

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 1 de 45

1. OBJETIVO

Proporcionar la metodología para el cálculo periódico del área glaciar en Colombia en un momento determinado, mediante el uso y procesamiento digital de productos de sensoramiento remoto de tal manera que se mantenga actualizado el indicador ambiental área y cambio de cobertura glaciar.

2. ALCANCE

Esta guía aplica al desarrollo de la metodología para el cálculo del área glaciar en Colombia para un periodo determinado de observación, su cambio en el tiempo por medio del uso de productos de sensoramiento remoto en formato digital, principalmente del tipo imágenes satelitales ópticas, como eventualmente el uso de imágenes de radar y fotografías aéreas digitales a gran y baja altura como complemento. Inicia con los prerequisites y la definición de conceptos principales, continúa con el desarrollo de la explicación del cálculo de área glaciar, el cálculo de incertidumbres y la consulta a expertos y finaliza con documentos relacionados y bibliografía.

3. DESARROLLO

3.1 Prerrequisitos

Los prerrequisitos para el cálculo de la área y cambio de la cobertura glaciar son los siguientes:

- ✓ Personal profesional idóneo y con conocimiento y experiencia en el procesamiento de imágenes digitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los requisitos profesionales se especifican en la *Guía de entrenamiento para el cálculo de la área y cambio de cobertura glaciar*.
- ✓ Personal profesional idóneo y con conocimiento y experiencia en monitoreo glaciar. Los requisitos profesionales se especifican en la *Guía de entrenamiento para el cálculo de la área y cambio de cobertura glaciar*.
- ✓ Capacidad informática y ofimática básica como complemento al cálculo de variables e incertidumbres.
 - Ordenadores o computadores con Memoria instalada (RAM) de 4.00 GB y CPU o procesador de 2,2 Gigahercios (GHz)
 - Sistema de enlace con conexión a Internet de 100 Megabits por segundo (Mbps).
 - Capacidad de almacenamiento de 200 Gigabytes (GB) en entornos locales o en la nube.
 - Software de aplicación informática de ofimática básica, basado en un sistema de celdas verticales y horizontales que conforman entre sí filas y columnas, usualmente conocido como hoja de cálculo. La aplicación más común de este tipo de programa es Microsoft Excel®.
- ✓ Programas computacionales especializados para el procesamiento de imágenes de satélite tales como los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis, Erdas, Qgis, etc.).
- ✓ Productos de sensoramiento remoto que cumplan con características mínimas de calidad que permitan la correcta delimitación de los glaciares:
 - En imágenes ópticas para metodología de relación de bandas o *band ratio* se requiere: resolución espectral mínima de 4 bandas y resolución radiométrica mínima desde el espectro visible (0.4 a 0.7 μm aproximadamente) hasta una porción de infrarrojo de onda corta o *Short-wave infrared – SWIR* con valores entre 1,56 y 1,65 μm .
 - En imágenes utilizadas para la metodología de delimitación manual se requiere una resolución espacial con un detalle mayor o igual a 5 metros.
 - Baja o nula presencia de nieve estacional.
 - Baja o nula cobertura por nubes.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 2 de 45

- Cobertura geográfica de las zonas glaciares¹

3.2 Conceptos principales de SIG y teledetección:

- **ANÁLISIS MULTITEMPORAL:** Comparación de imágenes satélite obtenidas a determinados intervalos de tiempo, que permite estudiar fenómenos que implican una variación temporal, como por ejemplo el proceso de retroceso de glaciares. (INAIGEM, 2017).
- **BANDA ESPECTRAL:** Término que designa a una selección de longitudes de onda con comportamientos electromagnéticos similares. (INAIGEM, 2017).
- **COORDENADAS:** Cualquier sistema donde los puntos son definidos como una dirección o distancia específica de un punto de referencia medido con respecto a ejes definidos (INAIGEM, 2017).
- **ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO:** Organización de bandas de longitudes de onda o frecuencia desde las más cortas a las más largas (INAIGEM, 2017). Las unidades de las bandas de longitudes de onda usualmente son las micras (μm).
- **ESPECTRO VISIBLE:** porción del espectro electromagnético entre 0.4 a 0.7 μm . Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (0.4 a 0.5 μm); verde (0.5 a 0.6 μm); y rojo (0.6 a 0.7 μm) en razón a los colores primarios que nuestros ojos perciben a esas longitudes de onda (Bustos, 2014).
- **FOTOGRAFÍA AÉREA:** La fotografía es un sistema de percepción remota que utiliza la reflexión natural del sol, obtenidas desde un avión o un satélite, y presentan variaciones de tono, textura, forma y patrones que corresponden a diferencias en rasgos y estructuras en la superficie (INAIGEM, 2017).
- **GEODATABASE:** Nombre del modelo de base de datos geo-espacial definido por la empresa ESRI® (INAIGEM, 2017).
- **GEOPROCESAMIENTO:** Proceso en el que se aplica el análisis geográfico y se modelan los datos espaciales para producir nueva información (INAIGEM, 2017).
- **IMAGEN DE SATELITE:** Es una representación pictórica de la medición de energía electromagnética registrada por un sensor; y no por medios fotográficos. Ficheros ráster, formadas por una matriz regular o rejilla de celdas, a cada una de las cuales, denominada píxel se le asigna un valor digital, que corresponde a la reflectividad recogida por el sensor (INAIGEM, 2017).
- **IMAGEN MULTIESPECTRAL:** Estructura de datos formada por varias imágenes digitales con las mismas propiedades geométricas, cada una de las cuales recoge la reflectancia en un diferente rango de longitudes de onda del espectro electromagnético (INAIGEM, 2017).
- **PÍXEL:** Picture Element o Elemento de Imagen, es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital. El píxel es el elemento pictórico más pequeño de las imágenes que es susceptible de ser procesado (INAIGEM, 2017).
- **RADIANCIA:** Total de energía radiada por unidad de superficie y por ángulo sólido de medida (INAIGEM, 2017).
- **RASTER:** Modelo de datos de un SIG basado en las localizaciones espaciales sobre una retícula regular de puntos a los cuales se asigna el valor (por ejemplo: valores de elevación) (INAIGEM, 2017).

¹ Los cuadrantes mínimos en coordenadas geográficas de cobertura de las zonas glaciares son:

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

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 3 de 45

- **REFLECTANCIA:** Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie plana (INAIGEM, 2017).
- **RESOLUCIÓN ESPECTRAL:** Indica el número y el ancho de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor (Bustos, 2014). Se refiere a la capacidad de un sensor para distinguir entre diferentes características del suelo basadas en sus propiedades espectrales (Lillesand, Kiefer y Chipman, 1994).
- **RESOLUCIÓN ESPACIAL:** definida por el área de cada píxel sobre el terreno. Una imagen está formada por una matriz de elementos, o píxeles, los cuales constituyen las unidades más pequeñas de la imagen. En un sensor con una resolución espacial de 20 metros, cada píxel representa un área de 20m X 20m sobre la Tierra (Bustos, 2014). Se considera que entre mayor resolución espacial, menor el tamaño del píxel.
- **RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA:** sensibilidad del sensor o capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Se indica por el número de niveles grises posibles de registrar. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica, mejor podrá ser interpretada la imagen (Bustos, 2014).
- **RESOLUCIÓN TEMPORAL:** Es una medida de la frecuencia con la que un satélite es capaz de obtener imágenes de una determinada área. Se refiere al periodo de tiempo que lleva el sensor en completar un ciclo orbital completo. Este ciclo es generalmente de varios días (Bustos, 2014).
- **SENSORAMIENTO REMOTO:** Ciencia de obtener información útil sobre los objetos, áreas o fenómenos bajo investigación mediante análisis de datos adquiridos por dispositivos que no están en contacto físico con ellos (Lillesand, Kiefer y Chipman, 1994).
- **DEM:** Modelo de Elevación Digital -DEM por sus siglas en inglés, "se refiere a una abstracción digital tridimensional que describe o modela la complejidad de la superficie del terreno en un área específica. Dependiendo de la fuente, un DEM contempla tanto las variaciones de alturas de los elementos sobre el suelo, la topografía como también la curvatura natural del planeta" (<https://www.linkedin.com/pulse/modelos-de-elevaci%C3%B3n-digital-dem-oscar-alberto-diaz-bocanegra/>)

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 4 de 45

3.3 Cálculo del área glaciar

Las imágenes de satélite juegan un rol esencial en el mapeo de los glaciares. El proceso consiste en la aplicación de un conjunto de técnicas orientadas a mejorar la visualización, procesamiento, análisis y obtención de información adecuada para el cálculo del área y cambio de cobertura glaciar.

- Nomenclatura de los archivos:

El primer paso necesario para el correcto procesamiento de las imágenes es el acopio de las mismas, replicando las recomendaciones de la estructura para nomenclatura de los archivos de acuerdo con el *Manual para la nomenclatura de archivos, objetos y atributos de los productos geográficos del Ideam (M-GCI-E-M022)*. En este sentido se deben salvaguardar las imágenes en los entornos locales o en la nube, según lo dispuesto por el líder temático de la operación, con la siguiente nomenclatura:

Imágenes Satelitales: [NombreSensor_Fecha(MesAño)_ZonaGeográfica_CaracterísticaPuntual]
Fotografías aéreas: [ZonaGeográfica_Fecha(Año)_CódigoVuelo_CaracterísticaPuntual]

en las que algunos ejemplos de valores son:

- Nombre del sensor: AAv (ALOS Avnir), APa (Alos Palsar), PS (PlanetScope), RE (RapidEye), PL (Pléiades), Sntl (Sentinel), Lndt (Landsat), SPOT, etc.
- Zona Geográfica: SNSM (Sierra Nevada de Santa Marta), SNCG (Sierra Nevada El Cocuy o Güicán), VNRu (Volcán Nevado del Ruíz), VNSI (Volcán Nevado Santa Isabel), VNTo (Volcán Nevado del Tolima), VNHu (Volcán Nevado del Huila).

Algunos ejemplos de nomenclatura son:

- *SPOT_052015_SNSM.tif* -> imagen satelital SPOT de mayo de 2015 sobre la Sierra Nevada de Santa Marta
- *Sntl_18022020_VNRu.tif* -> imagen satelital Sentinel del 18 de febrero de 2020 sobre el Volcán Nevado del Ruíz
- *VNRu_1959_M-547.tif* -> fotografía aérea del vuelo M-547 del año 1959 sobre el Volcán Nevado del Ruíz
- *SNCG_1994_C-2535.tif* -> fotografía aérea del vuelo C-2535 del año 1994 sobre la Sierra Nevada El Cocuy o Güicán

Es importante tener en cuenta que las imágenes copiadas deben tener un nivel de procesamiento realizado por el proveedor o por la interfaz de descarga gratuita, el cual consiste en la ortorectificación o corrección geométrica, corrección atmosférica y corrección radiométrica. Normalmente para la georeferenciación de las imágenes de satélite se usan dos insumos, los puntos de control, conocidos como coordenadas x y y, que proporcionan la ubicación con datos referenciados espacialmente, estos puntos se pueden ubicar con precisión sobre la imagen. Los puntos de control son necesarios para realizar los ajustes matemáticos. Por otro lado, se encuentran los modelos digitales de elevación-DEM, que son utilizados para el proceso de la ortorectificación de la imagen con el objetivo de corregir las distorsiones geométricas causadas por el relieve y por zonas no rectificadas por el modelo. Es importante el uso de un DEM de buena calidad. En caso de ser necesario, las imágenes se deben re proyectar al sistema de referencia oficial para la cartografía oficial del IDEAM. Este consiste en el sistema geográfico GCS MAGNA (wkid: 4686) y el sistema de coordenadas planas/proyectadas

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 5 de 45

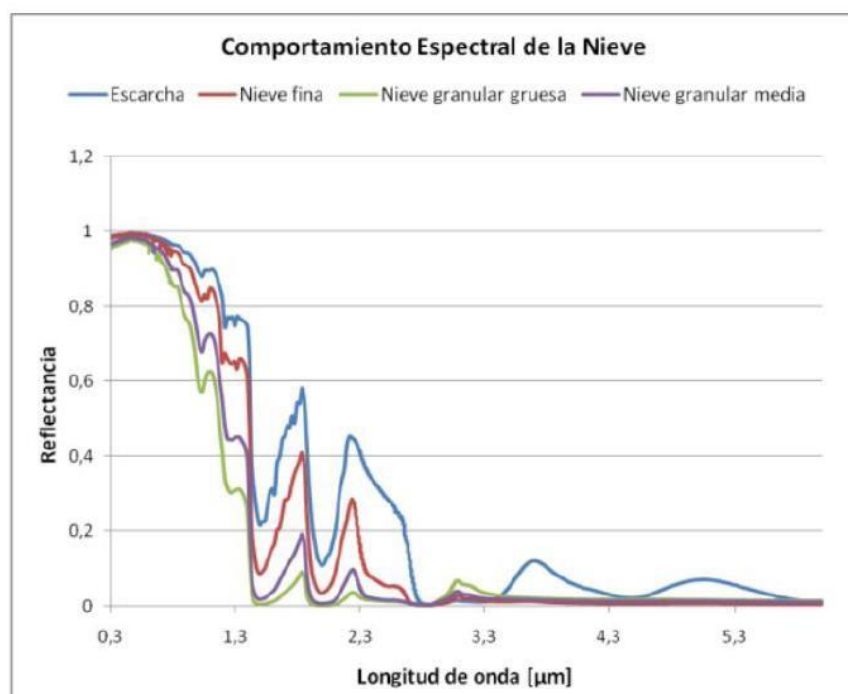
MAGNA Colombia Bogotá (wkid: 3116), el cual cubre todos los glaciares del país. Esto en concordancia con el estándar de adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como DATUM oficial de Colombia, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC.

Posteriormente, se establecen metodologías de interpretación de coberturas nivales y glaciares por medio del uso de sensores remotos y las cuales han sido usadas en diferentes investigaciones y estudios a nivel mundial. A continuación, se presentan las metodologías usadas para el cálculo de la área y cambio de cobertura glaciar en Colombia.

- Metodología de relación de bandas:

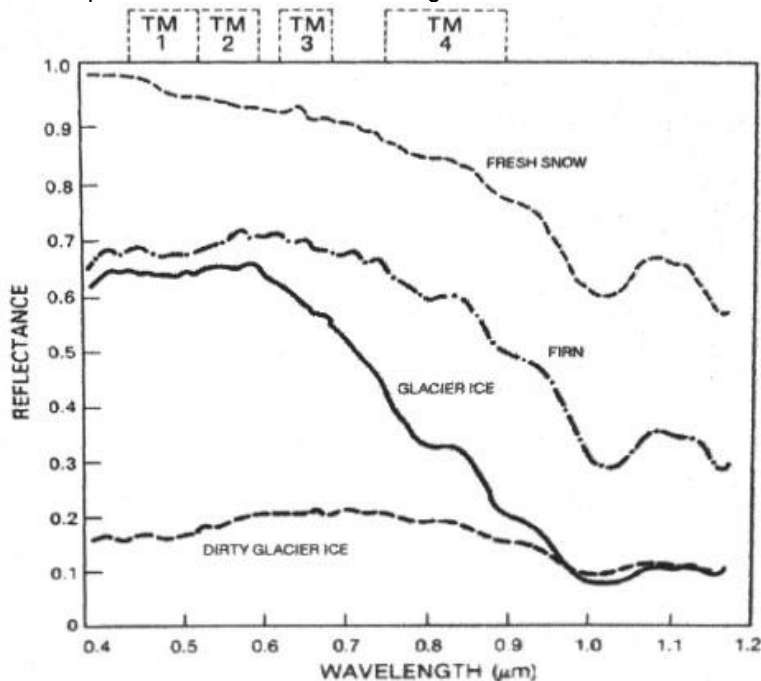
Utilizada en muchos trabajos a nivel mundial, consiste en obtener el cociente de dos bandas de diferente espectro. Es un método que utiliza la división de pixel a pixel de dos bandas de una imagen con el objetivo de maximizar el contraste espectral entre la capa de nieve y otras capas como: rocas, suelo y agua (Manoj et al., 2011) mejorando las características de la nieve, siendo muy usada debido a que reduce los efectos de variables como la iluminación solar, la topografía y variaciones de la intensidad causada por las sombras. La metodología de relación de bandas presenta mejores resultados si la razón es entre bandas de alta reflectancia y baja reflectancia (Manoj et al., 2011).

