

**Identificación de las áreas glaciares en el parque natural nacional los nevados de  
Colombia en los años 2015, 2017, 2020 y 2022 a partir de imágenes satelitales  
LANDSAT**

**Realizado por:  
Lina Juliana Romero Sarmiento  
Jairo Alexander Martínez Lozano**

**Proyecto Final**

**Universidad de Cundinamarca  
Tecnología en Cartografía  
2023**

**Identificación de las áreas glaciares en el parque natural nacional los nevados de  
Colombia en los años 2015, 2017, 2020 y 2022 a partir de imágenes satelitales  
LANDSAT**

**Realizado por:  
Lina Juliana Romero Sarmiento  
Jairo Alexander Martínez Lozano**

**Asesor:  
Jorge Enrique Guerrero Ruiz**

**Universidad de Cundinamarca  
Tecnología en Cartografía  
2023**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirnos tener tan buena experiencia dentro de la Universidad, gracias a mi Universidad por permitirnos convertir en unos profesionales en lo que tanto nos apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto terminado este proyecto de investigación que perdurará dentro de nuestro conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que estén por llegar.

## INDICE

RESUMEN .....	19
INTRODUCCIÓN .....	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	21
2. JUSTIFICACIÓN .....	22
3. OBJETIVOS .....	23
3.1. Objetivo general.....	23
3.2. Objetivos específicos .....	23
4. MARCO REFERENCIAL.....	24
4.1. TELEDETECCIÓN APLICADA A ZONAS GLACIALES.....	24
4.2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TELEDETECCIÓN .....	24
4.3. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	26
4.4. Calibración radiométrica.....	27
4.4.1. Sensor ALI.....	28
4.4.2. Conversión a radiación espectral en el sensor (QCal-a-Lλ).....	28
4.5. ÍNDICE ESPECTRAL.....	29
4.5.1. Índices de reflectancia en las áreas glaciares .....	29
4.5.2. Índice de nieve de diferencia normalizada NDSI =(Verde-SWIR) / (Verde+SWIR).....	30
4.6. ÁREAS GLACIARES .....	31
4.7. FORMACIÓN Y MOVIMIENTO DEL HIELO GLACIAR .....	33
4.8. TIPOS DE GLACIARES.....	33
4.9. MOVIMIENTO DE UN GLACIAR.....	34
4.10. CAMBIO CLIMÁTICO .....	36
4.11. MARCO CONCEPTUAL.....	37
4.12. MARCO LEGAL.....	38
5. DISEÑO METODOLÓGICO .....	39
5.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS AGRO-CLIMATOLÓGICAS .....	40
5.2. UNIVERSO, POBLACION Y MUESTRA.....	40
5.3. TÉCNICAS O INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS .....	42
5.4. INFRAESTRUTURA Y EQUIPOS .....	42
5.5. RESULTADOS/PRODUCTOS ESPERADOS Y FORMA DE VERIFICACIÓN .....	42

6.	DESARROLLO.....	43
6.1.	ZONA DE ESTUDIO .....	43
6.2.	VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ.....	44
6.3.	VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA.....	45
6.4.	VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL.....	46
6.5.	SERVICIO GEOLÓGICO USGS EARTH EXPLORER.....	47
6.6.	CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA DE LA IMAGEN LANDSAT 8 NIVEL 1..	50
6.6.1.	Calibración radiométrica.....	50
6.7.	CONVERSIÓN DE ND A RADIANCIA.....	52
6.8.	ÍNDICE ESPECTRAL NDSI .....	52
6.9.	ENMASCARAMIENTO.....	53
6.10.	CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR DE LOS TRES NEVADOS.....	55
6.10.1.	Cálculo de las áreas Glaciares.....	56
7.	RESULTADOS .....	58
7.1.	DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 NIVEL 1 .....	58
7.2.	RECORTE DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	59
7.3.	CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA.....	61
7.4.	ÍNDICE ESPECTRAL NDSI .....	62
7.5.	CÁLCULO DEL ÍNDICE ESPECTRAL .....	62
7.6.	ENMASCARAMIENTO.....	64
7.7.	CONVERSIÓN DE ENMASCARAMIENTO A TIPO SHP .....	64
7.8.	COMPARACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LOS DEL IDEAM CON PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	66
7.9.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DATOS OBTENIDOS PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	68
7.9.1.	Nevado Del Ruiz.....	68
7.9.2.	Nevado De Santa Isabel .....	69
7.9.3.	Nevado Del Tolima.....	71
8.	SALIDAS GRAFICAS.....	73
	CONCLUSIONES .....	77
	BIBLIOGRAFÍA .....	78

