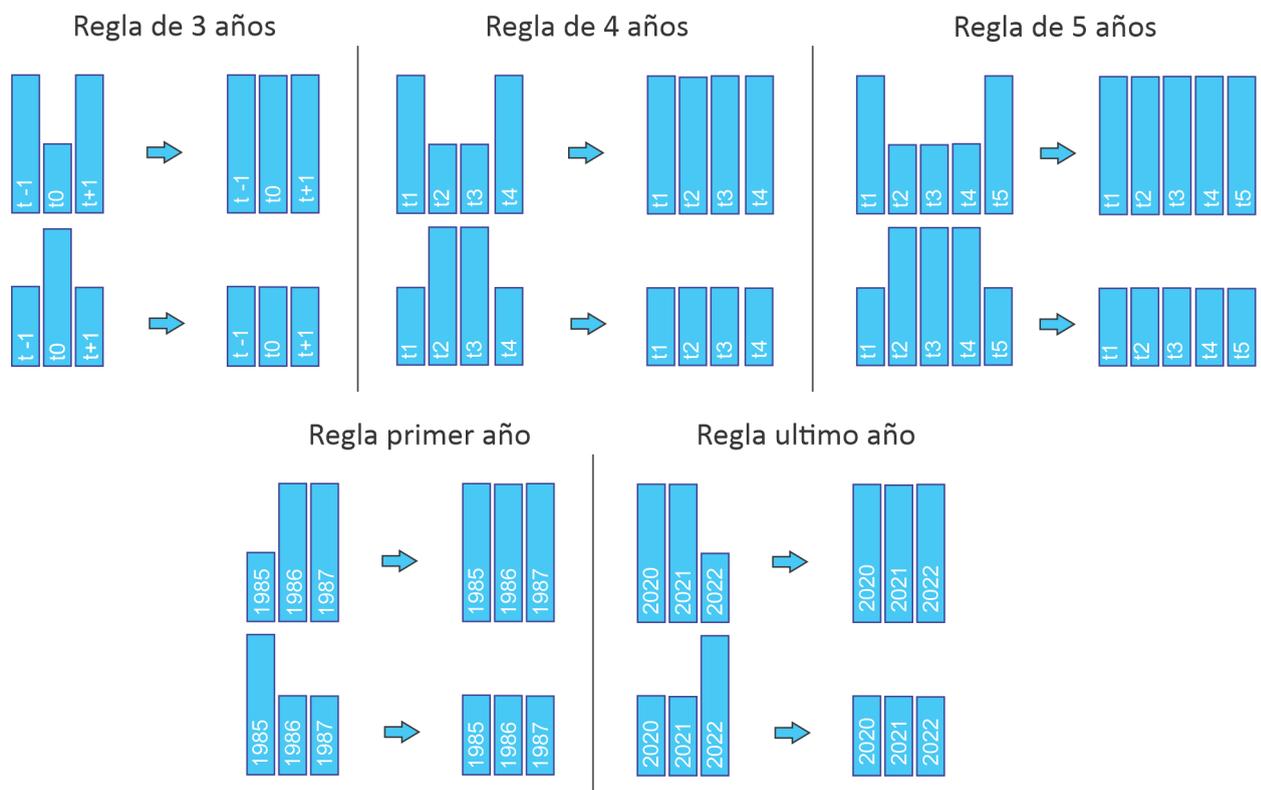
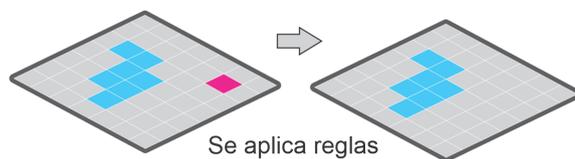


Figura 8: Filtro temporal

### 4.3. Filtro espacial

A continuación, se aplica un 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 (Figura 10). Para las áreas se ha considerado un mínimo de 5 píxeles agrupados.



Se aplica reglas de vecindad  
 $\# \text{ de pixeles vecinos} < n$   
 entonces substituir por la clase predominante  
 Figura 9: Efecto de la aplicación del filtro espacial

### 4.4. Filtro de frecuencia y permanencia temporal

El último filtro de la secuencia aplicada en post clasificación fue el filtro de frecuencia. Como se muestra en la Figura 10, este filtro 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 11.