Es importante detallar la forma como se comportan las firmas espectrales de las superficies de nieve y hielo glaciar en el espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta, ya que, la nieve fresca posee una alta reflectancia (0.5 - 1.0) en el espectro visible e infrarrojo cercano o en longitudes de onda corta, cerca del 80%, mientras que en longitudes de onda larga su reflectividad disminuye hasta llegar a ser en ocasiones del 0% (Kääb et al. 2013) y el hielo glaciar posee una baja a mediana reflectancia (0.1 - 0.6 ~) un poco más alta en el visible y más baja en el infrarrojo cercano.



Firma espectral de la nieve en proceso de diagénesis. Hernández (2007)

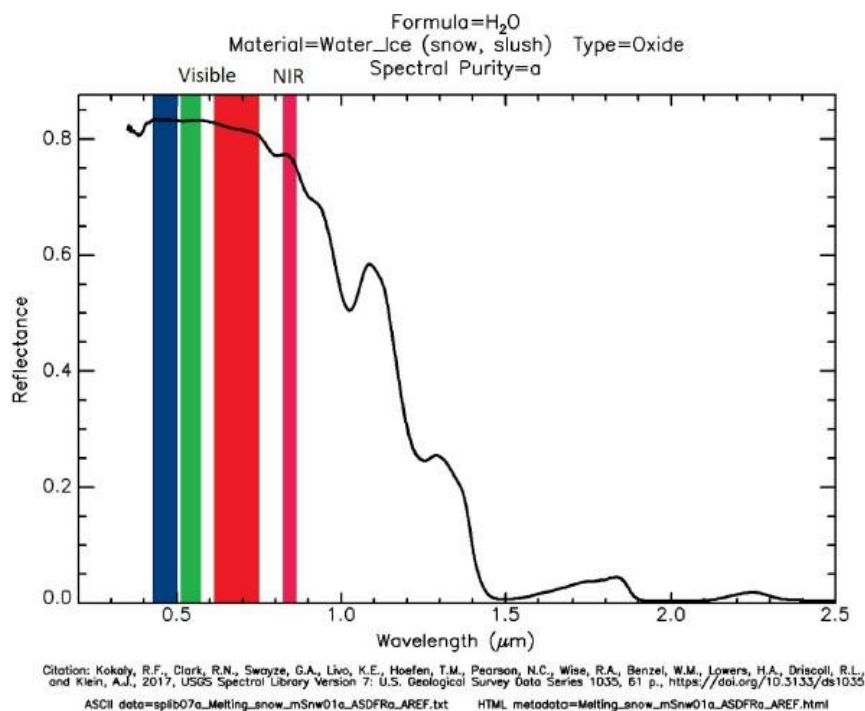
Durante el proceso de diagénesis entre las etapas nieve, nieve granulada y neviza la reflectividad disminuye debido a procesos de compactación y acumulación de contaminantes como polvo, hollín y biota (Warren y Stephen, 1980) y también por el aumento del tamaño del grano.



Respuestas espectrales sobre diferentes coberturas (Pellikka y Rees, 2010).

Sandoval y González (2012) afirman que la relación entre las longitudes de onda de energía reflejada, absorbida y transmitida por un objeto se conoce como firma espectral, la cual es única para cada objeto (Muñoz, 2006). A continuación, se muestra la firma espectral de la nieve trabajada por Kokaly et al. (2017).

	Código: GCI-CG-G001	
	Versión: 03	
	Fecha: 11/07/2025	
	Página: 7 de 45	



Firma espectral de la nieve. Kokaly et al. (2017)

Es posible confundir en una imagen la cobertura de nieve con cobertura nubosa (al fin y al cabo, formadas por partículas de hielo) con la salvedad de que la reflectividad de la nieve cae hasta cero para longitudes de onda mayores de $1.4 \mu m$ mientras que la de las nubes sigue siendo alta haciendo posible su discriminación en esta región del espectro electromagnético. (Gasca y Jiménez, 2012).

El hielo de los glaciares se origina a partir de nieve metamorfoseada y comprimida, lo que da como resultado características espectrales que son similares a las de la nieve con gran tamaño de grano (Hall et al., 1987). Al final del período de ablación (cuando la capa de nieve es mínima) y desde una perspectiva de teledetección, la superficie del glaciar está compuesta de hielo desnudo, nieve, tierra / escombros / rocas y agua líquida; todo ello en condiciones de iluminación muy variables (p. ej., situadas bajo la luz solar directa o en sombras). Las áreas con muchas grietas también pueden carecer de contraste espectral y las partes del glaciar cubiertas de escombros son espectralmente muy similares al terreno circundante. Por otro lado, la suciedad a menudo cubre el hielo desnudo a microescala, lo que proporciona una porción suficientemente grande de hielo visible en una imagen satelital de resolución de 30 por 30 m, por lo tanto, permite su identificación. (Frank Paul et al.2013). (Ver Anexo 1 BÚSQUEDA Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATÉLITE SENTINEL)

El índice Normalized Difference Snow Index (NDSI) es una de las metodologías ampliamente usadas en la detección de la cubierta nival, propuesto por Jeff Dozier, en la que se selecciona como superficie de nieve todo aquel píxel con valor superior a 0.4. (Gasca y Jiménez, 2012).

La metodología de relación de bandas utiliza el cociente de dos bandas con alta reflectancia y baja reflectancia de las masas glaciares (NDSI) con el fin de obtener un ráster en el cual se discrimine las demás coberturas y sólo se pueda visualizar el glaciar, para ello es necesario hacer uso de la siguiente fórmula:

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 8 de 45

$$\text{Band Ratio} = \frac{\text{Float}(\text{banda } x)}{\text{Float}(\text{banda } y)}$$

Banda _x corresponde a la banda 4 (b4) de alta reflectancia.

Banda _y corresponde a la banda 11 (b11) de baja reflectancia.

El resultado será un ráster a escala de grises, donde las zonas más claras corresponden a las áreas con cobertura glaciar y las zonas más oscuras corresponden a zonas sin cobertura glaciar.

Para extraer las zonas claras o con cobertura glaciar es necesario definir unos umbrales o thresholds, dónde se determina el valor promedio del píxel que define mejor el límite del glaciar.

El umbral o el valor de clasificación de la nieve y el hielo depende del satélite, el sensor y las bandas usadas. Estos umbrales han sido trabajados por diferentes autores de la siguiente manera:

Satélite	Sensor	Ratio band	Valor de reclasificación	Autor
Landsat 5	TM	3/5	> 1.3	(Rott, 1994)
		4/5	> 1	(Hall, 1987)
Landsat 8	OLI	4/6	>[2 - 3]	(Paul et al. 2016)
Sentinel	MSI	4/11	>[2 - 3]	(Paul et al. 2016)
Terra	ASTER	3/4	> 2	(Gjermundsen et al. 2011)

El umbral o el valor de clasificación de la nieve y el hielo según satélite (Cruz, 2020).

El umbral para la relación puede llegar a ser bastante robusto, pero igualmente es sensible a pequeños cambios en el valor, los cuales pueden marcar una gran diferencia en la región del glaciar mapeada (Frank Paul et al. 2013). El consejo general para la selección del umbral es utilizar un valor que minimice la carga de trabajo para el post-procesamiento (es decir, las correcciones necesarias en las regiones de sombra). Los valores correctos se encuentran seleccionando primero el umbral para la relación de banda y luego optimizando el valor TM1 (para los sensores ASTER y SPOT, las bandas verdes también funcionan). Al comparar los contornos de los glaciares de diferentes umbrales, el valor correcto es donde se mapea la mayor parte del hielo, es decir, hacia valores de umbral bajos (Frank Paul et al. 2013).

El resultado es una imagen binaria de zonas con glaciares y sin glaciares, determinadas con un “gridcode” de 1 y 0 respectivamente, (Revisar Anexo 2 DELIMITACIÓN DEL ÁREA GLACIAR EN ARCGIS). Hay que tener en cuenta que este proceso del cálculo del índice normalizado de diferenciación de nieve (NDSI) es aplicable para aquellas imágenes de satélite que presentan las bandas del visible e infrarrojo de onda corta.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 9 de 45



Resultado de zonas con cobertura glaciar determinada con "gridcode 1".

Se aplica una conversión ráster-vector para la edición posterior de polígonos en el dominio vectorial (Frank Paul et al.2013) una vez se tenga el resultado se eliminan los polígonos con valores "gridcode" igual a 0 que corresponden a las áreas sin cobertura glaciar, dejando como resultado los polígonos correspondientes a las zonas con cobertura glaciar.



Áreas con cobertura glaciar determinada por la metodología de relación de bandas.

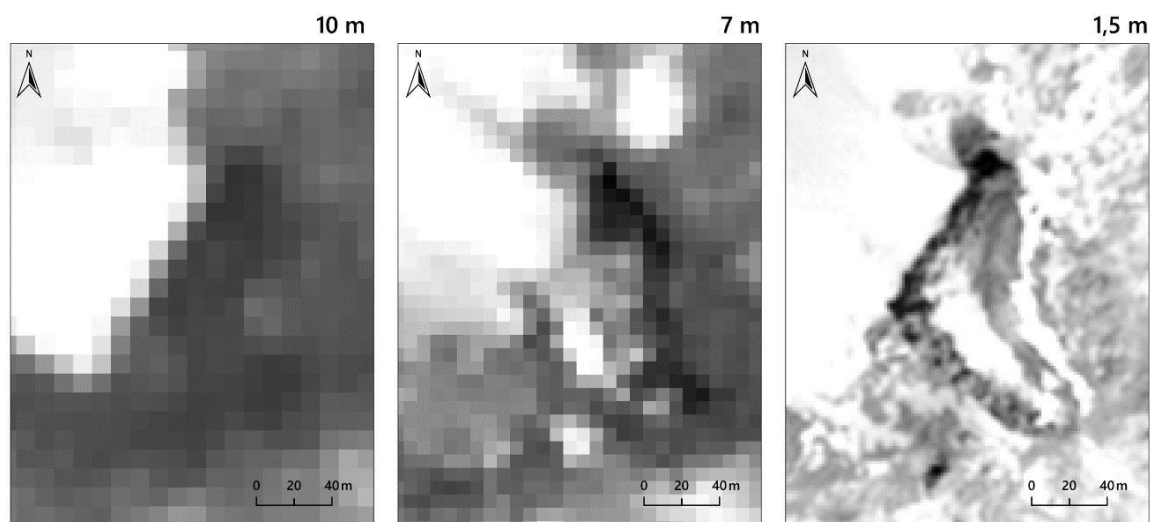
Finalmente, sólo para el uso de este método de relación de bandas se recomienda que la cobertura glaciar resultante se analice de manera minuciosa a través de otras imágenes satelitales tomadas en fechas próximas

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 10 de 45

entre el último mes del año anterior al que se va a realizar el análisis hasta aproximadamente el cuarto mes del año a analizar, todo lo cual depende de la disponibilidad de las imágenes de satélite, y se procura mantener un rango temporal de mínimo 10 meses para la estimación de un cambio de área significativo. Para el caso de la operación estadística este análisis se surte mediante el método de clasificación manual el cual se explica a continuación.

- Método de clasificación o delineación manual:

Esta metodología se usa con el objetivo de complementar y corregir los resultados obtenidos con la interpretación automatizada de relación de bandas o band ratio.



Comparación de diferentes resoluciones espaciales (10, 7 y 1,5 metros respectivamente) para una misma escala, en el borde superior del glaciar en la cumbre centro del volcán nevado Santa Isabel.

Manoj et al. (2011) definen la delineación manual cómo: "la digitalización en la pantalla de aerofotografías o imágenes satelitales basada en la interpretación visual de áreas cubiertas de nieve o glaciar, utilizando un conjunto de elementos como: textura, tamaño, color y patrón aplicados individualmente o en conjunto".

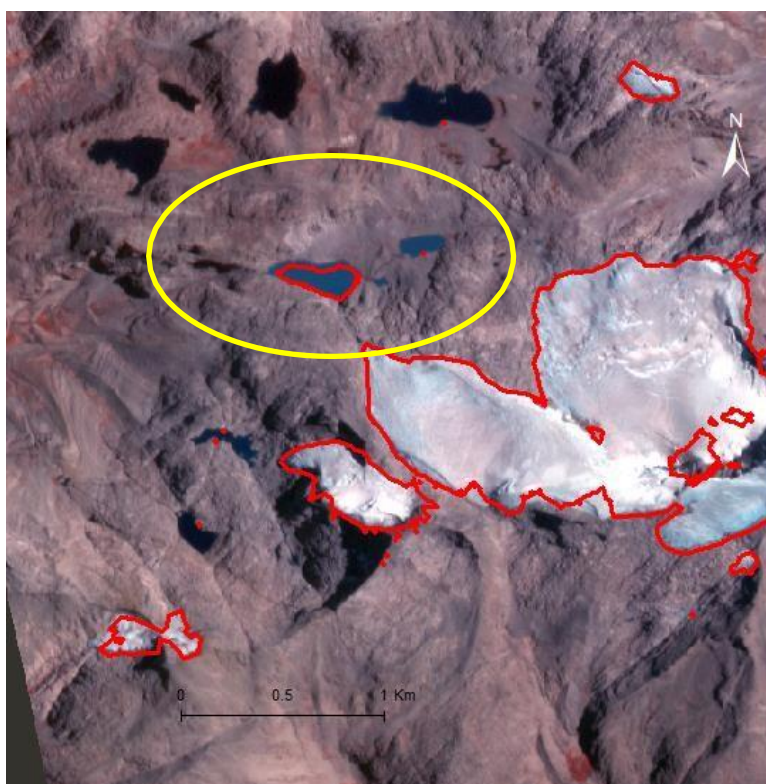
La interpretación visual de imágenes se aprende a través de la experiencia de ver escenas de imágenes complementadas por una familiaridad cercana con el medio ambiente y los procesos que se observan (Lillesand y Kiefer, 1994). La interpretación varía con la formación y la experiencia del intérprete, la naturaleza de objetos o fenómenos que se interpretan, y la calidad de las imágenes que se utilicen. (Lillesand y Kiefer, 1994).

Para la interpretación visual es importante generar compuestos de falso color con contraste mejorado utilizando las bandas equivalentes de TM 3, 2, 1; 4, 3, 2; y 5, 4, 3 como RGB, respectivamente. Este último es importante para la identificación adecuada de glaciares (azul verdoso) y nubes (blanco), mientras que el primero ayuda a identificar el hielo y la nieve en la sombra durante la inspección visual. La imagen infrarroja de color falso típica (bandas 432) es útil para la identificación de superficies de agua que muestran una amplia gama de colores en esta combinación de bandas. (Frank Paul et al. 2013).

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 11 de 45

Dada la experiencia de los profesionales, la delineación manual es de gran importancia debido a que el proceso automatizado de la metodología de relación de bandas puede en ocasiones delimitar zonas que no corresponden a áreas glaciares, como cuerpos de agua o en caso contrario puede no delimitar áreas con cobertura glaciar debido a la nubosidad, cubrimiento de ceniza volcánica, sombras o cobertura de nieve fresca.

Adicionalmente, un insumo fundamental que se debe tener en cuenta en la etapa de delimitación manual son las delimitaciones o capas vectoriales anteriores con el fin de lograr correspondencia topológica, particularmente en zonas escarpadas. Se recomienda que este proceso de generación de la capa geográfica debe ser realizado por mínimo dos intérpretes en momentos diferentes de tiempo, esto en aras de la calidad.



Delimitación errónea de la cobertura con énfasis en un cuerpo de agua (círculo amarillo) interpretado como glaciar por la metodología de relación de bandas, lo cual demuestra necesidad de método complementario de delimitación manual.
Imagen PlanetScope de 2020 sobre sector noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta.