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Los componentes de un sistema de Teledetección espacial.....	25
Ilustración 2. Representación tridimensional de una onda electromagnética. Muestra la perpendicularidad de los campos entre sí y la dirección de la onda. ....	26
Ilustración 3. Espectro Electromagnético. ....	27
Ilustración 4: fórmula para la calibración radiométrica .....	28
Ilustración 5: parámetros para la aplicación de la formula .....	28
Ilustración 6: Índices espectralles para áreas de nieve y glaciar .....	30
Ilustración 7: Técnica de diferencia normalizada NDSI .....	30
Ilustración 8. Ciclo de la vida de un glaciar.....	31
Ilustración 9. Distribución del agua en el planeta .....	32
Ilustración 10. Ciclo de formación del hielo glaciar .....	33
Ilustración 11. Movimientos de los glaciares.....	35
Ilustración 12. Cambio climático .....	36
Ilustración 13. Metodología .....	39
Ilustración 14. Mapa Plan de Manejo Parque Nacional Natural los Nevados .....	41
Ilustración 15 Zona de estudio, Parque Nacional Natural los Nevados .....	44
Ilustración 16: Volcán nevado del Ruiz .....	45
Ilustración 17: Volcán Nevado del Tolima .....	46
Ilustración 18: Nevado sata Isabel .....	47
Ilustración 19: Parámetros para la búsqueda de la zona de interés .....	47
Ilustración 20: Elección del satélite landsat 8 nivel 1 .....	48
Ilustración 21: Zona de interés en el estudio.....	48
Ilustración 22: Descarga del SHP de la Zona de estudio .....	49
Ilustración 23: imagen satelital lansadt 8.....	49
Ilustración 24: Recorte de la imagen satelital lansadt 8.....	50
Ilustración 25: fórmula para la calibración radiométrica .....	50
Ilustración 26: Radiancia máxima y mínima por banda.....	51
Ilustración 27: nivel de brillo máximo y mínimo por banda.....	51
Ilustración 28: Corrección imagen satelital .....	52
Ilustración 29: Índices de nieve diferenciado NDSI .....	52
Ilustración 30: calculadora ráster para operación del NDSI .....	53
Ilustración 31: Nivel del píxel.....	53
Ilustración 32: Enmascaramiento.....	54
Ilustración 33: Valores del píxel para la máscara glaciar .....	54
Ilustración 34: Conversión a formato vector.....	55
Ilustración 35: creación de la columna para el cálculo en Km <sup>2</sup> .....	55
Ilustración 36: cálculo de la geometría en Km <sup>2</sup> .....	56
Ilustración 37: Herramienta para recorte de la zona .....	60
Ilustración 38: recorte de la zona de interés .....	60
Ilustración 39: Aplicación de la fórmula de calibración radiométrica .....	61
Ilustración 40: Índice de nieve diferenciado .....	62

Ilustración 41: Implementación de la fórmula en la calculadora ráster .....	63
Ilustración 42: Índice diferenciado NDSI .....	63
Ilustración 43: Conversión a formato shp .....	65
Ilustración 44: Cálculo área glaciar Km <sup>2</sup> .....	65
Ilustración 45: Análisis estadístico de nevado del Ruiz .....	69
Ilustración 46: Análisis estadístico de nevado Santa Isabel .....	70
Ilustración 47: Análisis estadístico del nevado del Tolima .....	71
Ilustración 48: Zonas glaciares de 2015 .....	73
Ilustración 49: Zonas glaciares de 2017 .....	74
Ilustración 50: Zonas glaciares de 2020 .....	75
Ilustración 51: Zonas glaciares 2022 .....	76

## TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones De Las Diferentes Bandas Espectrales.....	25
Tabla 2. Bandas Espectrales de Uso Frecuent .....	27
Tabla 3:bandas de lansadt 8 .....	29
Tabla 4. Describiendo los diferentes tipos de glaciares. ....	34
Tabla 5: comparación de los datos IDEAM - P. investigación 2015 .....	56
Tabla 6: comparación de los datos IDEAM - Investigación 2017 .....	56
Tabla 7:comparacion de los datos IDEAM - P. investigación .....	57
Tabla 8: Descarga imágenes Satelitales Landsat 8 .....	58
Tabla 9: Bandas espectrales .....	59
Tabla 10: Recorte B3 y B6 zona de estudio.....	61
Tabla 11: conversión ND a Radiancia .....	62
Tabla 12: enmascaramiento de área glaciar de los nevados.....	64
Tabla 13:Determinación del área Glaciar en Km2 Volcán nevado del Ruiz .....	66
Tabla 14:Determinación del área Glaciar en Km2 Volcán nevado del Ruiz Santa Isabel.....	66
Tabla 15:Determinación del área Glaciar en Km2 Volcán nevado el Tolima .....	66



## RESUMEN

Colombia cuenta con pequeñas masas de hielo que se coronan en lo más alto de las montañas, llamadas glaciares. Estos se encuentran aproximadamente por encima de 4850 msnm, y actualmente el país cuenta con 6 zonas en las que se encuentra área glaciaria, (Sierra Nevada de Santa Marta, Sierra Nevada El Cocuy o Güicán, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado de Santa Isabel, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Nevado del Huila).

Para la administración, gestión y cuidado de las zonas anteriormente descritas, Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC), como entidad de carácter nacional, se encarga de administrar y manejar el sistema del Parque Natural, reglamentando el uso y funcionamiento de las áreas que lo conforman, como los volcanes nevados del Ruiz, del Tolima y de Santa Isabel, donde específicamente se centra el estudio del declive de las áreas glaciares que se está presentando en los tres nevados, teniendo en cuenta su importancia para el ecosistema, ya que son considerados los termómetros naturales del planeta desde la era preindustrial, y estos se identifican como una de las principales reservas de agua dulce más importantes del país, alimentando las cuencas hidrográficas del territorio, estos tienen una gran responsabilidad para la conservación de la naturaleza, contribuyendo al sostenimiento de los páramos y los bosques altoandinos.

Debido a que los nevados están en constante actividad volcánica, esto genera que se aumente la temperatura y ocasionando un retroceso lentamente, sin embargo, se encuentra que el principal responsable que afecta estas zonas es el ser humano que, aunque no tenga una actividad directa con los nevados, es uno de los principales causantes de la aceleración del cambio climático. Por lo tanto, gracias a las técnicas de la teledetección e imágenes satelitales obtenidas del Landsat y el postproceso que se le hace en el respectivo software ArcGIS se puede llegar a calcular la disminución glaciaria que se está presentando en los nevados que conforman Parques Nacional Natural de Colombia, a partir de las diferentes variables que conllevan a esta situación.