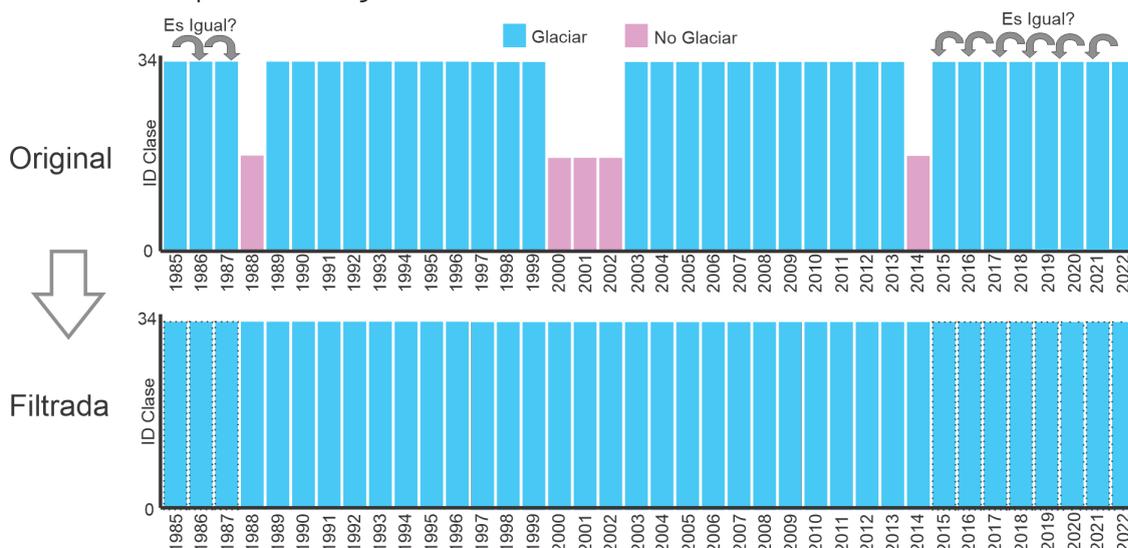


Figura 10: Efecto de la aplicación del filtro de frecuencia

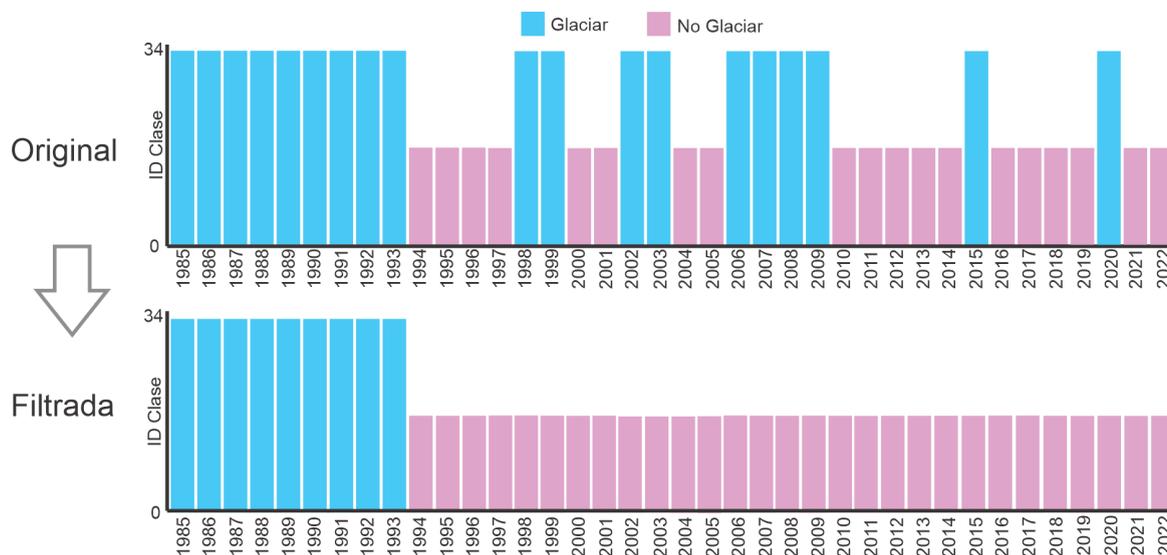


Figura 11: Aplicación del filtro de permanencia temporal

#### 4.5. Integración con las otras clases MapBiomos

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 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.