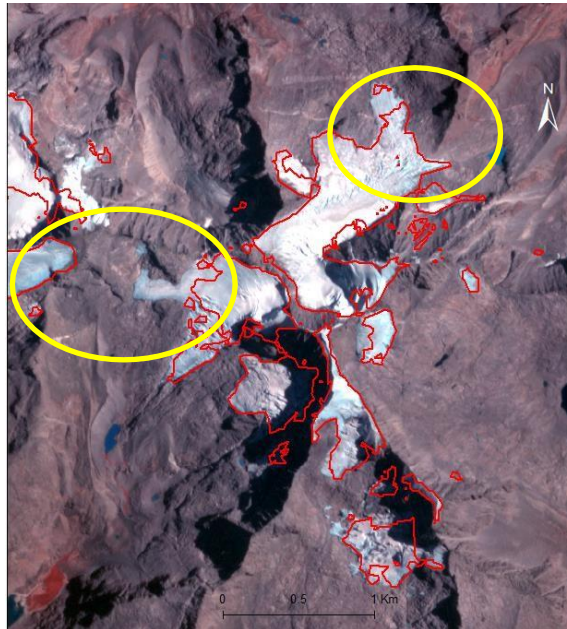
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

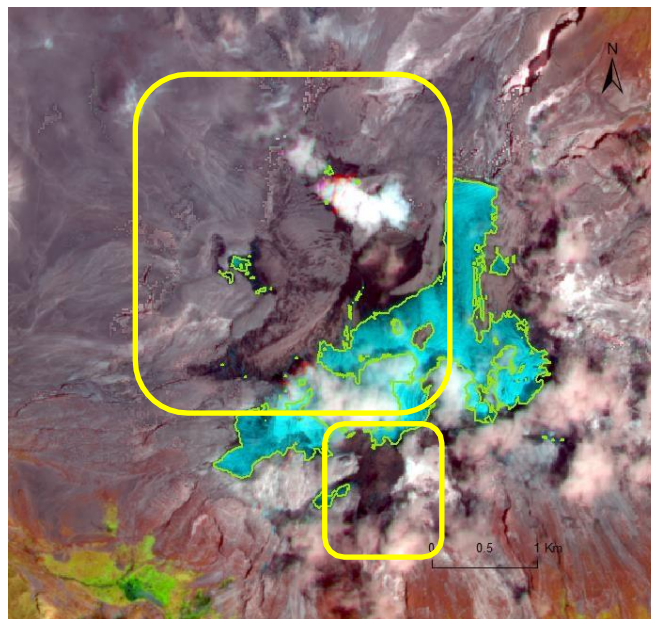
Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 12 de 45



Delimitación errónea de la cobertura con énfasis en la cobertura de nubes en la zona (círculos amarillos) por la metodología de relación de bandas, lo cual demuestra necesidad de método complementario de delimitación manual. Imagen PlanetScope de 2020 sobre sector noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta.



Delimitación errónea de la cobertura con énfasis en la cobertura por ceniza volcánica (cuadros amarillos) no interpretado como glaciar por la metodología de relación de bandas, lo cual demuestra necesidad de método complementario de delimitación manual. Imagen Sentinel de 2020 sobre Volcán Nevado del Ruiz.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 13 de 45

3.4 Cálculo de incertidumbres

La guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM) realizada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), define la incertidumbre como el “parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando” (Pérez Hernández, 2012). En otras palabras, la incertidumbre es la duda que todo resultado de medición lleva implícito, por lo tanto, es calculada para conocer el valor verdadero de un resultado de medición.

Siguiendo a Rabatel et al (2013) la incertidumbre del cálculo en las áreas glaciares puede calcularse de manera aproximada mediante el cálculo de la suma cuadrática de los errores independientes (tamaño de píxel, delineación manual, corrección errores geométricos, presencia de nieve), multiplicado por el perímetro glaciar. Esto implica una aproximación y criterio cualitativo para su estimación, ya que el valor dado a cada uno de estos criterios de error es determinado por un profesional a cargo del monitoreo glaciar.

Teniendo en cuenta la necesidad de estimar la desviación del valor medido en las diferentes áreas glaciares con respecto a los valores reales, se procede a estimar el valor absoluto calculando las incertidumbres por área glaciar. A continuación, un ejemplo de un cálculo de incertidumbre para el Volcán Nevado del Tolima que permite estimar ésta en 0,08 km².

Cálculo de incertidumbre de las áreas glaciares para el año 2020								
Volcán Nevado del Tolima - VNT								
La incertidumbre es la raíz cuadrática de la suma cuadrática de los posibles errores independientes que afectan la delimitación del perímetro glaciar. Se sigue sugerencia de Rabatel.								
Tamaño de píxel (m) - SENTINEL	Tamaño de píxel (m) - PLANET SCOPE	Promedio del tamaño de píxel (m).	Error de corrección geométrica (m) - SENTINEL	Error de corrección geométrica (m) - PLANET SCOPE	Promedio del error de corrección geométrica (m)	Promedio del error espectral (m) PlanetScope	Error de identificación visual (m)	Raíz de la suma cuadrática (km)
10	3	6,5	3	7	5	8,8	6,77	0,01380137
Número de polígonos del glaciar	Perímetro (km)	Incetidumbre de cada polígono independiente (km2)	Incetidumbre total para el VNT (KM2)					
1	6,104015	0,08424	0,08					
2	0,076881	0,00106						

- Posibles errores adicionales

Los datos obtenidos desde que el sensor toma la imagen y llega al sistema de recepción, hasta que se distribuye al usuario, pasa antes por unas correcciones (Gasca y Jiménez, 2012), las cuales pueden generar ciertas incertidumbres en el procedimiento. Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto ya sea aéreo o espacial, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas debidas a varios factores, lo que causa que la imagen no coincida exactamente con el tono, posición, forma, tamaño, de los objetos que incluye (Reuter, 2012).

De acuerdo a Reuter (2012) en las imágenes espaciales, las deformaciones más frecuentes pueden agruparse en cuatro apartados: distorsiones originadas por la plataforma, distorsiones provocadas por la rotación terrestre,

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 14 de 45

distorsiones provocadas por el sensor y distorsiones provocadas por la atmósfera. Chuvieco (1995) establece que son múltiples las fuentes de error que pueden presentar las imágenes satelitales captadas con los diferentes sensores. Entre las fuentes más representativas de error se encuentran las descritas a continuación:

Corrección radiométrica:

Según Chuvieco (1995), las correcciones radiométricas son técnicas que, a partir de los ND (entiéndase los ND como valores numéricos denominados niveles digitales que el satélite obtiene a partir de la energía recibida mediante una ecuación lineal), determinan los valores de reflectancia de los objetos captados por los sensores. En otras palabras, Reuter (2012) define este tipo de corrección como aquella que usa técnicas que modifican de alguna forma los ND originales, con objeto de acercarlos a los que habría presentes en la imagen caso de una recepción ideal.

A la corrección radiométrica se incluyen los derivados al mal funcionamiento del sensor y las interferencias ejercidas en la radiación por los efectos atmosféricos. Se aplica para corregir el valor de la energía detectada de cada píxel (Gasca y Jiménez, 2012).

Corrección geométrica:

Una imagen de satélite, al igual que cualquier fotografía aérea, no proporciona información georreferenciada; cada píxel se ubica en un sistema de coordenadas arbitrario de tipo fila-columna. El proceso de georreferenciación consiste en dotar a cada píxel su localización en un sistema de coordenadas estándar (planas o geográficas) para poder de este modo, combinar la imagen de satélite con otro tipo de capas en un entorno SIG.

Esta corrección constituye cualquier tipo de cambio en la posición que en un principio ocupaban los píxeles de la imagen. Se aplica para solucionar las deformaciones en las imágenes (Gasca y Jiménez, 2012).

Por último, se pueden presentar errores en el momento de la interpretación visual de la imagen. La interpretación de imágenes aéreas y espaciales a menudo se aparta de la imagen cotidiana de interpretación, teniendo en cuenta tres aspectos: 1. La representación de las características de una perspectiva vertical aérea, a menudo desconocida; 2. El uso frecuente de ondas longitudinales fuera de la parte visible del espectro y 3. La descripción de la superficie de la tierra a escalas y resoluciones desconocidas (Campbell y Wynne, 2011). Si bien estos factores pueden ser insignificantes para el intérprete de imágenes experimentado, puede representar un desafío sustancial para el analista novato (Lillesand y Kiefer, 1994).

3.5 Consulta a expertos

Para tener mayor certeza de los resultados obtenidos durante la delimitación de cada uno de los glaciares se desarrolla un proceso de retroalimentación, donde se solicita el concepto de expertos que puedan apoyar al grupo de profesionales teniendo en cuenta sus conocimientos y experiencias en campo en cada uno de los sitios de estudio; si durante el proceso se producen cambios, el intérprete los adecuará y procederá a revisar el proceso de la delimitación manual.

Las consultas a los expertos se realizan vía correo electrónico, llamadas telefónicas o mediante reuniones presenciales o virtuales. Todas las solicitudes con sus correspondientes respuestas al igual que los archivos obtenidos durante el proceso se salvaguardan en la carpeta destinada para tal fin.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 15 de 45

Las entidades más pertinentes a las cuales se les solicita la consulta son:

- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales.
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Parque Nacional Natural El Cocuy.
- Parque Nacional Natural Los Nevados.
- Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta.

3.6 Almacenamiento de datos en cuadro de salida

El profesional debe, una vez realizado el cálculo completamente, dar cierre al archivo de datos mediante la actualización de la base de datos de la operación estadística, todo lo cual está especificado en la *Metodología de la operación estadística área y cambio cobertura glaciar*.

3.7 Reglas de validación y consistencia para el cálculo

El proceso de validación y consistencia permite a los profesionales encargados de la operación estadística “Área y cambio de cobertura glaciar”, garantizar que los resultados generen confianza en los usuarios y se conviertan en instrumento de toma de decisiones para los responsables de la gestión ambiental en el país. Para esta operación estadística se establecieron reglas de validación e inconsistencias conforme las características de las variables a determinar. A continuación, se presentan las reglas de toma de decisiones en la validación de los datos.

- a) En la selección de imágenes de satélite: Se deben tener en cuenta los factores que constituyen los criterios mínimos tales como calidad de la imagen (resolución espacial, espectral y radiométrica) , baja o nula nubosidad, baja o nula presencia de nieve y preferiblemente una fecha de adquisición en temporada seca; se deben seleccionar imágenes ópticas con las características mencionadas anteriormente en los prerequisites.
- b) Combinación de bandas espectrales: Para una mejor visualización de la imagen al momento de la interpretación visual es importante generar compuestos de falso color con contraste mejorado utilizando las bandas equivalentes de TM 3, 2, 1; 4, 3, 2; y 5, 4, 3 como RGB, respectivamente, tal como se indica en el método de clasificación o delineación manual.
- c) Metodología de relación de bandas: Al momento de obtener el resultado final de la delimitación del área glaciar por la metodología de relación de bandas, se debe realizar una verificación del resultado, debido a que la superficie del glaciar está compuesta de hielo desnudo, nieve, tierra / escombros / rocas, agua líquida y ceniza; todo ello en condiciones de iluminación muy variable lo que puede alterar el resultado.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 16 de 45

4. DOCUMENTOS RELACIONADOS

- Manual para la nomenclatura de archivos, objetos y atributos de los productos geográficos del Ideam. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2020.
- Procedimiento de seguimiento a la dinámica glaciar en Colombia. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2021
- Plan general para la operación estadística área y cambio cobertura glaciar. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2022.
- Metodología de la operación estadística área y cambio cobertura glaciar. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2022
- Ficha metodológica de la operación estadística área y cambio cobertura glaciar. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2022.
- Guía de entrenamiento para el cálculo de la área y cambio de cobertura glaciar. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2022.

5. BIBLIOGRAFÍA

Alpala, R., (2016). Evolución del glaciar del volcán nevado del Huila a través del tratamiento de imágenes satelitales (1987-2016).

Bustos, O. H. (2014). Introducción a los procesos markovianos en el análisis y procesamiento de imágenes. CIEM, FaMAF, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. Guilford Press.

Cruz, A., (2020). Análisis morfométrico del retroceso glaciar en el volcán nevado del Tolima mediante el uso de imágenes satelitales y aerofotografías (1959-2020). Tesis de pregrado. Universidad Sergio Arboleda.

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de la Teledetección Ambiental (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones Rialp, S.A. Recuperado octubre 2021

De Feo, M., Gobbo, D., & Moralejo, R. (2013). Hacer arqueología desde las alturas. Revista Museo, 26, 23-30.

Earth Observing System. (octubre de 2021). Earth Observing System. Obtenido de EOS: <https://eos.com/ndsi/es/> , <https://eos.com/es/blog/resolucion-espacial/>

Gasca, C., Jiménez, E., (2012). Técnicas de teledetección en el estudio de los cambios medioambientales que se producen en la criosfera. Universidad Politécnica de Cataluña.

Grupo de trabajo 1 del comité Conjunto de Guías en metrología (JCGM/WG1). (2018). Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. Obtenido de <https://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>

Gjermundsen, E., Mathieu, R., Käab, A., Chinn, T., Fitzharris, B., & Hagen, J. (2011). Assessment of multispectral glacier mapping methods and derivation of glacier area changes, 1978-2002, in the central Southern Alps, New Zealand, from ASTER satellite data, field survey and existing inventory data. Journal of Glaciology, 57(204), 667-683. doi:10.3189/002214311797409749.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 17 de 45

Hall, D. K., Ormsby, J. P., Bindshadler, R. A., and Siddalingaiah, H., 1987. Characterization of snow and ice zonas on glaciers using Landsat Thematic Mapper Data. *Annals of glaciology*, 9, 104-108. (A. F. Cruz Mendoza, Trad.).

Hall, D. K., Chang, A. T. C., and Siddalingaiah, H., 1988. Reflectances of glacier as calculated from the Landsat 5 Thematic Mapper data. *Remote sensing of Environment*, **25**, 311-321.

Hernández Palma, J. (2007). PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES. En J. Hernández, C. De la Maza, & C. Estados, Manejo y Conservación de Recursos Forestales (pág. 803). Santiago de Chile: Editorial Universitaria.

Instituto Geográfico Nacional. Centro Nacional de Información Geográfica. Teledetección. Madrid, España.

Instituto Nacional de Investigación en glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2017). Manual metodológico de inventario Nacional de Glaciares.

Kääb, A., Bolch, T., Casey, K., Heid, T., Kargel, J. S., Gregory, L. J., . . . Raup, B. H. (2013). Glacier Mapping and monitoring using multispectral data. En A. kääb, T. Bolch, K. Casey, T. Heid, J. S. Kargel, L. J. Gregory, . . . B. H. Raup, Mediciones globales de hielo terrestre desde el espacio (págs. 75-104). Springer: University of Zurich.

Kokaly, R. F., Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Hoefen, T. M., Pearson, N. C., . . . Klein, A. J. (2017). USGS Spectral Library (Vol. Versión 7). Obtenido de <https://doi.org/10.3133/ds1035>

Lillesand, T & Kiefer, R. (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. New York.

Manoj K, A., Aparna Shukla, & Ravi P, G. (2011). Digital Image Information Extraction Techniques for Snow Cover Mapping From Remote Sensing Data. En H. Björnsson, & J. Oerlemans, Encyclopedia of Snow, Ice and Glacier (A. F. Cruz Mendoza, Trad., pág. 1253). Springer.

Monterroso, M. Estimación del retroceso glaciar en el Parque Nacional Natural de los Nevados- PNNN- a través del uso de imágenes ópticas e interferometría diferencial -DINSAR- (2010-2015).

Muñoz, A. (2006). Teledetección, nociones y aplicaciones. Avila: Carlos Perez Gutierrez

Paul, F., Bolch, T., Kääb, A., Nagler, T., Nuth, C., Scharrer, K., Strozzi, T., Ticconi, F., Bhabri, R., Berthier, E., Bevan, S., Gourmelen, N., Heid, T., Jeong, S., Kunz, M., Lauknes, T., Luckman, A., Merryman Boncori, J., Moholdt, G., Muir, A., Neelmeijer, J., Rankl, M., VanLooy, J & Van Niel, T. (2015). The glaciers climate change initiative: Methods for creating glacier area, elevation change and velocity products. *Remote Sensing of Environment*, 162, 408-426.

Paul, F., Barrand, N., Baumann, S., Berthier, E., Bolch, T., & Casey, K. et al. (2013). On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data. *Annals Of Glaciology*, 54(63), 171-182. doi: 10.3189/2013aog63a296

Pellikka, P., Rees, G (2010). Remote sensing of glaciers: Techniques for Topographic, Spatial, and Thematic Mapping of Glaciers.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 18 de 45

Pérez Hernández, M. (2012). Estimación de incertidumbres. Guía GUM. Revista Española de Metrología, 1(3), 113-130.

Quintero, J. (2018). Cálculo de retroceso para los glaciares colombianos por medio de imágenes satelitales Sentinel 2 y MDT para el 2016-2017. Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Manizales-Colombia.

Rabatel, A., Letréguilly, A., Dedieu, J. P., & Eckert, N. (2013). Changes in glacier equilibrium-line altitude in the western Alps from 1984 to 2010: evaluation by remote sensing and modeling of the morpho-topographic and climate controls. The Cryosphere, 7(5), 1455-1471.

Reuter, F. (2002). Teledetección Forestal. Carpeta de Trabajos prácticos, 176p.