Teniendo en cuenta la gran importancia que tienen los nevados para la humanidad se busca analizar y evaluar el declive glaciario que se ha venido presentando a través de los años 2015, 2017, 2020 y 2022.

## INTRODUCCIÓN

Sobre la cordillera central se localizan el macizo volcánico Ruiz-Tolima donde está constituido por el volcán Nevado del Ruiz, junto con los volcanes Nevados de Santa Isabel y el volcán del Tolima, hacen parte de las áreas protegidas del Parques Nacional Natural de los Nevados.

El Parque Nacional Natural de los Nevados (PNNN) se encuentra localizado en el centro de Eje cafetero, el cual está conformado por tres nevados, principalmente por el volcán Nevado del Ruiz que actualmente se encuentra en alerta naranja, este cuenta con tres cráteres: La Olleta, La piraña y su principal Arenas. esta área protegida fue regida y creada en 1974 con el fin de contribuir con la preservación de los ecosistemas ambiental, este parque regulan los múltiples servicios ambientales para el corregimiento del eje cafetero, Colombia se suscribió en el convenio de diversidad biológica a través de la ley 165 de 1994, en base de esta se realizó la política nacional de biodiversidad con un compromiso de conformar y consolidar un Sistema Nacional de Áreas Protegidas-(SINAP), (PNNC, 2022a), siendo este un sistema de áreas protegidos con actores sociales estratégicas e instrumentos de gestión que ayudan a la contribución de los cumplimientos de los objetos de conservación del país de las áreas protegidas. Las funciones del SINAP en los parques naturales ayudan a contribuir y administrar la conformación y consolidación del sistema Nacional de Áreas Protegidas, ayudando a coordinar e implementar diferentes planes de políticas, programas, normas y procedimientos que se encuentran relacionados referente al comportamiento de las áreas protegidas, ya que de esta administración de los nevados dependen las fuentes hídricas que aportan al desarrollo no solo humano, si no también contribuyendo a la agricultura con la fertilidad de los terrenos, (PNNC, 2022b)

Sin embargo, el cambio climático que se presenta a nivel mundial, por las diferentes actividades humanas, de consumismo, explotación y de interés individual, ocasionan deterioro en los ecosistemas del mundo. provocando que en los nevados allá un acelere en sus declives en sus zonas glaciares, esto lo ocasionan los bruscos cambios de los fenómenos climático debido al cambio climático. Los nevados son importantes para el desarrollo humano en la parte agrícola, debido que los suelos volcánicos son más fértiles, teniendo una gran parte de nutrientes como el fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, hierro y boro. mediante análisis de imágenes satelitales Landsat 8 entre de los años 2015, 2017, 2020 y 2022 interpretando el retroceso glaciario que han sufrido en los parques nacionales naturales los nevados.

Lo anterior soportado en evidencia científica y de literatura donde estudios realizados por el IDEAM se pueden encontrar unas pequeñas masas de hielo situadas en las zonas más altas de las montañas permitiendo evidenciar glaciares a más de 4.850 metros sobre el nivel medio del mar, (PNNC, 2022b) según el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), con el paso del tiempo se han deteriorado las zonas glaciares por la variación de los fenómenos climático, con el objeto principal de evidenciar cuál es la decadencia que se ha tenido en las áreas glaciares, a través del tiempo y las variables asociadas a este proceso.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático es un problema que se viene evidenciando a lo largo del tiempo, como consecuencias inexorables para el entorno, la mayor parte de este fenómeno mundial, es la consecuencia de las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera y que alteran la variabilidad natural del clima. Según reporte de (Ceballos Jorge Luis & Ospina Jose Alejandro, 2021) Se ha notado que el clima en el planeta está cambiando a un ritmo más acelerado de lo esperado, el problema de esto, es que pueden traer consecuencias como: derretimiento de las masas glaciares y nevados que abastecen las principales fuentes hídricas del consumo humano.

Debido al aumento de los gases que se están emitiendo a la atmósfera, los glaciares se convierten en elementos vulnerables a los cambios climáticos, aunque no están directamente expuestos a la actividad humana, se están viendo afectados en su acelerada pérdida de masas glaciares en los últimos años, teniendo en cuenta la morfodinámica que tiene los nevados del trópico que están ubicados en cumbres volcánicas.

En el mes de marzo del año 2023 se incrementó su actividad sísmica en el volcán del nevado de Ruiz y el 30- marzo de 2023 pasando de alerta amarilla a naranja, según reportes del servicio geológico colombiano, (servicio geológico colombiano, 2022). se han visto como la zona de glaciares se ha disminuido por su aumento de las actividades volcánicas. Por otra parte, los nevados de santa Isabel y nevado del Tolima se mantienen activos y con un comportamiento estables.

Como consecuencia de lo anteriormente mencionado el proceso de disminución glaciario ha ido aumentando en las últimas décadas según fuentes de información IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), evidenciando la pérdida glaciaria que se está presentando en los nevados, es así como estos comportamientos generan que los glaciares pierdan área y volumen según su intensidad del cambio climático a las que se enfrentan (ARBELÁEZ, 2016). También se evidencia que la pérdida de sus masas glaciares se ve afectada por el aumento sísmico que se observa en el volcán nevado del Ruiz, a pesar de que los nevados de santa Isabel y el nevado de Tolima su comportamiento es estable, en ellos se observa cómo sus masas glaciares se ven afectadas debido a los bruscos cambios de los fenómenos climáticos.