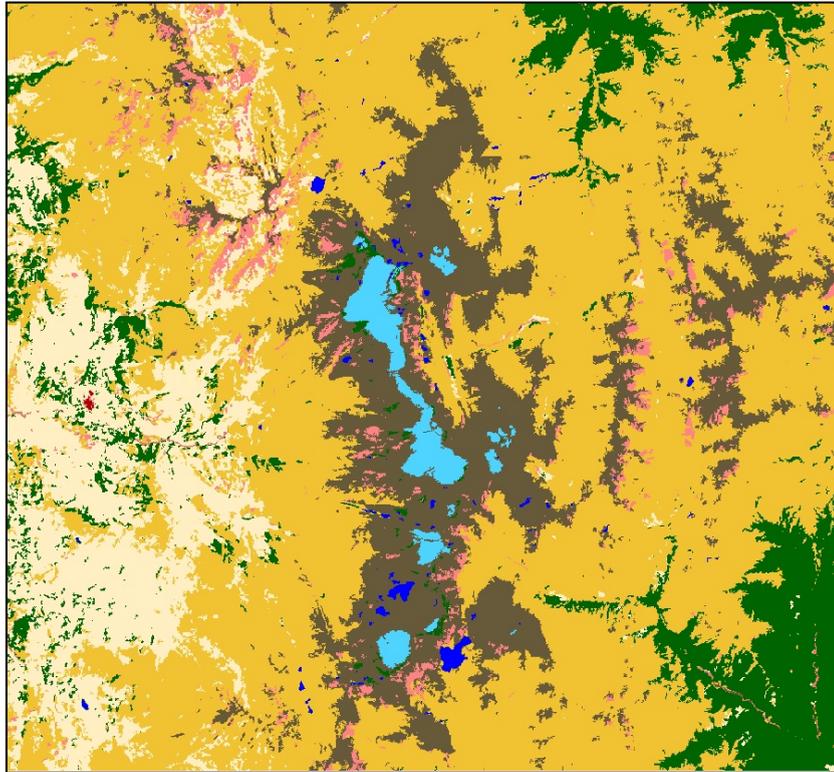


Figura 12: Integrado de Glaciares con las otras clases

- **Multitemporal Santa Isabel**



Figura 13: Clasificación multitemporal Volcán Nevado de Santa Isabel

- **Multitemporal Cocuy**

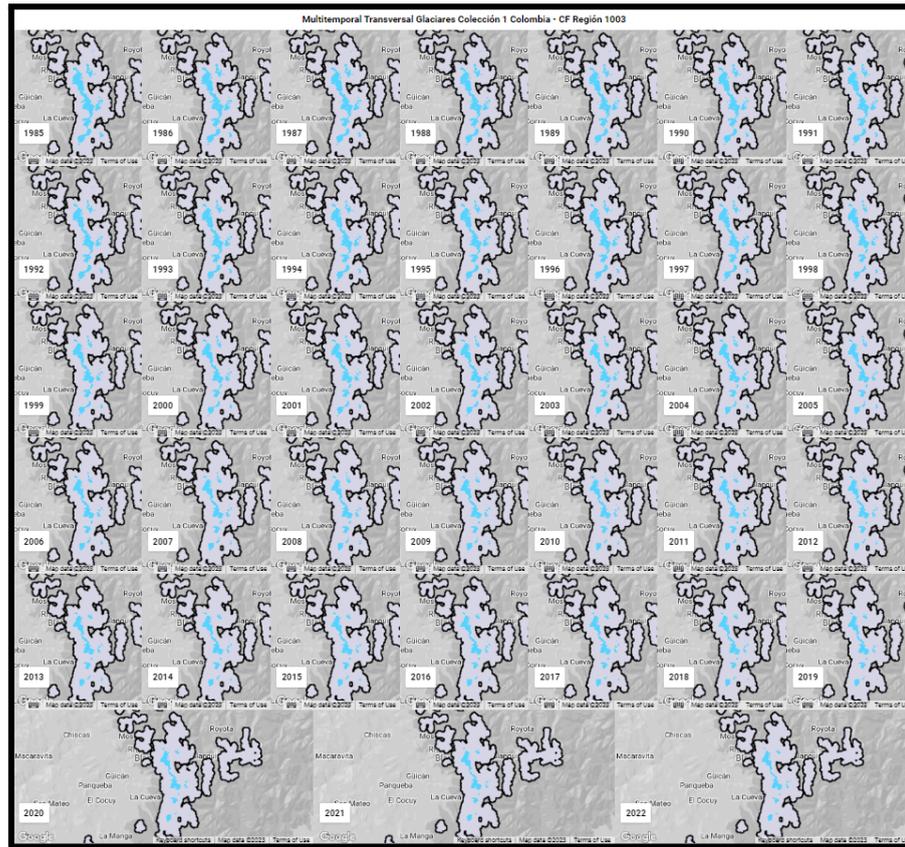


Figura 14: Clasificación multitemporal Sierra Nevada del Cocuy

- **Resultado clasificación**

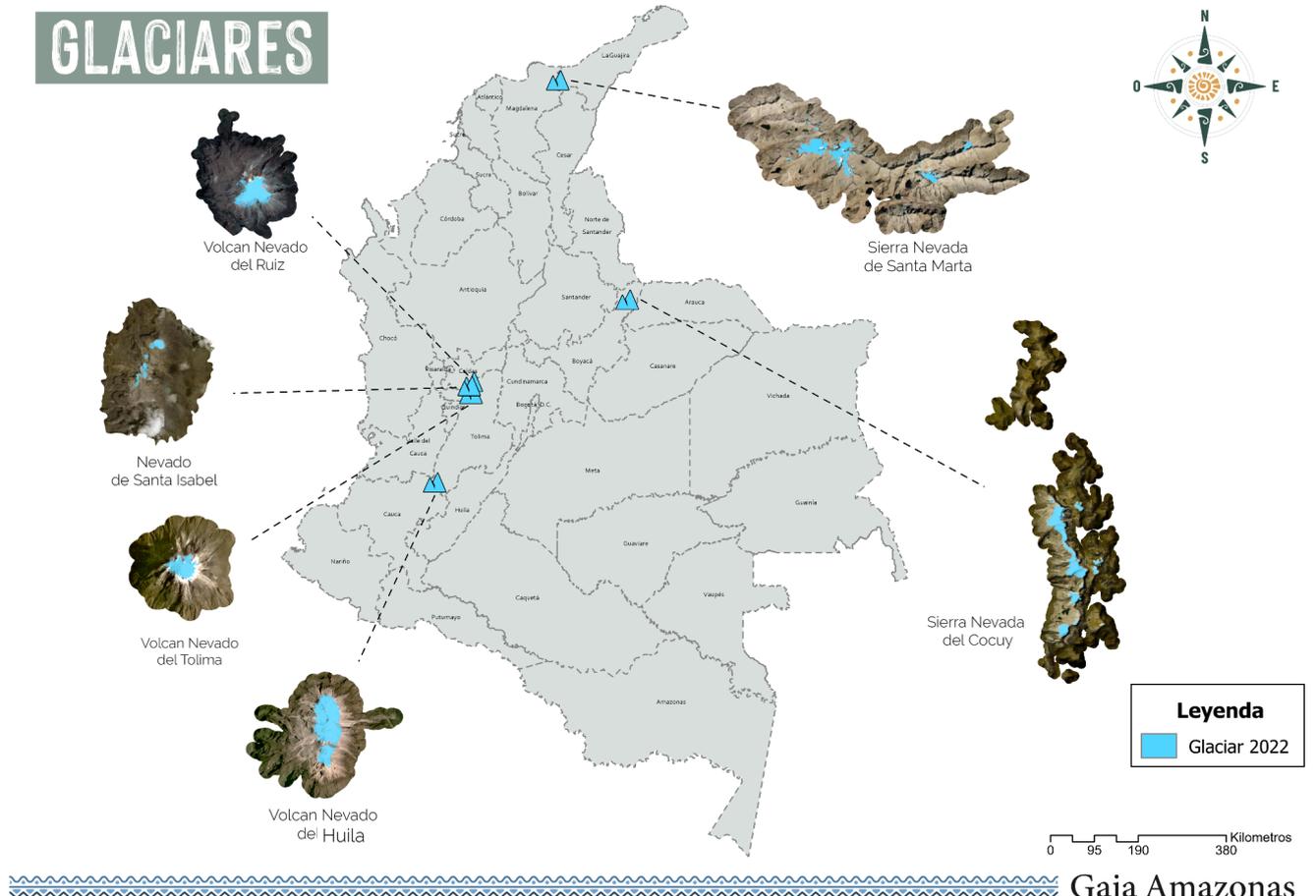


Figura 15: Resultado clasificación 2022

## 5 Referencias

- Bolch, T., Menounos, B., & Wheate, R. (2010). *Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985-2005*. 1(114), 127-137.
- IDEAM. (2023). *Glaciares en Colombia*.  
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares-colombia>
- Kaser, G., & Osmaston, H. (2002). *Tropical glaciers*. Advisory board.  
<https://onggem.files.wordpress.com/2011/02/kaser-osmaston-2002-tropical-glaciers1.pdf>
- Lju, A. (2013). *Glaciares tropicales andinos: ¿con fecha de expiración?* BID.  
<https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/glaciares-tropicales/>
- 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). *Randolph Glacier Inventory - A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0*. [https://www.glims.org/RGI/00\\_rgi60\\_TechnicalNote.pdf](https://www.glims.org/RGI/00_rgi60_TechnicalNote.pdf)
- RIT. (2023). *Andes Tropicales*. <https://andestropicales.net/importancia/>
- 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.