Sandoval, P., & González, J. (2012). Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia. Cali: Cenicaña.

Warren, J. W., & Stephen, G. W. (1980). A model for the spectral albedo of snow. I: Pure Snow. Journal of the Atmospheric Sciences, 2712 - 2733.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 19 de 45

ANEXO 1

BÚSQUEDA Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATÉLITE

1. OBJETIVO

Proporcionar la metodología para la búsqueda y el procesamiento de imágenes de satélite para el cálculo periódico del área glaciar en Colombia en un momento determinado.

2. DESARROLLO

2.1 BÚSQUEDA Y DESCARGA DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Las imágenes de los satélites Sentinel del programa Copernicus, tanto para territorio nacional como europeo e internacional están a disposición del público general con acceso libre y gratuito. Los satélites que proporcionan estas imágenes son:

- Sentinel-1, que proporcionan imágenes radar terrestres y oceánicas.
- Sentinel-2, que proporcionan imágenes ópticas terrestres, están disponibles como productos nivel 1C (corregidos radiométrica y geométricamente) y nivel 2A (corregido atmosféricamente).
- Sentinel-3, proporciona servicios globales de vigilancia terrestre y oceánica. (*Instituto Geográfico Nacional, Madrid-España*)

Para realizar la búsqueda de imágenes Sentinel, se ingresa a la página web <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> :

- El primer paso es el registro, es necesario tener un usuario y una contraseña para poder realizar la descarga de las imágenes.



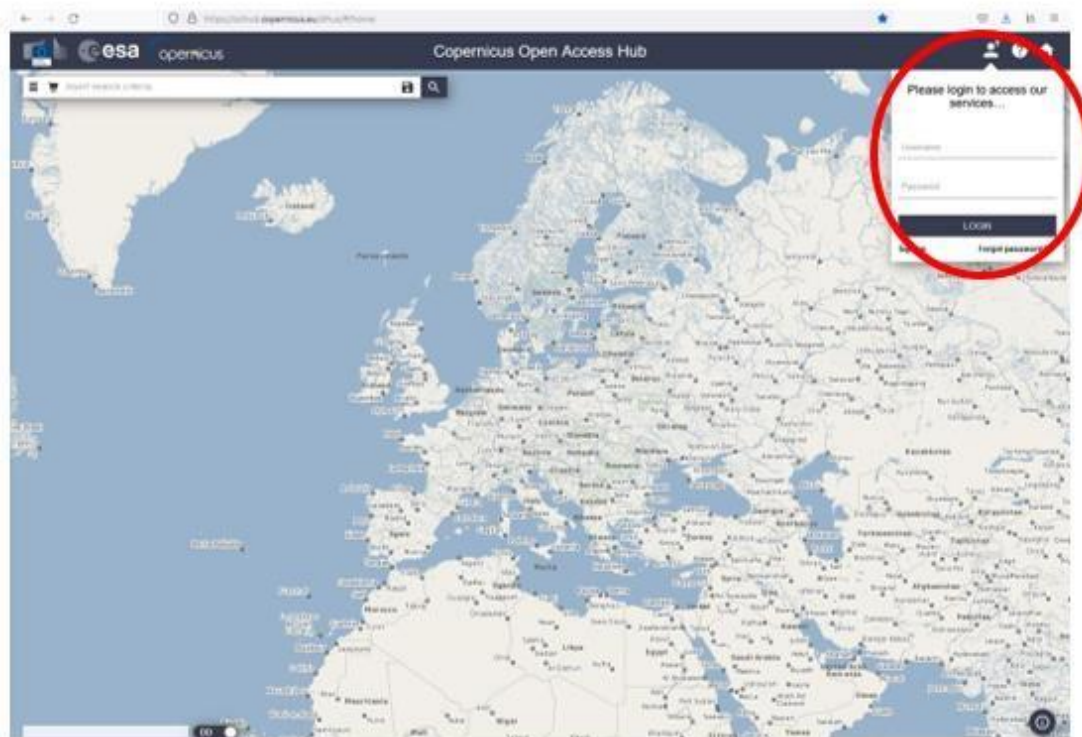
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 20 de 45



- Seleccione la herramienta para poder seleccionar el área de interés:



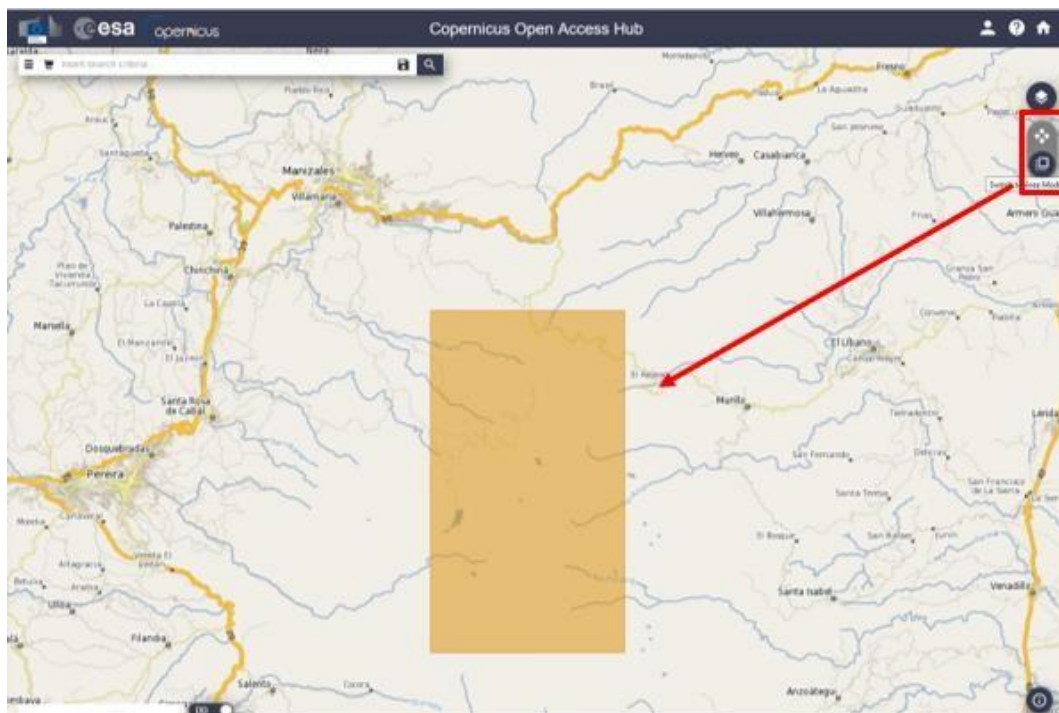
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 21 de 45



- Una vez seleccionada la zona de interés, realice la búsqueda de las imágenes ingresando al menú de búsqueda y completar los campos necesarios:



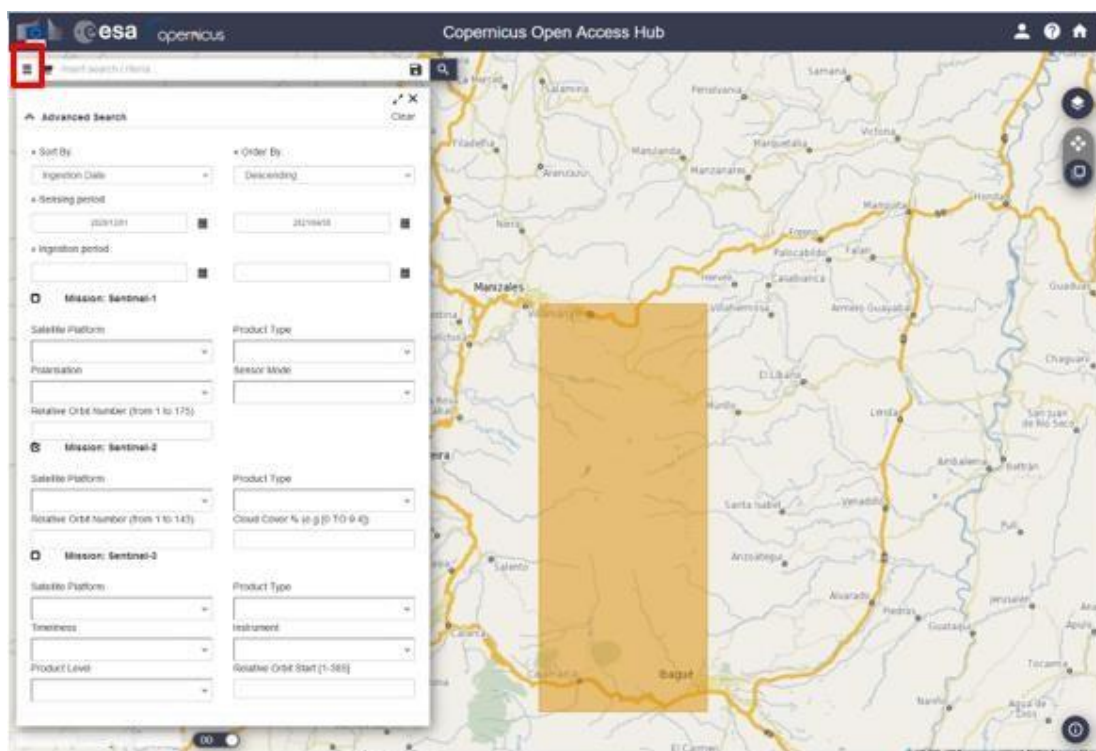
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 22 de 45



- Una vez se completan los campos necesarios, hacer click a la opción buscar  y se desplegará una ventana con las imágenes disponibles.



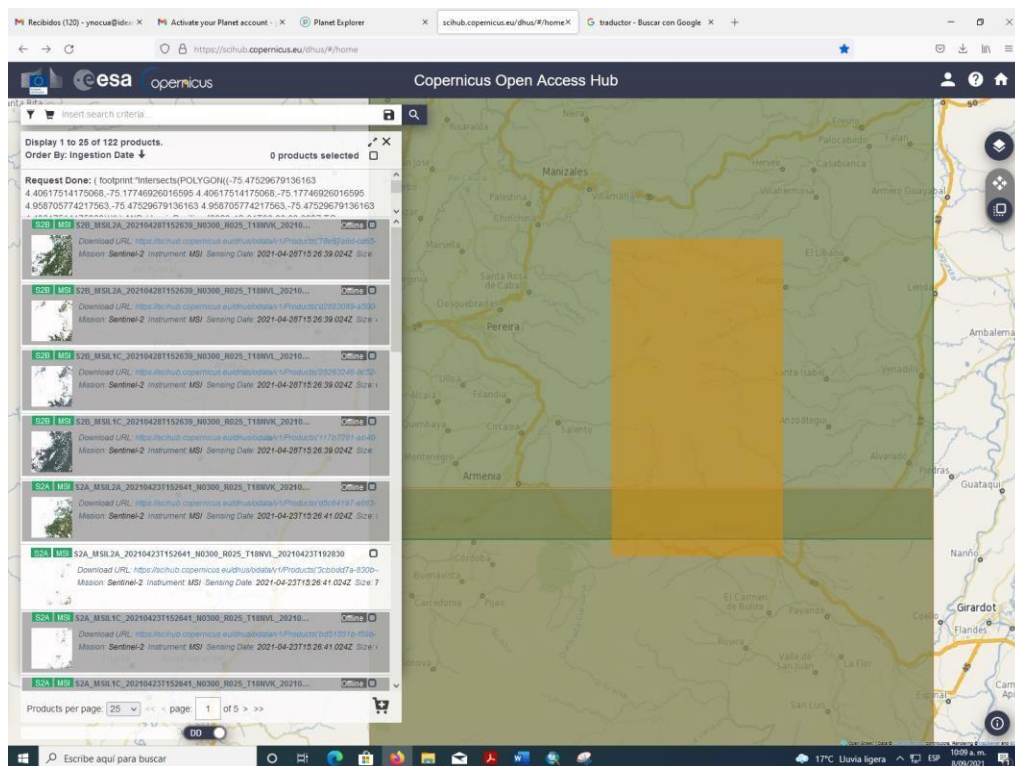
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

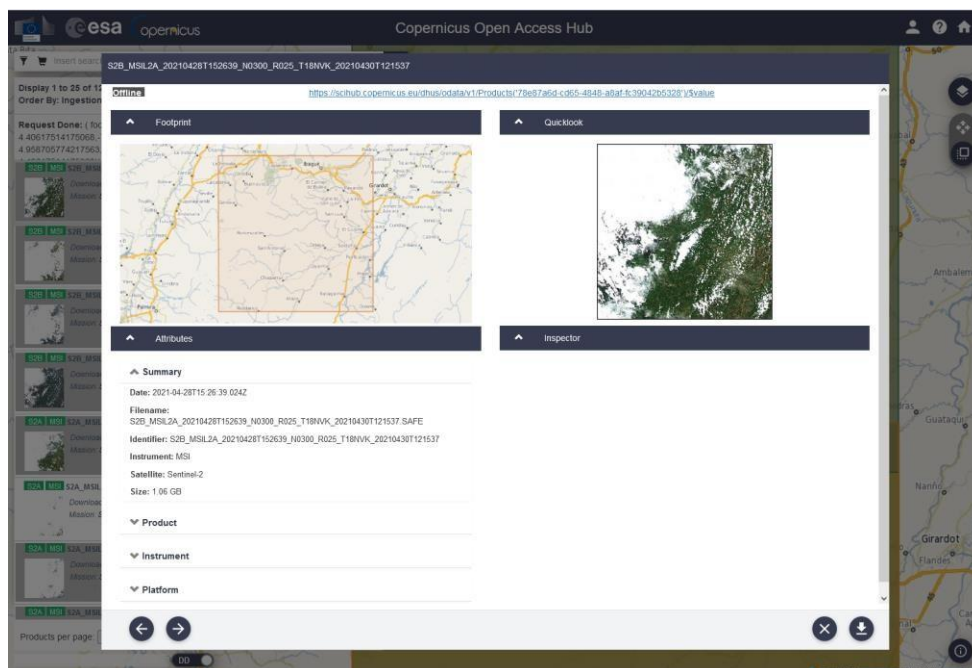
Fecha: 11/07/2025

Página: 23 de 45



- En la opción “ver detalles del producto”  se podrán ver las características técnicas de cada imagen junto con una vista rápida de la escena seleccionada.

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 24 de 45



- En el caso de que la imagen que se quiera descargar aparezca “**Offline**”, se debe guardar la imagen en el carro  para solicitar la descarga en la plataforma, y esperar a que ésta sea autorizada.
- Una vez se apruebe la descarga de la imagen se desplegarán las opciones, aquí ya se puede realizar la descarga.



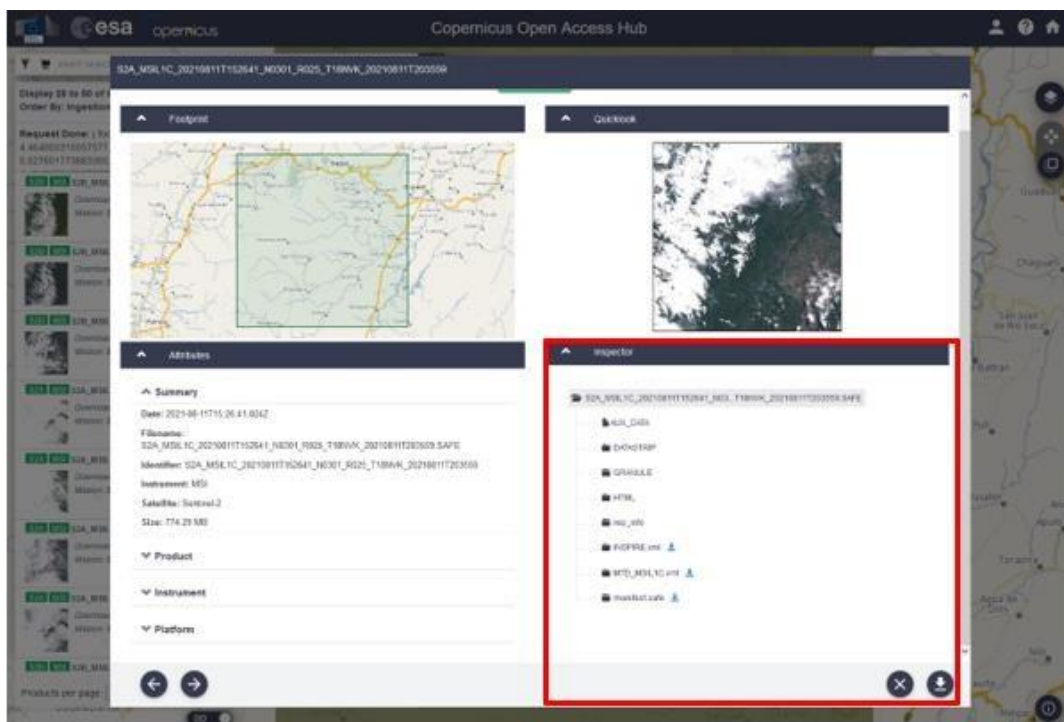
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 25 de 45



2.2 Visualización y procesamiento de las imágenes Sentinel en el software ERDAS

- Para visualizar las imágenes en el software Erdas se debe ingresar a “File”- “Open”- “Raster Layer” y buscar la ubicación donde se guardó la imagen.