Finalmente, el desconocimiento por parte de los seres humanos del cambio climático y las altas temperaturas que se están generando en los nevados de Colombia, deteriorando las áreas glaciares por la contaminación y la variabilidad de las temperaturas (Fernando Ávila Vélez et al., 2018), generando un declive en las áreas glaciares, lo cual está acelerando la disminución de hielo de las zonas protegidas, por lo que surge una pregunta problematizadora: ¿Cuál es el decrecimiento de las áreas glaciares que se está presentando en los nevados que hacen parte del parque nacional natural de los nevados de Colombia entre los años 2015, 2017, 2020 y 2022 teniendo en cuenta los cambios climáticos generados en la zona?.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El ser humano, como todo ser vivo, forma parte de la naturaleza, y esta, consiste en la racionalidad de poseer una inteligencia y una libre voluntad de acción. En base al artículo de (Rodríguez & Luz Quintanilla, 2019), habla de que naturaleza humana es universal y la coloca en una situación privilegiada, ya que, a diferencia del resto de los seres, su comportamiento no está determinado por los instintos y necesidades naturales, sino gracias a su libre voluntad.

Desde los orígenes siempre se ha visto como esta especie se ha interesado por conocer y comprender el ambiente natural, principalmente porque de ello depende la supervivencia y su conocimiento, la diferencia radica en que la especie humana no solo se conforma en crear y recrear el medio ambiente para beneficios propios según las necesidades. De acuerdo con lo anterior, los paisajes culturales constituyen una relación entre el ser humano y la naturaleza, a partir de las creaciones humanas, por ello se hace cada vez más importante reconocer y aprender sobre el bienestar del ámbito natural. Sin embargo, su contraparte, en el proceso de creación y recreación, el mismo ser humano es el causante de la aceleración del cambio climático donde principalmente se ven afectados los glaciares siendo estos una zona natural de gran importancia para la vida.

De acuerdo con (ARBELÁEZ, 2016), se demuestra la importancia del monitoreo que se debe establecer en los glaciares y en las zonas de los páramos, porque de estos dependen varios seres pertenecientes a la importancia del sistema de la tierra. De este modo se busca encontrar la verdadera relación que existe entre el cambio climático y el comportamiento ambiental que ocurre actualmente. Por lo tanto, esta investigación es la situación ambiental que se está presentando en el Parque Nacional Natural los Nevados, donde se busca interpretar mediante las imágenes satelitales (LANDSAT 8) el deterioro glaciar que se ha presentado en los años 2015, 2017, 2020 y 2022, con los datos obtenidos se busca generar una información a futuro de cuanta área glaciar se puede perder. La conformación de estos parques permite conservar gran diversidad de flora y fauna, cuantiosos recursos hídricos siendo los glaciares considerados los termómetros naturales del mundo, debido a que son más susceptibles a los cambios medioambientales en su entorno, lo cual requieren de una condición de equilibrio en el ambiente.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Identificar las áreas glaciares en el parque natural nacional los nevados de Colombia en los años 2015, 2017, 2020 y 2022 a partir de imágenes satelitales LANDSAT 8.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- 1.** Adquirir por medio de plataformas espaciales, la descarga de imágenes satelitales LANSADT 8 de los parques nacionales naturales los nevados.
- 2.** Generar las correcciones atmosféricas de las imágenes obtenidas de (USGS) de LANSADT 8 level 1 en los años de estudio
- 3.** Identificar por medio de índice espectral NDSI el retroceso glaciar que se presenta en los nevados (volcán nevado del Ruíz, volcán del Tolima y Volcán Nevado de santa Isabel) en los años 2015, 2017, 2020 y 2022 visualizando el cambio que se están presentando.
- 4.** Demostrar el retroceso glaciar que se presenta en los tres nevados pertenecientes a el PNNN mediante salidas graficas realizadas en el software ArcGIS.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. TELEDETECCIÓN APLICADA A ZONAS GLACIALES

De acuerdo con la investigación realizada por parte del Instituto Geográfico Nacional, la teledetección es una técnica que permite obtener datos de la superficie terrestre desde los sensores que se encuentran instalados en las plataformas espaciales, donde la interacción que se genera electromagnéticamente con el terreno y el sensor permite la generalización de la serie de datos que son procesados para poder obtener resultados e información de la superficie terrestre. Gracias a la disponibilidad que se encuentra hoy en día de las imágenes satelitales y el desarrollo que se ha tenido en las nuevas tecnologías, son cada vez más las entidades y organismos públicos que incorporan el uso de estas imágenes en diferentes proyectos, ya que gracias a la información que se obtiene se puede sacar grandes ventajas aplicándolas en la detección de cambios como en la agricultura y su rendimiento en los productos agrícolas, vulcanología y monitoreo de los desastres naturales que se presentan.

Por otra parte, Ibáñez, argumenta que, la Teledetección puede utilizar múltiples plataformas para la toma de imágenes, como por ejemplo vehículos aéreos no tripulados (UAV) o satélites. Si bien, se debe tener en cuenta que puede ser necesario un tratamiento previo de la imagen tomada, como la aplicación de filtros, realces y mejoras visuales o correcciones, con el objetivo de mejorar la calidad visual de la misma para que sean más evidentes los rasgos de interés que se pretenden analizar.

### 4.2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TELEDETECCIÓN

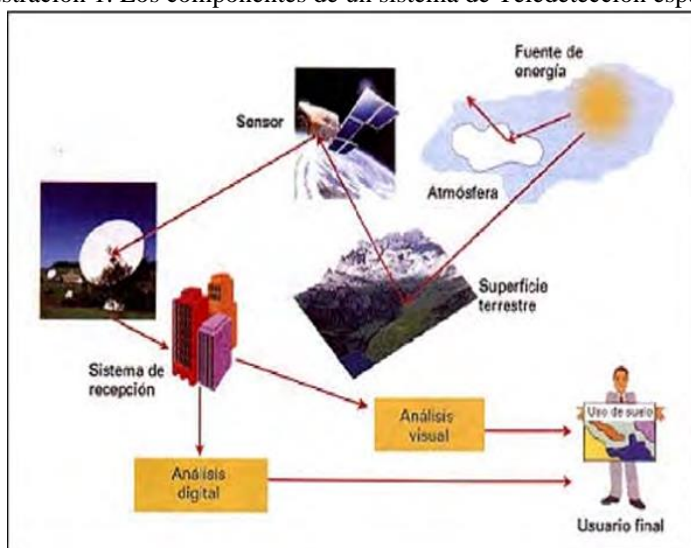
Según (Eduardo et al., 2005), los componentes para un sistema de teledetección y sus sensores remotos han sido reconocidos como la ciencia que sirve para obtener la información acerca de algún objeto, área o fenómeno a través de los análisis de los datos. Las bandas, son reconocidas por los sensores remotos con los datos recolectados convencionalmente.

El sistema de teledetección espacial está constituido por los siguientes componentes de acuerdo con (Eduardo et al., 2005):

- **Fuente de Energía:** este componente es originado por la radiación electromagnética que el sensor capta, tratándose de alguna fuente pasiva como la luz solar o activa que es emitida por el sensor captando el reflejo (como el radar).
- **Cubierta terrestre:** son los rasgos naturales que se encuentran en las zonas terrestres como lo es la vegetación, suelo, rocas, construcciones. reflejando la señal hacia los sensores.
- **Sistema sensor:** compuesto por los sensores propiamente como lo son las cámaras o los sistemas de radar, junto con la plataforma que lo alberga (satélites, avión) teniendo como objetivo captar la información que se presenta en la cubierta terrestre almacenándola o enviándola directamente a un sistema de recepción.

- **Sistema de recepción y comercialización:** este sistema es en el que se recibe la información del sistema de sensor guardándola en un formato apropiado para así poder ser manipulada por el usuario.
- **Interprete:** se encarga de convertir los datos recolectados en información temática según la toma de datos de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente) mediante los procedimientos visuales y las técnicas digitales.
- **Usuario final:** es el intérprete de los resultados obtenidos a partir de la toma de las imágenes derivando las consecuencias que se están presentado en la zona de estudio.

Ilustración 1. Los componentes de un sistema de Teledetección espacial



Fuente: Componentes de un sistema de teledetección espacial.(Salcedo, 2011)

Los alcances más efectivos del sistema de teledetección espacial es la toma de información del espectro magnético donde no se percibe lo que está sucediendo, como es conocido, los ojos humanos solo reconocen un rango de energía, resulta importante tener en cuenta la forma en que se comportan las distintas bandas espectrales:

Tabla 1. Aplicaciones De Las Diferentes Bandas Espectrales.

Bandas espectrales	Aplicaciones
Azul (0.45-0.5 um)	Penetración del agua, uso de la tierra, características de la vegetación, sedimentos
Verde (0.5-0.6 um)	Reflexión verde de la vegetación sana
Rojo (0.6-0.7 um)	Discriminación de la vegetación por la absorción de la clorofila
Pancromático (0.5-0.75)	Trazado del uso de la tierra
Infrarrojo reflectivo (0.75-0.9)	Biomasa, identificación de cultivos, límites de tierra y agua
Infrarrojo medio (1.5-1.75)	Cantidad vegetación, zonas áridas, nubosidad, hielo, nieve

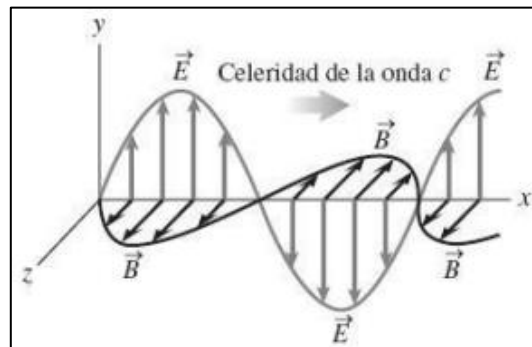
Infrarrojo medio (2-2.35)	Geología, formación de rocas
Infrarrojo térmico (10-12.5)	Diferenciación temperatura, descargas térmicas, clasificación de la vegetación, inercia térmica
Microonda de onda corta (0.1-5cm)	Cubrimiento de la nieve, profundidades, contenido de agua en la vegetación
Microonda de onda larga (5-24cm)	Medidas del suelo, límites entre tierra y agua, penetración de la vegetación

Fuente: Fundamentos de Teledetección Espacial.(Eduardo et al., 2005)

### 4.3. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Dicho lo anterior respecto a la teledetección, se encuentra cómo los satélites se conectan con las ondas electromagnéticas, siendo estas el resultado de la conexión que hay entre los campos eléctricos y magnéticos oscilatorios. Según (Gutiérrez, 2020) se llega a la conclusión de que el resultado de estas es la unión de las ondas de tipo eléctrico con las de tipo magnético, avanzando éstas en el espacio perpendicularmente entre sí, y a su vez perpendicularmente también con la dirección de propagación de la onda, lo que hace que se trate de ondas transversales. Los campos eléctrico y magnético avanzan estando siempre en fase, es decir, alcanzan su amplitud máxima y mínima en los mismos puntos, a lo largo de toda su propagación, la luz avanza en el vacío siempre con la misma velocidad ( $c$ ) constante ( $c=299.792.458$  m/s en unidades del SI).