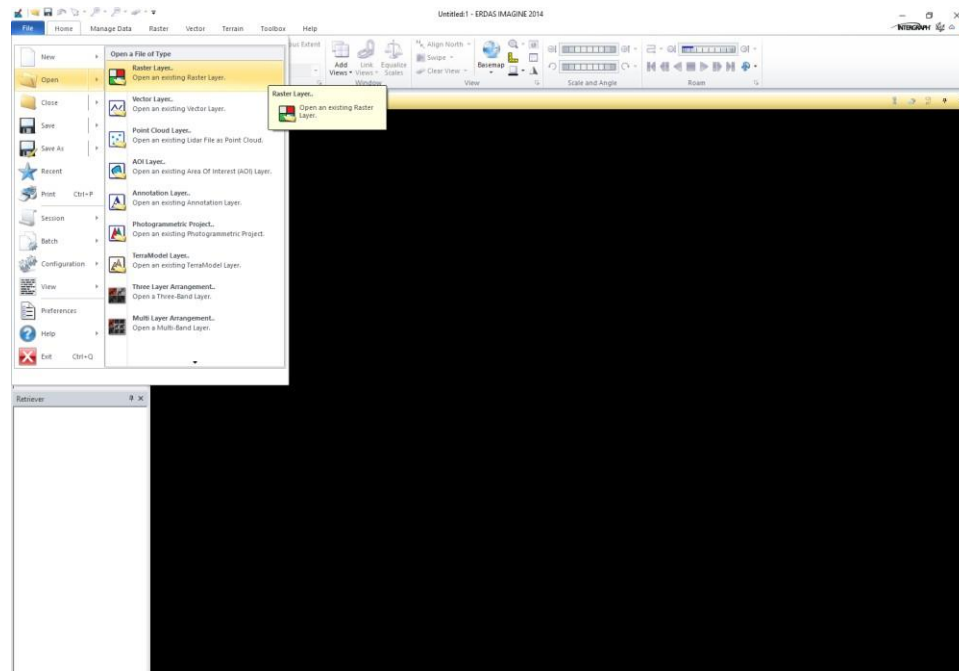
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

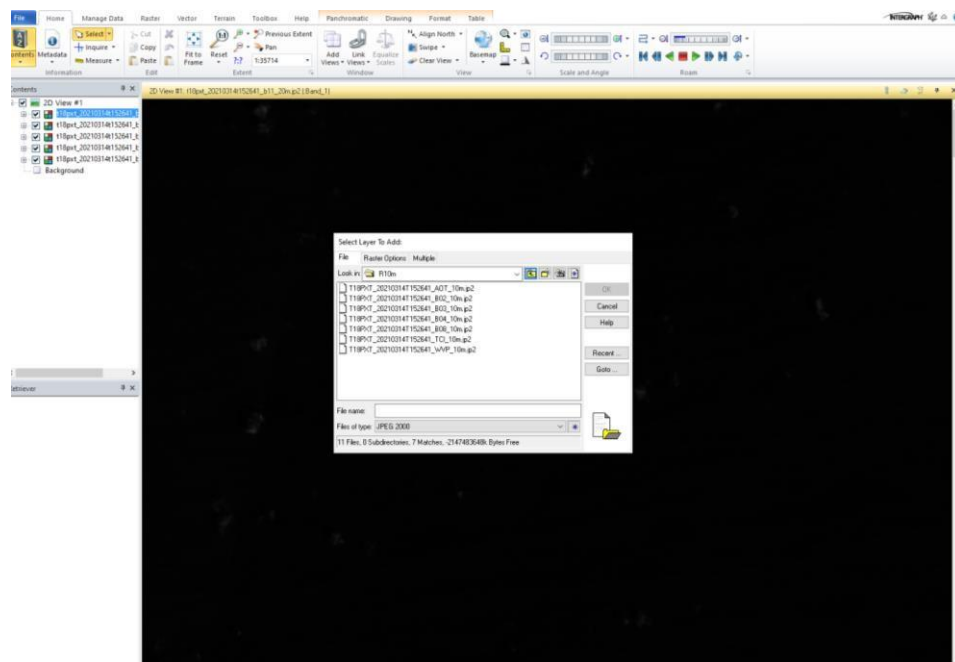
Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 26 de 45



- Seleccionar las bandas: b2, b3, b4, b8 y b11.



- Una vez cargadas las bandas hacer click en la opción “Fit to Frame”



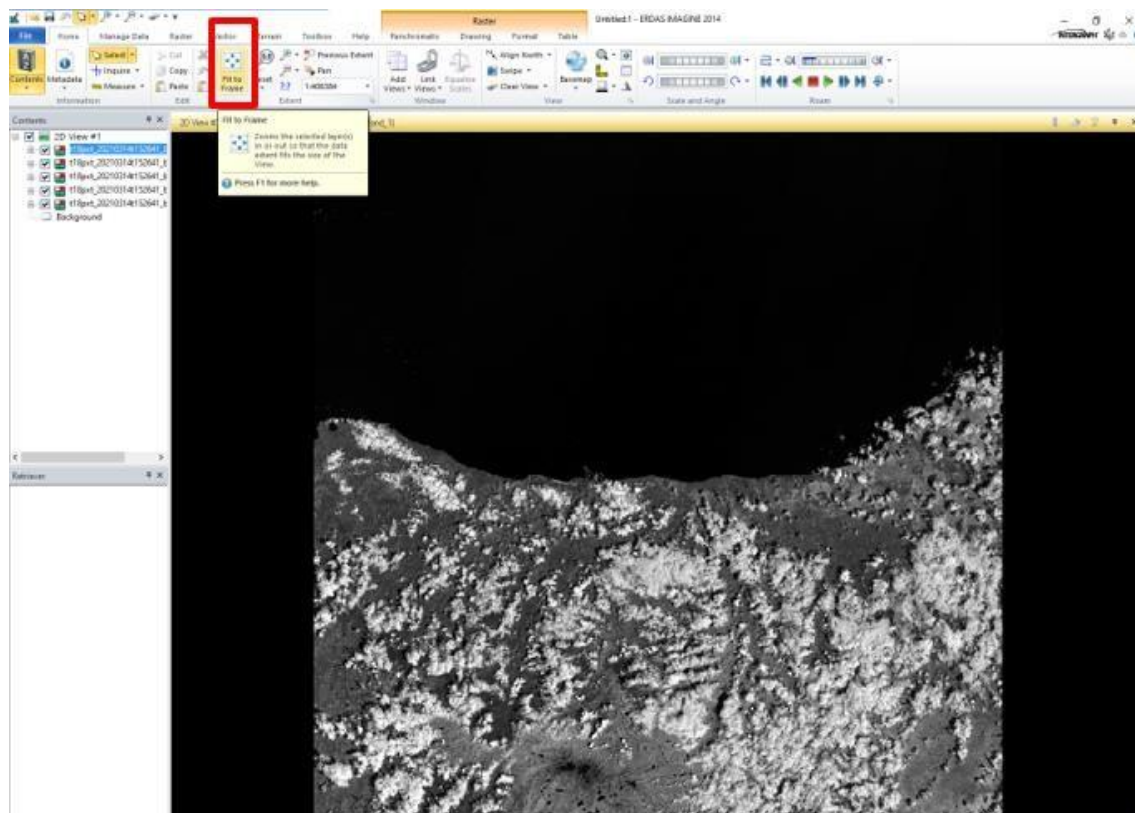
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 27 de 45



Debido a que la banda 11 de la imagen seleccionada se encuentra a una resolución mayor que las otras bandas, se procede a re muestrear o a cambiar el valor de los píxeles de 20m a 10m a la b11.

- En la pestaña “**Raster**”- “**Reproject**”



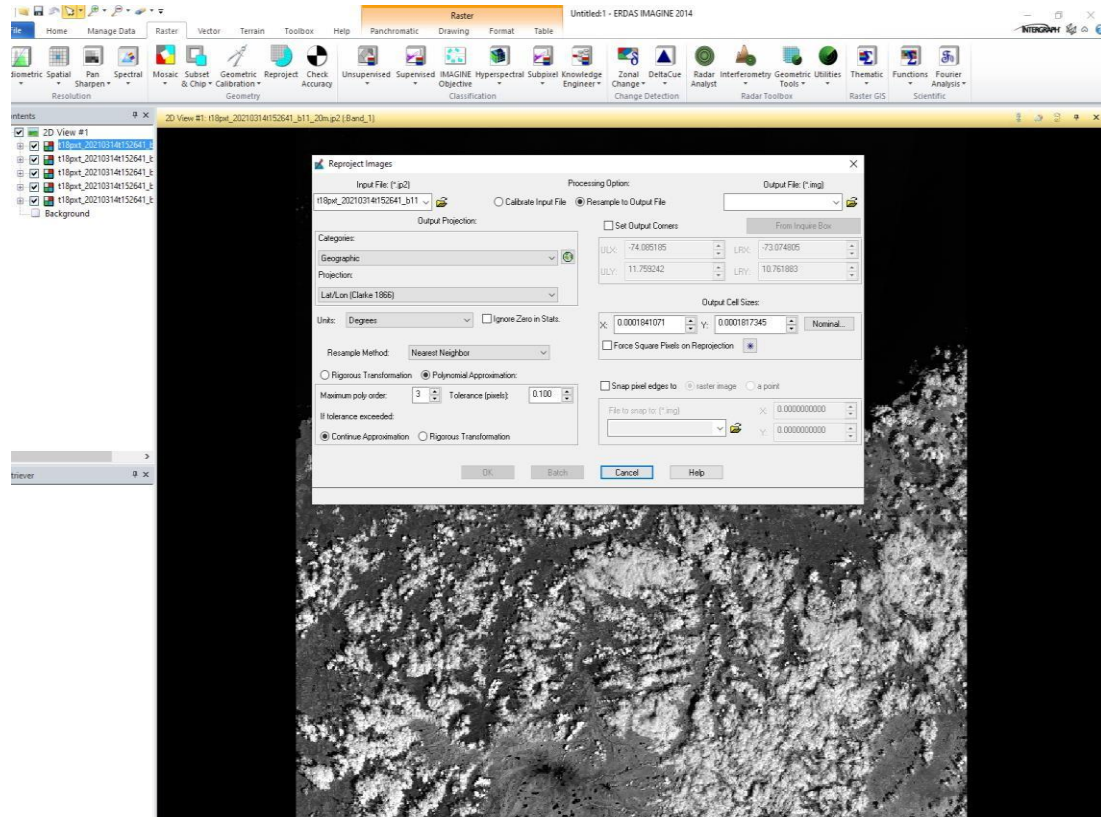
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 28 de 45



- ✓ En la pestaña “**Input File**” seleccionar la banda a re muestrear (b11).
- ✓ En la sección “**Output Projection**” seleccionar para “**Categories**” la opción “**UTM WGS 84 North**” y en “**Projection**” la opción “**UTM Zone 18 (Range 78W – 72W)**” la cual se maneja generalmente para Colombia.
- ✓ En la sección “**Output Cell Size**” cambiar el tamaño del píxel de la imagen a 10 metros.
- ✓ En la pestaña “**Output File**” seleccionar la carpeta donde se va aguardar la banda 11 re muestreada.
- ✓ Dar click en “**OK**” y cargar el resultado.



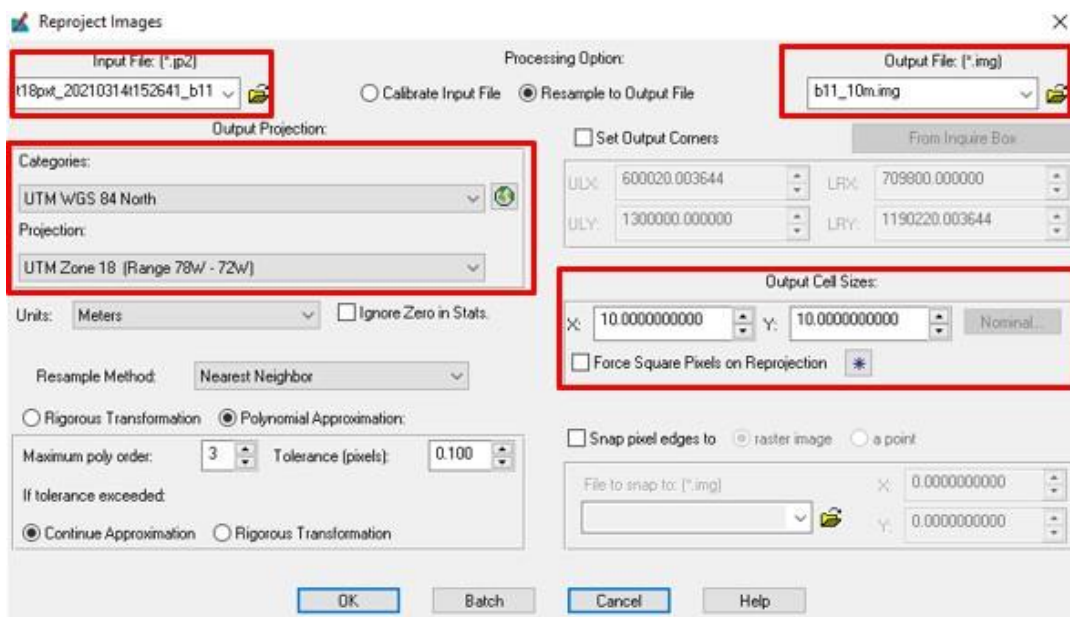
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

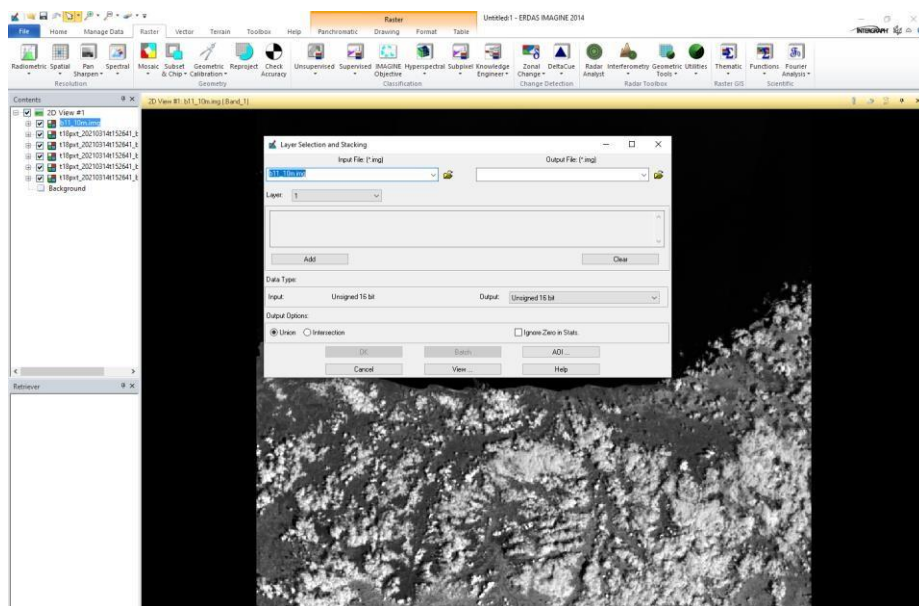
Fecha: 11/07/2025

Página: 29 de 45



- Ahora se procede a cargar las imágenes o bandas para formar una imagen multibanda de la siguiente manera:

✓ Seleccionar la pestaña “**Raster**” - “**Spectral**” - “**Layer Stack**”



- ✓ En la venta “**Layer Selection and Stacking**”, en la sección “**Input File**” adicionar las bandas una por una de menor a mayor, no olvidar cargarla banda 11 re muestreada en el paso anterior.
- ✓ En la pestaña “**Output File**” seleccionar la carpeta donde se van a salvaguardar los datos.



GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

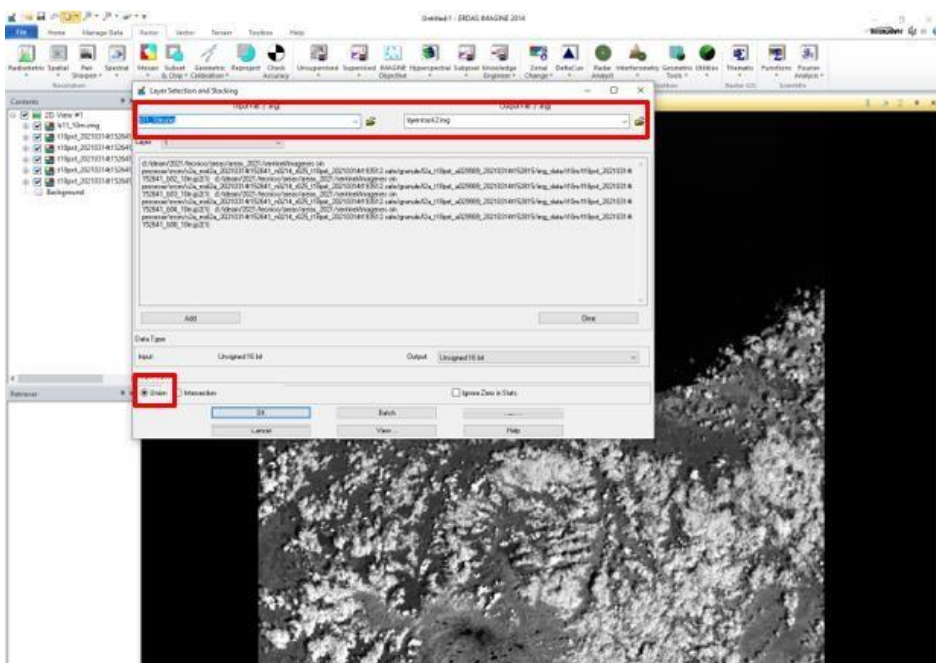
Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

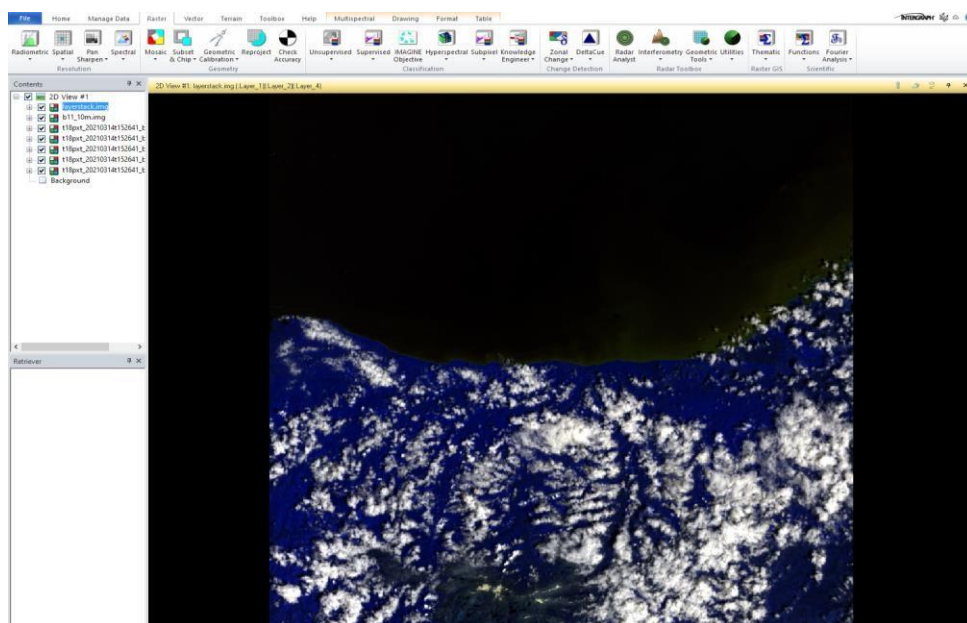
Fecha: 11/07/2025

Página: 30 de 45

- ✓ En la sección “**Output Options**” seleccionar la opción “**Unión**” y dar click en “**OK**”.

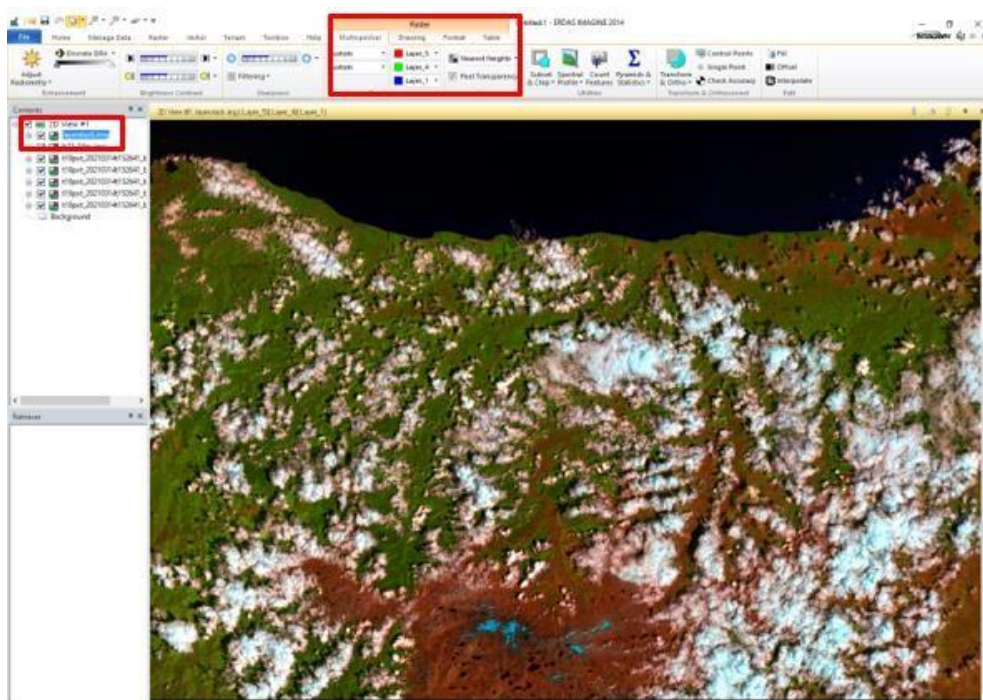


- Cargar la imagen multibanda resultante.



	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 31 de 45

- Una vez cargada la imagen multibanda se selecciona y se podrá ver que se activan las opciones de edición para el ráster, en la pestaña “Multispectral” se realiza la combinación Layer_5, Layer_4, Layer_3 para la posterior visualización de las superficies glaciares:



- Para visualizarla en color verdadero usamos la combinación Layer_3, Layer_2, Layer_1



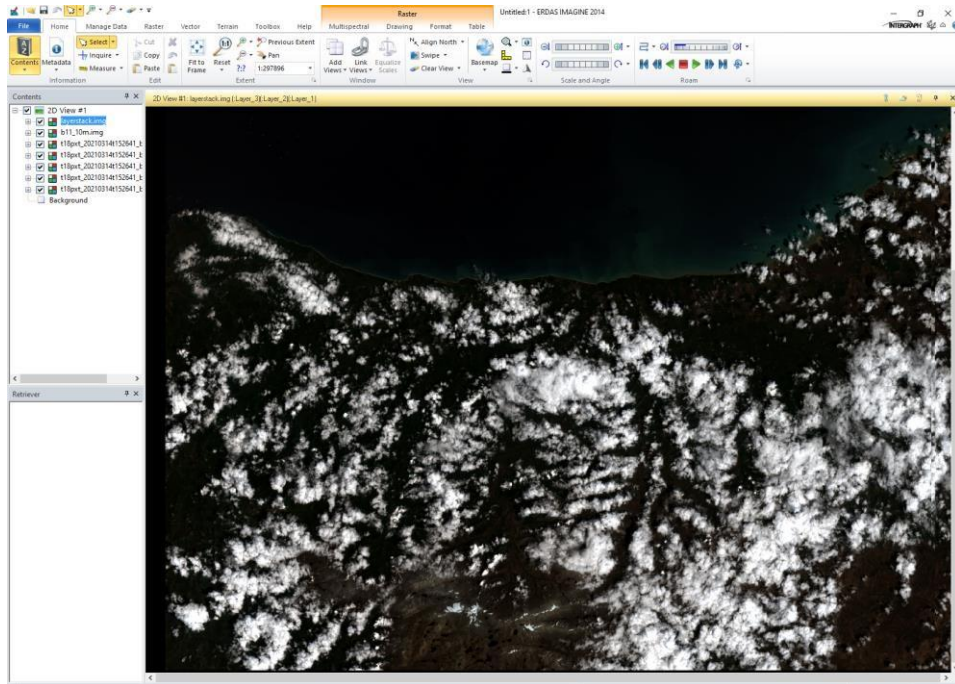
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03
--

Fecha: 11/07/2025

Página: 32 de 45



NOTA: Al generar la multibanda el software combina las bandas quedando de la siguiente manera:

Bandas Sentinel 2	Layer Stack ERDAS
B2	Layer_1
B3	Layer_2
B4	Layer_3
B8	Layer_4
B11	Layer_5

Relación de bandas en el Layer stack. (Quintero, Joan Sebastián, 2018)

- Para la delimitación de la zona de interés:
- ✓ Hacer click en la herramienta “**Inquire**” – “**Inquire Box**” y seleccionar la zona de interés.



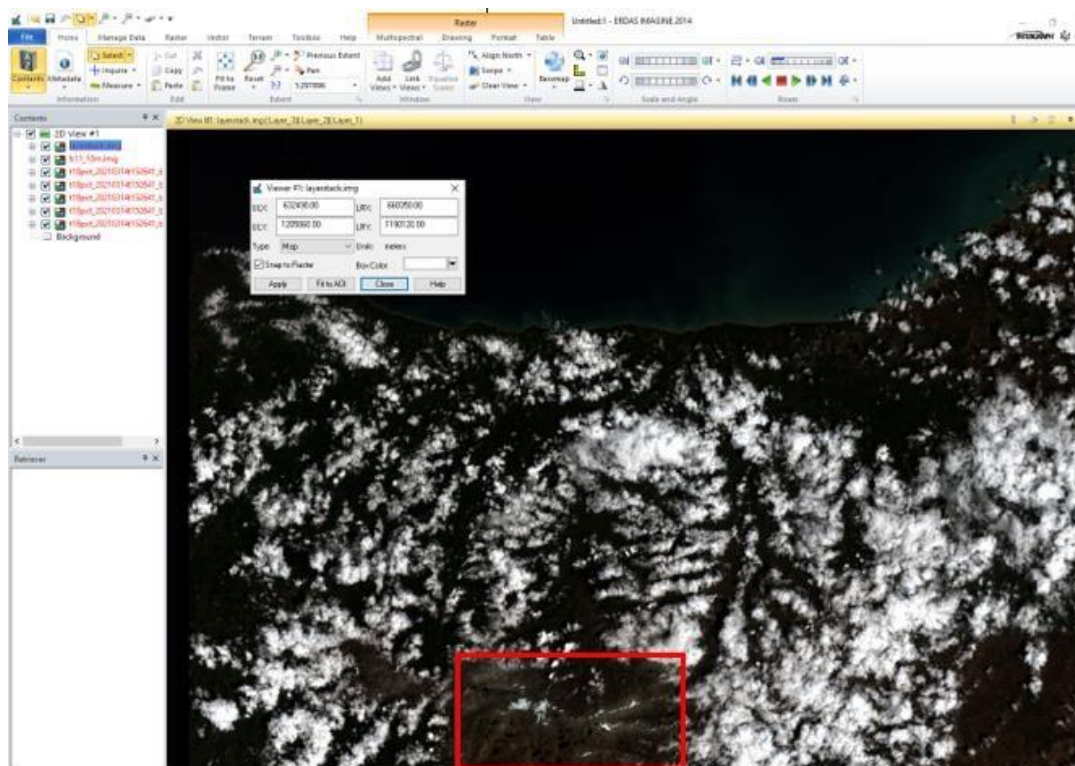
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 33 de 45



- ✓ En la pestaña “**Raster**” seleccionar la opción “**Subset & Chip**” – “**Create Subset Image**”.



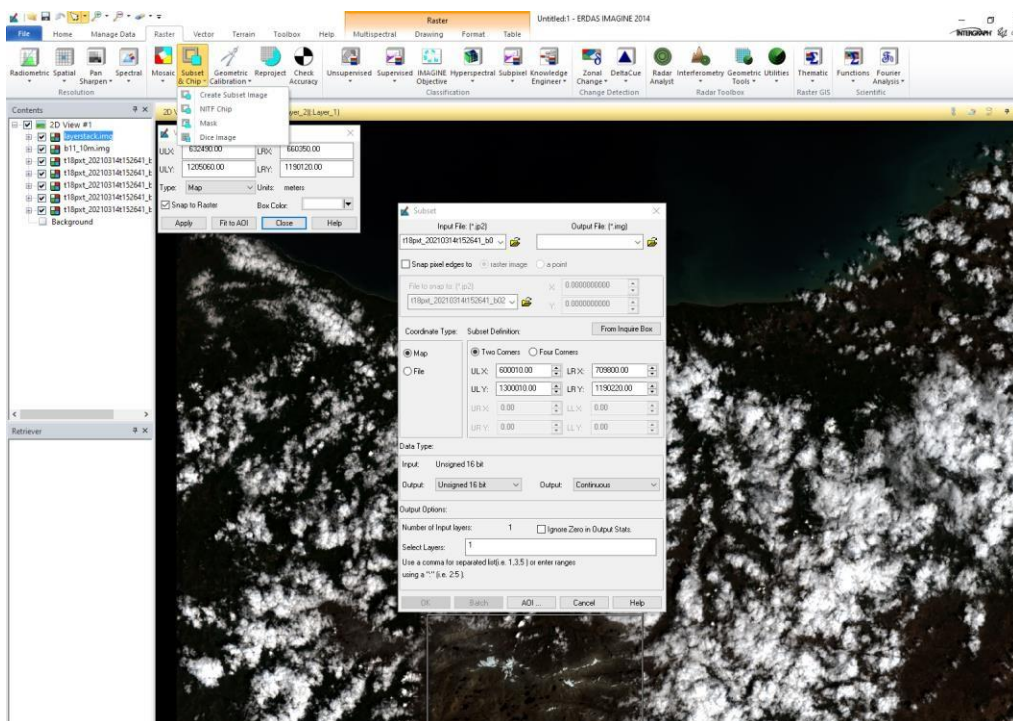
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 34 de 45



- ✓ En la ventana “**Subset**” seleccionar en la opción “**Input File**” el ráster multibanda generado anteriormente y en la opción “**Output File**” seleccionar la ubicación donde se guardará el recorte de la zona de interés.
- ✓ En la sección “**Subset definition**” se cambian las coordenadas X, Y por las de la delimitación generada anteriormente en el “**From Inquire Box**” y finalmente click en “**OK**”



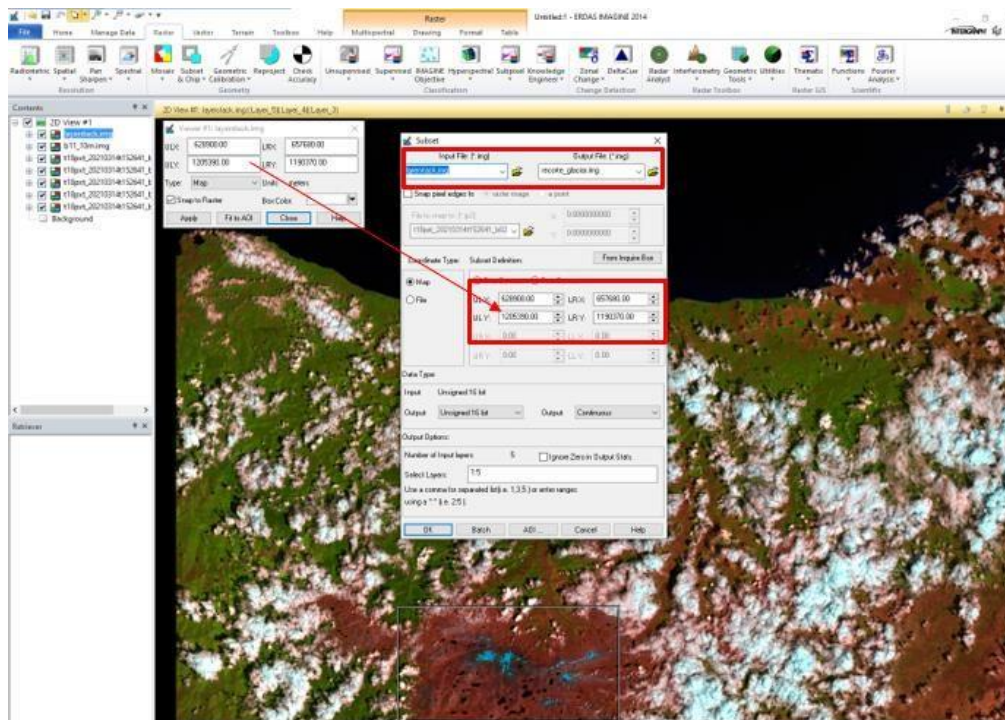
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