Ilustración 2. Representación tridimensional de una onda electromagnética. Muestra la perpendicularidad de los campos entre sí y la dirección de la onda.

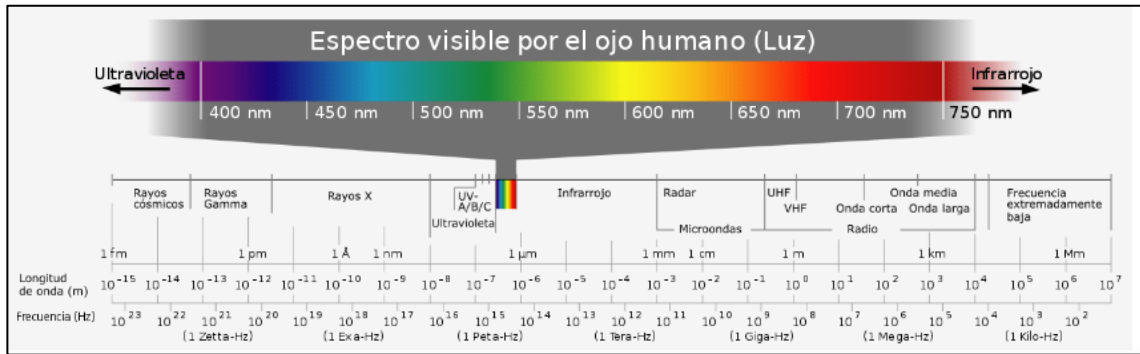


Fuente: Aplicación del índice de refracción complejo. (Gutiérrez, 2020)

De acuerdo con (Eduardo et al., 2005), se pueden identificar los diferentes tipos de energía radiante, son identificadas en función de su longitud de onda y frecuencia, existen una gama de diferentes bandas donde la radiación electromagnética presenta un comportamiento idéntico, comprendiendo las longitudes de ondas cortas como los rayos gamma o X, hasta las longitudes en kilómetros como lo son las telecomunicaciones.



Ilustración 3. Espectro Electromagnético.



Fuente: Earth Science Enterprise, Tutoría. (mappinggis, s.f.)

Según la denominación, las bandas más utilizadas son la azul, verde y rojo, siendo la conformación de la luz visible, el infrarrojo cercano, el infrarrojo medio y el infrarrojo lejano o térmico, donde operan los sensores remotos pasivos y en la banda de microondas operan los sensores activos. (ASIMBAYA et al., 2014)

Tabla 2. Bandas Espectrales de Uso Frecuente

Bandas	Características
Visible	Llamada así, por ser la percibida por los (0.6 a 0.7 $\mu\text{m}$ ) ojos, allí se presenta la máxima radiación solar, se distinguen tres bandas elementales azul (0.4-0.5 $\mu\text{m}$ ), verde (0.5-0.6 $\mu\text{m}$ ), rojo (0,5 $\mu\text{m}$ -0,6 $\mu\text{m}$ )
Infrarrojo cercano	(0.7 a 3 $\mu\text{m}$ ) este puede detectarse mediante películas dotadas por emulsiones 1. especiales, en este se pueden diferenciar masas vegetales y concentraciones de humedad
Infrarrojo medio	(1.3 a 8 $\mu\text{m}$ ) donde se mezclan los procesos de reflexión de lux solar y emisión de la superficie terrestre
Infrarrojo lejano	(8 a 14 $\mu\text{m}$ ) corresponde a la porción emisiva del espectro terrestre
Microondas	(1 mm. en adelante) de gran importancia por ser energía transparente a la corriente nubosa

Fuente: Fundamentos de Teledetección Espacial. (ASIMBAYA et al., 2014)

#### 4.4. Calibración radiométrica

La corrección atmosférica que se le genera a las imágenes satelitales se genera para la eliminación de las anomalías en su localización en los (ND) para para la adecuada posición de los pixeles y su valor de la radiancia. Las ecuaciones y parámetros utilizados para convertir los números digitales ND calibrados en unidades físicas, tales como la radiación en el sensor o la reflectancia en la parte superior de la atmosfera, con la realización de la calibración radiométrica se logra mejorar la calidad visual de la imagen y eliminar los componentes intrusivos que se presentan en la atmosfera.(Chander et al., 2009), de acuerdo con (Roy 2002) la caracterización y calibración radiométrica es un requisito esencial para la creación de datos de alta calidad y productos posteriores de mayor nivel. La capacidad que tiene para la detección

y cuantificar cambios en el medio ambiente de la tierra depende de los sensores que proporcionan mediciones calibradas (exactitud y precisión), cada sensor se encuentra con una incorporación de un sistema calibrado interno (IC).

#### 4.4.1. Sensor ALI

El Advanced Land Imager (ALI) es una de las demostraciones tecnológicas que sirven como prototipo para el Landsat, este observando la tierra en 10 bandas espectrales, donde nueve bandas espectrales cuentan con una resolución espacial de 30 m, y una banda pancromática con una resolución de espacial de 10 m. El sensor ALI cuenta con dos dispositivos de calibración radiométrica, uno se encuentra basado en un sistema en lámparas y difusor solar que cuenta con difusor solar con una irradiación variable que se encuentra controlado por una puerta de apertura (Mendenhall y Lencioni, 2002).