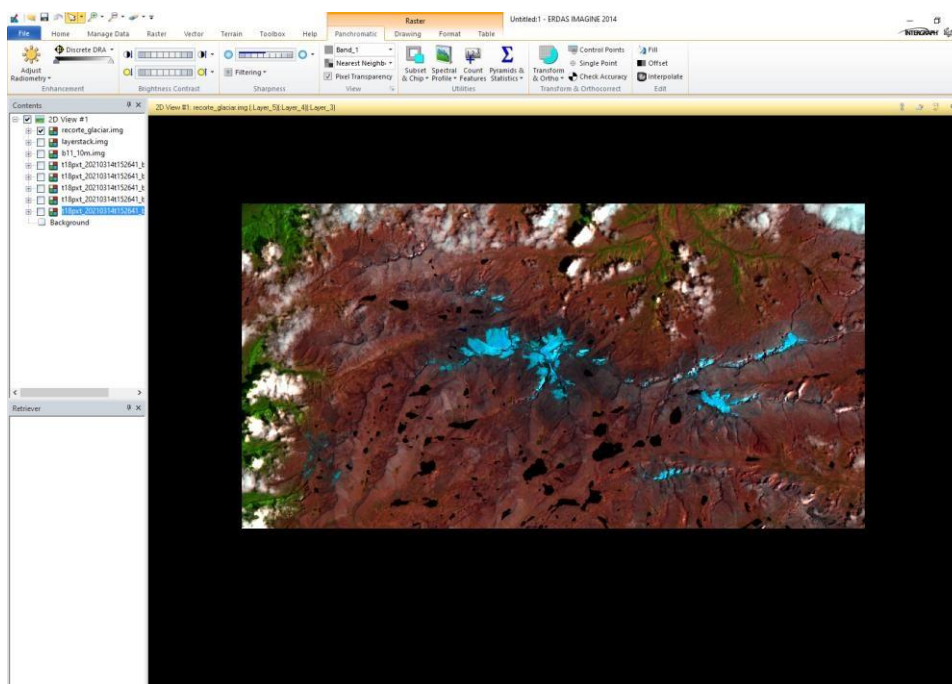
Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 35 de 45



✓ Cargar la imagen resultante.



	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 36 de 45

ANEXO 2

Delimitación del área glaciar en el software ArcGis Metodología de relación de bandas o band ratio

1. OBJETIVO

Proporcionar una guía para la delimitación del área glaciar mediante el uso del software ArcGis con la metodología de relación de bandas o band ratio para el cálculo periódico del área glaciar en Colombia en un momento determinado, así como el cambio de la superficie glaciar entre dos periodos.

2. DESARROLLO

2.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA GLACIAR EN EL SOFTWARE ARCGIS - METODOLOGÍA DE RELACIÓN DE BANDAS (BAND RATIO)

Los glaciares y sus cambios se monitorean cada vez más desde una amplia gama de sensores satelitales. Debido a la ubicación a menudo remota de los glaciares en terrenos inaccesibles y de alta montaña, las observaciones satelitales complementan muy bien las mediciones realizadas en tierra, además de que proporcionan características de los glaciares que son difíciles de monitorear desde el suelo. (Frank Paul et al. 2013).

La metodología de relación de bandas es un método que utiliza la división de pixel a pixel de dos bandas de una imagen con el objetivo de maximizar el contraste espectral entre la capa de nieve y otras capas como: rocas, suelo y agua (Manoj et al. 2011) mejorando las características de la nieve (e.g., Hall et al. 1987; Hall et al. 1988; Jacobs et al. 1997), siendo muy usada debido a que reduce los efectos de variables como la iluminación solar, la topografía y variaciones de la intensidad causada por las sombras.

Es por ello que el IDEAM decide basado en múltiples estudios anteriores seleccionar la metodología de relación de bandas y la metodología de interpretación visual para la delimitación del área glaciar en Colombia.

A continuación, se describe el procesamiento de imágenes de satélite Sentinel 2 en el software ArcGis por medio de la metodología de relación de bandas:

El procedimiento descrito a continuación es a partir de un previo procesamiento de la imagen descrito en el Anexo 1. BÚSQUEDA Y PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE, donde se hace un re muestreo de la banda 11 y se crea una multibanda para poder visualizar de mejor manera la imagen.

1. En el software ArcGis cargar el ráster multibanda y por separado el Layer_3 (b4) y el Layer_5 (b11) de la imagen.



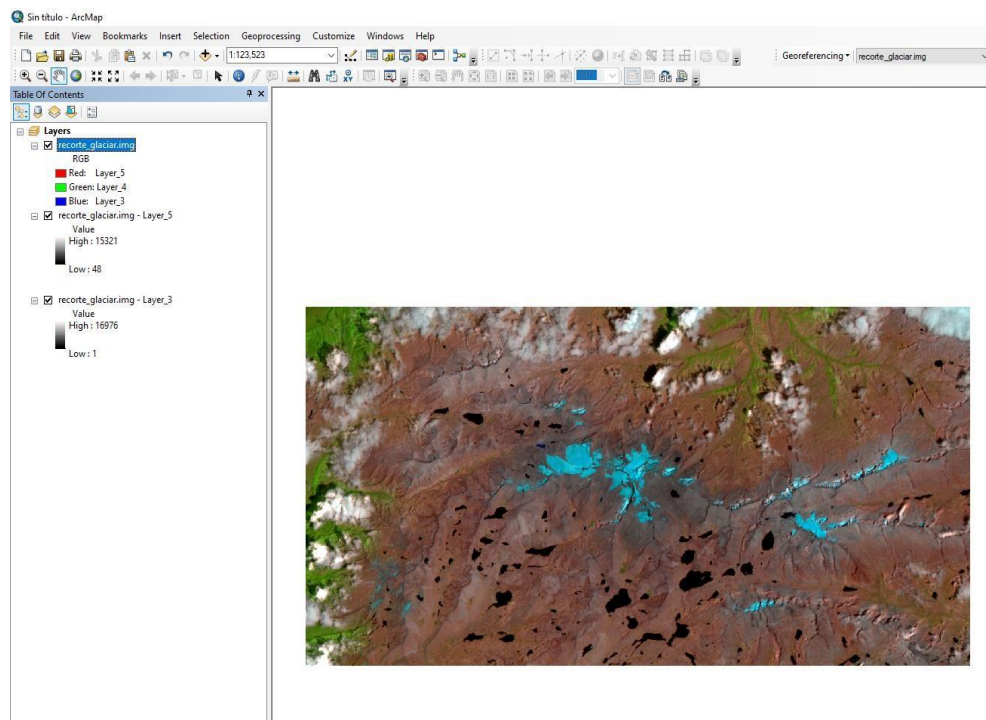
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 37 de 45



2. A continuación, para realizar la metodología de relación de bandas (band ratio); en el Arctoolbox del software ArcGIS seleccionar la opción **“Spatial Analyst Tools” - “Map Algebra” - “Raster Calculator”**



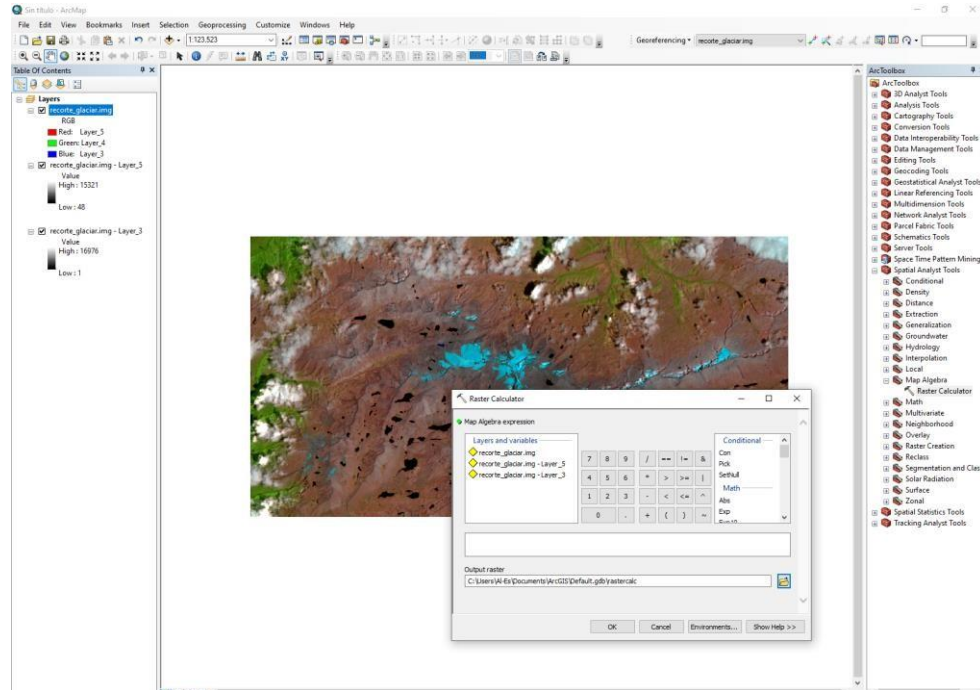
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 38 de 45



3. En la ventana “Raster Calculator” aplicar la fórmula para la relación de bandas:

$$\text{Band Ratio} = \frac{\text{Float}(\text{banda}_x)}{\text{Float}(\text{banda}_y)}$$

Donde:

Banda _x corresponde a la banda 4 (b4) o Layer_3 de alta reflectancia.

Banda _y corresponde a la banda 11 (b11) o Layer_5 de baja reflectancia.

Tener en cuenta que al momento en que se generó el ráster multibanda el Layer_3 corresponde a la banda 4 y el Layer_5 a la banda 11.

4. El resultado es un ráster en escala de grises donde se observa la diferencia de reflectancia entre las bandas 4 y 11. El color blanco hace referencia al área glaciar.



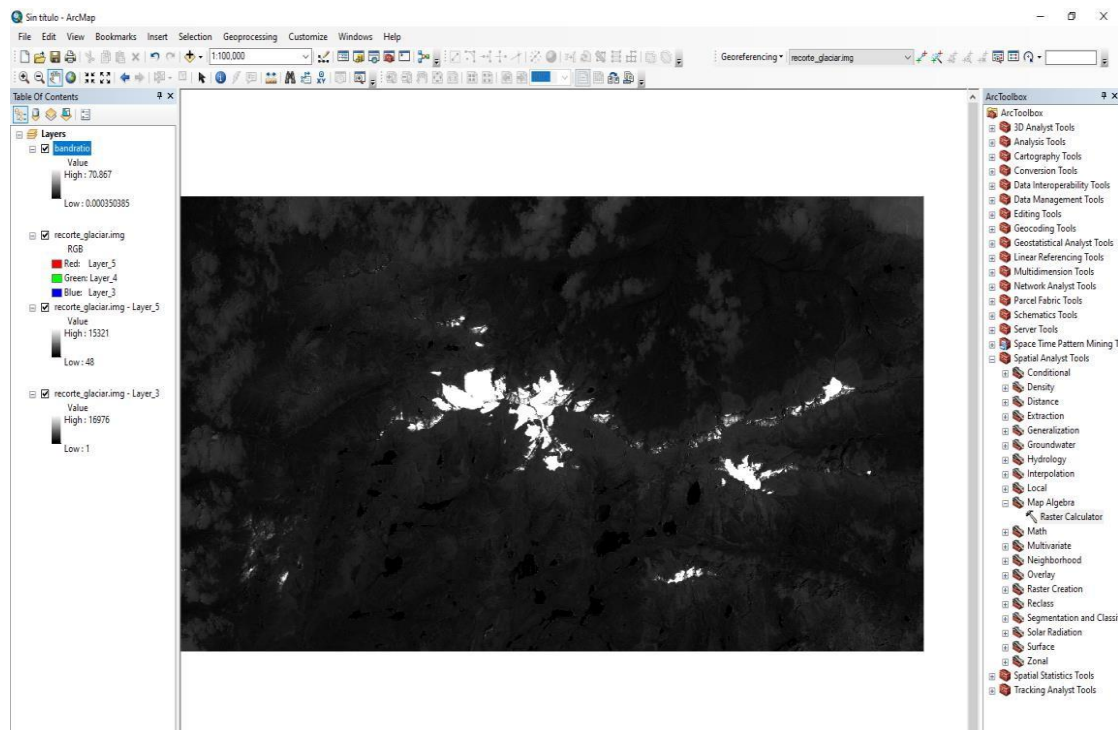
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 39 de 45



5. Para extraer las áreas con cobertura glaciar, se debe definir un umbral o Threshold para determinar el valor promedio de los píxeles que definen el límite del glaciar. Dicho proceso se realiza con la herramienta **"Identify"**.

El consejo general para la selección del umbral es utilizar un valor que minimice la carga de trabajo para el post-procesamiento (es decir, las correcciones necesarias en las regiones de sombra). Los valores correctos se encuentran seleccionando primero el umbral para la relación de banda y luego optimizando el valor TM1 (para los sensores ASTER y SPOT, las bandas verdes también funcionan). Al comparar los contornos de los glaciares de diferentes umbrales, el valor correcto es donde se mapea la mayor parte del hielo (es decir, hacia valores de umbral bajos). (Frank Paul et al. 2013).



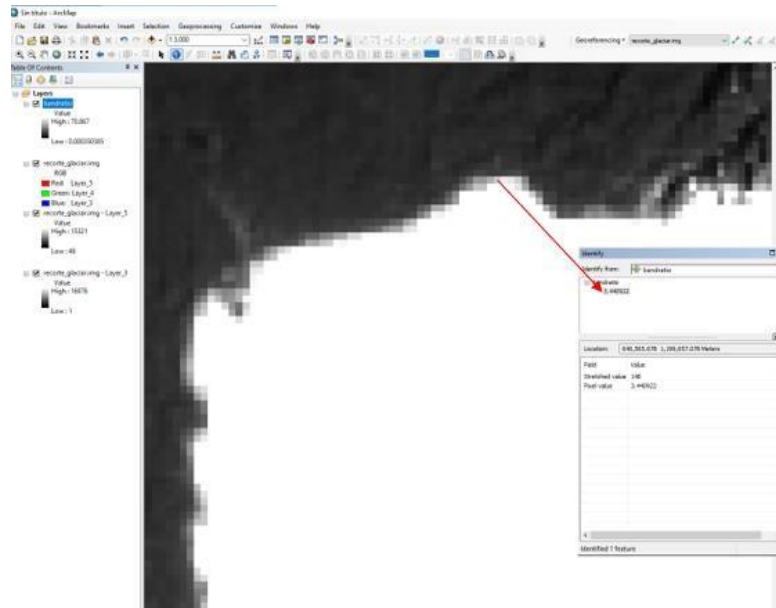
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 40 de 45



6. Se recomienda determinar varios threshold con el fin de seleccionar el que mejor se adapte al límite glaciar.
7. Una vez identificado el valor del píxel, en la herramienta "Raster Calculator" se le asignará un valor a los píxeles que posean un valor inferior al threshold previamente seleccionado. Para ello, se aplica la fórmula "Band_ratio">x, donde Band_ratio es el resultado obtenido anteriormente con la relación de las bandas 4 y 11 y x es el valor de threshold identificado.



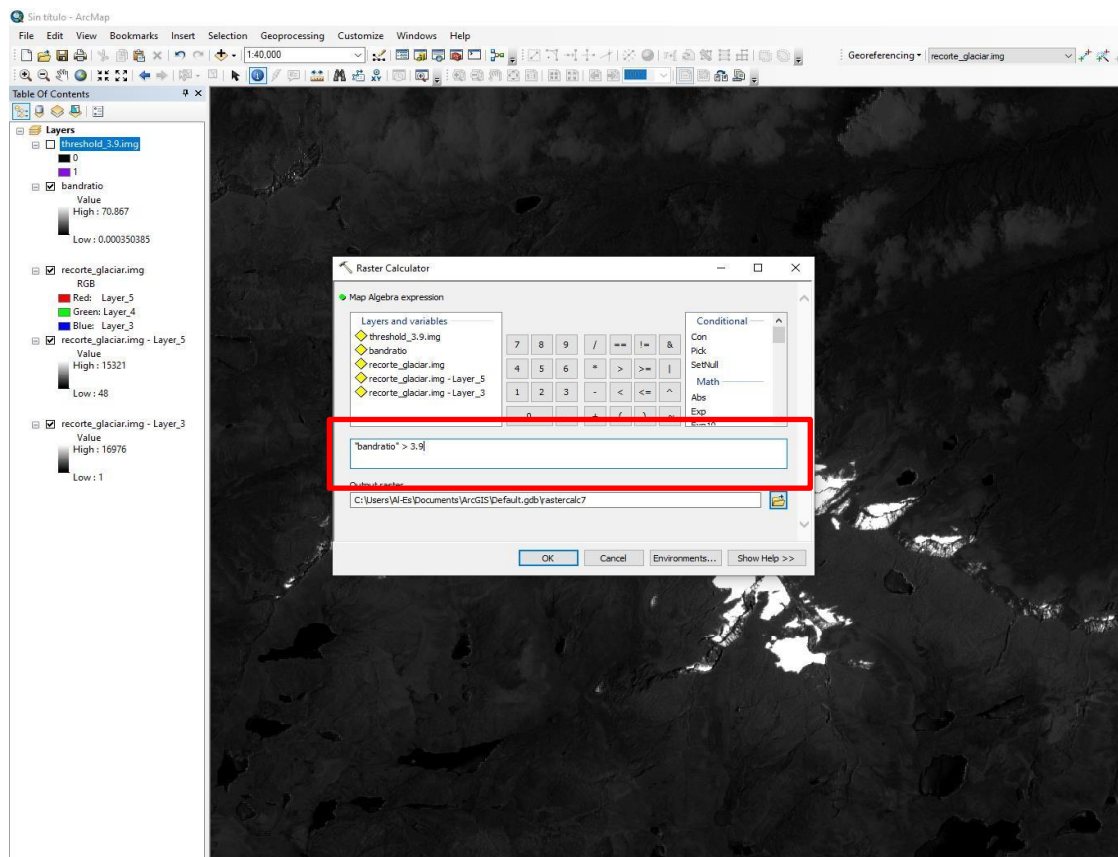
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

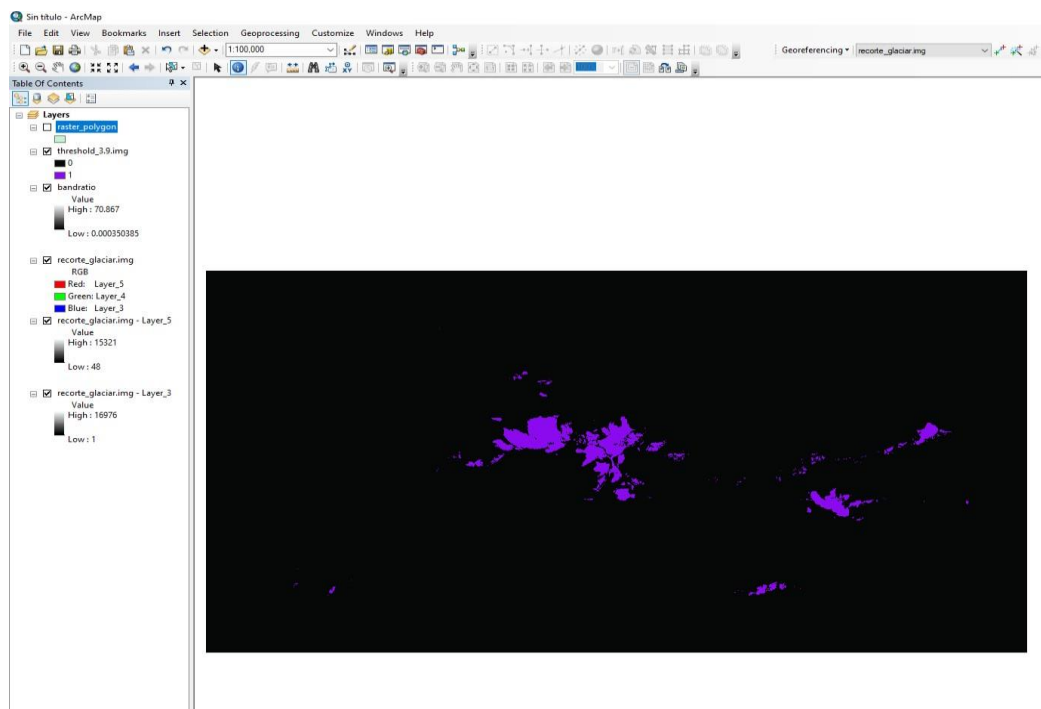
Fecha: 11/07/2025

Página: 41 de 45



8. Una vez aplicada la fórmula el resultado será de la siguiente manera:

	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 42 de 45



La zona de color morado hace referencia a los valores de pixel mayores al threshold identificado anteriormente, seleccionando el área glaciar de acuerdo con la interpretación del profesional a cargo y el software y de color negro los valores de pixel menores. Identificados con el número 1 para las zonas de color morado y 0 las zonas de color negro.

- Convertir el ráster a polígono con la herramienta “**Conversion tools**” - “**From Raster**”- “**Raster to polygon**” en el Arctoolbox



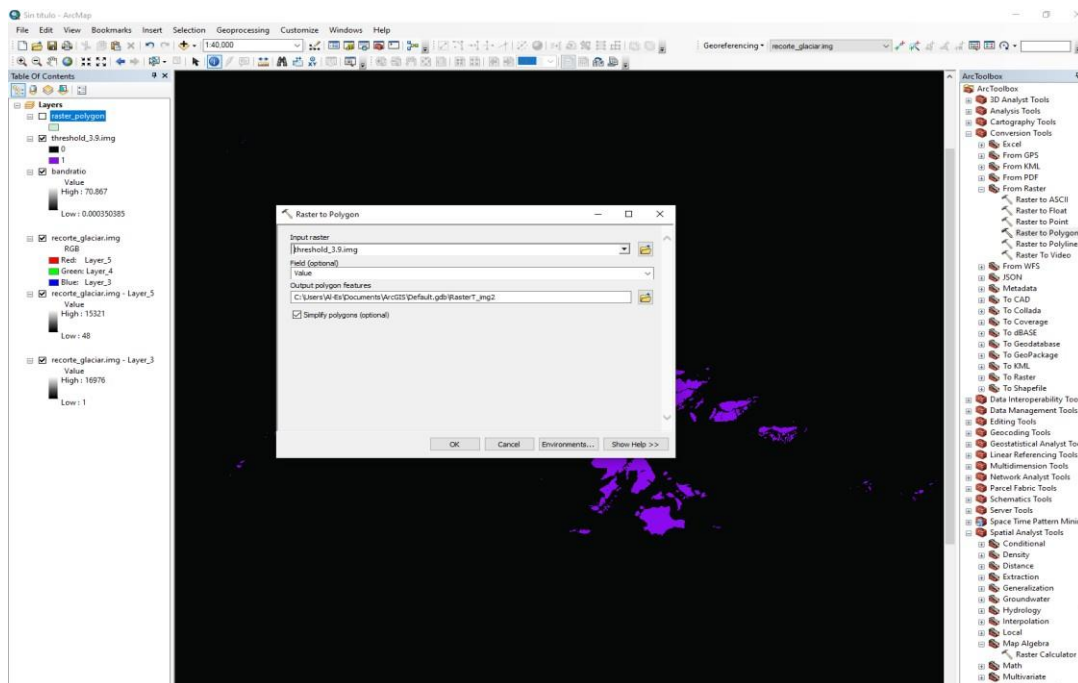
GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Código: GCI-CG-G001

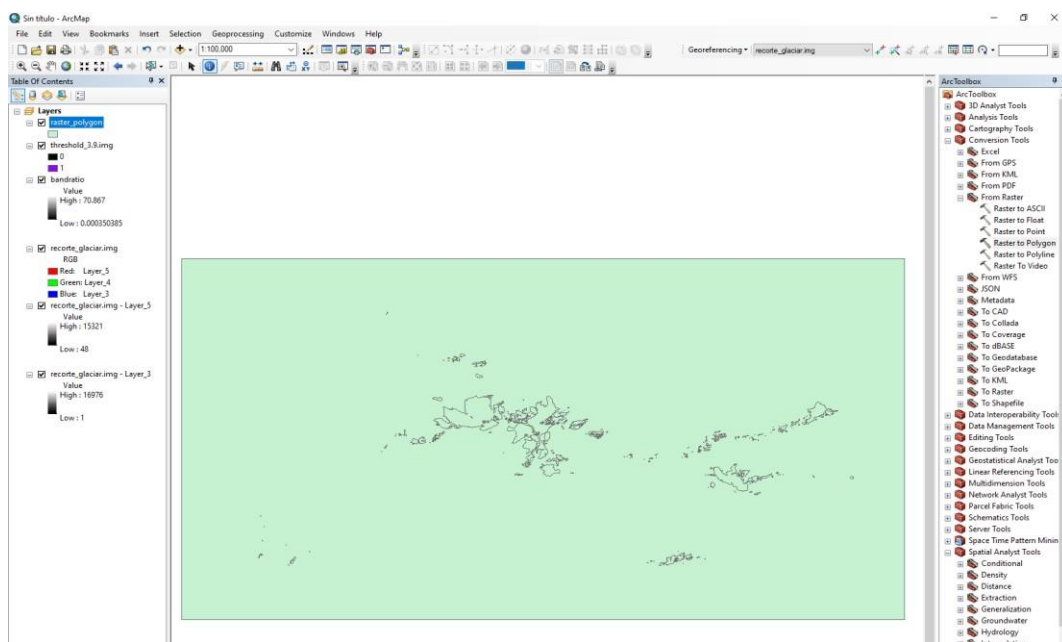
Versión: 03

Fecha: 11/07/2025

Página: 43 de 45



10. El resultado será como el siguiente:



11. Se eliminan las zonas que no pertenecen al área glaciar, es decir todas las áreas con valores en su tabla de atributos igual a cero "0". Abrir la tabla de atributos del shapefile y con la herramienta



GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

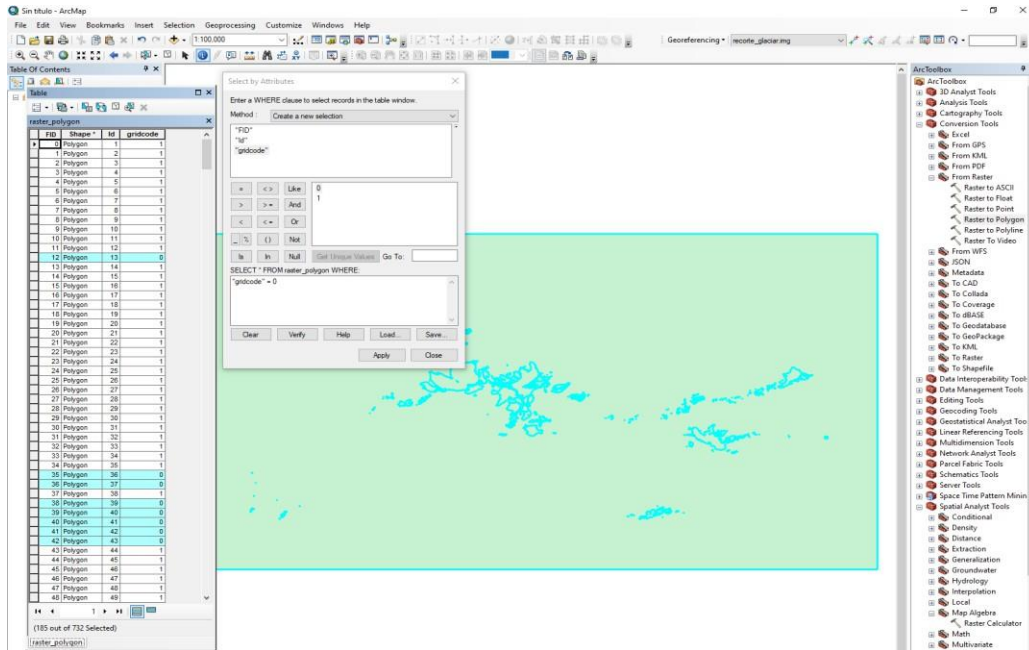
Código: GCI-CG-G001

Versión: 03

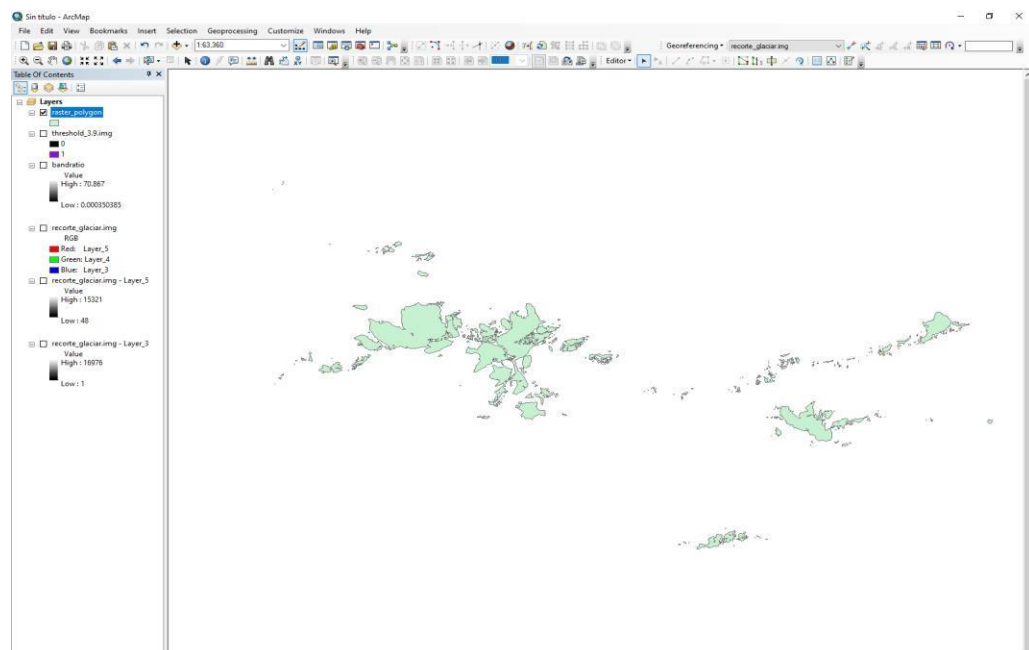
Fecha: 11/07/2025

Página: 44 de 45

seleccionar por atributos, seleccionar el campo “**gridcode**” y seleccionar los valores igual a 0 y eliminarlos.



12. Obteniendo como resultado:



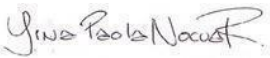
	GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	Código: GCI-CG-G001
		Versión: 03
		Fecha: 11/07/2025
		Página: 45 de 45

Una vez se obtenga el resultado anterior se debe:

13. Cargar en el software ArcGis el polígono obtenido anteriormente y la imagen de satélite.
14. Crear un shapefile en el cual se va a editar el polígono con el área glaciar.
15. Delimitar por medio de un análisis de interpretación visual la superficie glaciar con la imagen e ir comparando con el resultado obtenido anteriormente por medio de la metodología de relación de bandas.

6. HISTORIAL DE CAMBIOS

Versión	Fecha	Descripción
01	01/08/2022	Creación del documento
02	19/12/2023	Se realiza el ajuste al proceso de georreferenciación, numeral 3.3 Cálculo del área glaciar
03	11/07/2025	Se actualiza el Formato de acuerdo con el memorando enviado por la OAP memorando 20251100097283 lineamientos para la actualización documental en el marco de la implementación del aplicativo suite visión. Pasa de M-GCI-E-G016 a GCI-CG-G001.

ELABORÓ  Yina Paola Nocua Ruge Profesional Contratista monitoreo glaciar	REVISÓ  Jorge Luis Ceballos Liévano Profesional Especializado Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental	APROBÓ  Lina María Villalobos Caballero Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental
	 John Jairo Rodríguez Castro Profesional de calidad contratista	