#### 4.4.2. Conversión a radiación espectral en el sensor (QCal-a-Lλ)

Dicho lo anterior para el cálculo de la radiación espectral en el sensor siendo el paso fundamental para la conversión de los datos de imágenes de múltiples sensores y plataformas en escalas radiométricas, la calibración radiométrica del sensor ALI implica que se tiene que escalar los ND sin procesar (Q) transmitido desde el satélite a números digitales calibrados, para la conversión a la radiación espectral en los sensores se requiere el conocimiento del límite superior e inferior de los factores del cambio de escala originales, para obtener la conversión de los datos ND a radiancia se utilizó la siguiente ecuación:

Ilustración 4: fórmula para la calibración radiométrica

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda}$$

Fuente: Resumen de los coeficientes de calibración radiométrica actuales para los sensores Landsat MSS, TM, ETM+ y EO-1 ALI

Ilustración 5: parámetros para la aplicación de la fórmula

$L_{\lambda}$	Spectral radiance at the sensor's aperture [W/(m <sup>2</sup> sr μm)]
$Q_{cal}$	Quantized calibrated pixel value [DN]
$Q_{calmin}$	Minimum quantized calibrated pixel value corresponding to $LMIN_{\lambda}$ [DN]
$Q_{calmax}$	Maximum quantized calibrated pixel value corresponding to $LMAX_{\lambda}$ [DN]
$LMIN_{\lambda}$	Spectral at-sensor radiance that is scaled to $Q_{calmin}$ [W/(m <sup>2</sup> sr μm)]
$LMAX_{\lambda}$	Spectral at-sensor radiance that is scaled to $Q_{calmax}$ [W/(m <sup>2</sup> sr μm)]
$G_{rescale}$	Band-specific rescaling gain factor [(W/(m <sup>2</sup> sr μm))/DN]
$B_{rescale}$	Band-specific rescaling bias factor [W/(m <sup>2</sup> sr μm)]

Fuente: Resumen de los coeficientes de calibración radiométrica actuales para los sensores Landsat MSS, TM, ETM+ y EO-1 ALI

## 4.5. ÍNDICE ESPECTRAL

### 4.5.1. Índices de reflectancia en las áreas glaciares

Existen diferentes técnicas para la extracción de y mapeo de coberturas de nieve de una imagen satelital donde se han utilizado las técnicas espectrales en imágenes satelitales landsat. El equipo de detección remota instalado en la LCDM (Landsat Data Continuty Mission) donde se incluye un radiómetro de barrido multicanal OLI (Operational Land Imágener) y un radiómetro de infrarrojo de dos canales TRIS (Thermal Infrared Sensor). El instrumento OLI que es desarrollado por BALL Aerospace y tecnologías operando en una longitud de onda en el rango de 0.433-2.300  $\mu\text{m}$  proporcionando imágenes con una resolución máxima de 15 metros. (U.S.G.S, s.f.)

De acuerdo con la información (U.S.G.S) la resolución espacial de las imágenes que se obtienen TIRS es de 100m. su objetivo primordial es la obtención de las características de temperatura donde se estudia la trasferencia de calor y humedad en al ámbito de la agricultura, la gestión del agua y en este caso el del glaciar, en contraste con estos equipos instalados en satélites landsat anteriores, TRIS proporciona una capacidad de realizar unas observaciones no solo en una sino en dos combinaciones de ocho bandas de longitud de onda infrarroja.

Tabla 3:bandas de lansadt 8

Sensor	Band number	Nombre de la banda	Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)	Band Applications
OLI	1	Costera (Coastal)	0.43 – 0.45	30	Estudios costeros y de aerosoles
OLI	2	Azul	0.45 – 0.51	30	Cartografía batimétrica, que distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la vegetación de coníferas
OLI	3	Verde	0.53 – 0.59	30	Destaca los picos de máxima vegetación, que son útiles para evaluar el vigor de las plantas
OLI	4	Roja	0.63 – 0.67	30	Distingue las laderas de vegetación
OLI	5	Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 – 0.88	30	Destaca el contenido de biomasa y las costas
OLI	6	Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1.57 – 1.65	30	Distingue la humedad del suelo y de la vegetación; penetra a través de nubes finas
OLI	7	Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2.11 – 2.29	30	humedad del suelo y la vegetación y la penetración a través de nubes finas
OLI	8	Pan	0.50 – 0.68	15	15 meter resolution, sharper image definition

OLI	9	Cirrus	1.36 – 1.38	30	Improved detection of cirrus cloud contamination
TIRS	10	TIRS 1	10.60 – 11.19	30 (100)	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture
TRIS	11	TRIS 2	11.50 – 12.51	30 (100)	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture

Fuente: (U.S.G.S, s.f.)

Gracias a la técnica aplicada de los índices espectrales y las composiciones del índice de diferencia normalizada NDSI, podemos diferenciar las reflectancias que tienen las áreas glaciares en los volcanes, nevado de Ruiz, Nevado santa Isabel y Volcán nevado del Tolima.

Ilustración 6: Índices espectralles para áreas de nieve y glaciár

Nombre del Índice	Formula	Descripción
Índice de Nieve Diferencial Normalizado -NDSI-	$\frac{\text{verde} - \text{SWIR}}{\text{verde} + \text{SWIR}}$	Para mapear la diferenciación de nieve-hielo en áreas cubiertas de nieve.

Fuente: Índices Espectrales para el mapeo de coberturas de Nieve y Hielo mediante Imágenes Satelitales (Mario, londoño bonilla, & Samsono, 2018)

#### 4.5.2. Índice de nieve de diferencia normalizada NDSI =(Verde-SWIR) / (Verde+SWIR)

El índice de diferencia normalizada NDSI es un indicador numérico que muestra la capa de nieve que se encuentran sobre las áreas terrestres, donde las bandas espectrales Verde E infrarrojo de onda corta (SWIR) son utilizados dentro de esta la fórmula para determinar la capa de nieve, dado que la nieve obsérvela mayor parte de la radiación en el SWIR mientras que la nube no lo hace, permitiendo que el NDSI diferencie la nieve a la nube, esta combinación de bandas es utilizada para el mapeo de nieve/hielo, así como también para el monitoreo del glaciares.(Bluemarblegeo., 2019)

Ilustración 7:Técnica de diferencia normalizada NDSI

**NDSI (Landsat 8 OLI): Verde=B3, SWIR=B6**

Fuente: Técnica de diferencia normalizada NDSI (Bluemarblegeo., 2019)

## 4.6. ÁREAS GLACIARES

Sabiendo la conformación de las imágenes satelitales junto con la combinación de los espectros electromagnéticos que nos brindan se puede obtener información de las zonas del glaciar en los nevados.

Gracias a la información obtenida por Iberdrola, se llega a identificar como se crean estas masas de hielo, estas se forman al compactarse y recrystalizarse la nieve acumulada en lugares fríos, como se evidencia en los glaciares de las montañas o volcanes, también los encontramos en las áreas polares, la transformación de las zonas glaciares son un proceso milenario donde el tamaño que este puede alcanzar oscilara según la cantidad de hielo que este pueda recolectar a lo largo de su camino, el comportamiento de estas zonas recae principalmente en los ríos los cuales este alimenta durante el deshielo(iberdrola, 2022).

Ilustración 8. Ciclo de la vida de un glaciar



Fuente: Ciclo de vida en un glaciar (iberdrola, 2022)

Por otra parte, Paz & Montecinos (2011), argumentan que en el planeta está conformado por el 97,5% de agua, siendo el equivalente a la superficie total de agua salada, mientras que solo el 2,5% restante es agua dulce, de este porcentaje se encuentra que el 79% se encuentra en estado sólido donde se puede evidenciar tanto como en los hielos polares como en las áreas glaciares, tanto como los casquetes polares y las áreas glaciares son las principales reservas de agua dulce del planeta. Los glaciares han persistido a través del tiempo por la acumulación de agua sólida en su parte superior donde la se encuentra en forma de nieve y áreas glaciares,

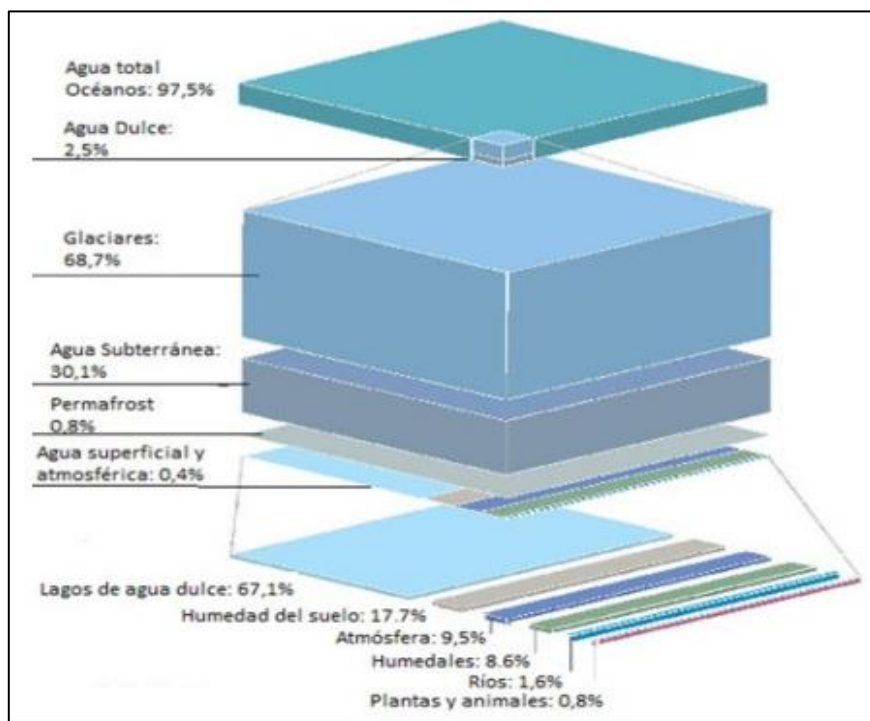
dependiendo la variación climática y el cambio de sus temperaturas que se presentan anualmente se verifica que las áreas glaciares aumentan su masa con las temperaturas relativamente frescas o en temporadas de lluvias, mientras que estos disminuyen en las temporadas secas o cálidas (PAEZ AEDO & TERESA, 2011) s.

Los glaciares son cuerpos de hielo sólido con un comportamiento dinámico, a medida que el tiempo avanza, los glaciares presentan un retroceso por lo cual es importante tener en la variación climática, el impacto que se está presentando por los cambios climáticos en las zonas glaciares son de un impacto severo afectando el decrecimiento de las áreas glaciares y aumentando los causes de las fuentes hídricas principales y sus causes. (Molano et al., 2022)

El deterioro de los glaciares es un fenómeno que se acentuó durante el siglo XX, donde la actividad humana es la gran responsable con la emisión de dióxido de carbono, afectando el calentamiento terrestre, por lo que a medida que el tiempo pasa, los glaciares se han ido deteriorando ante el avance imparable del cambio climático.

Es así que, los glaciares de la tierra llevan más de medio siglo retrocediendo ante la variación climática que se ha estado presentando, son pocos los lugares del planeta que se pueden resistir a este fenómeno de la variación climática que ha deteriorado las zonas glaciares.

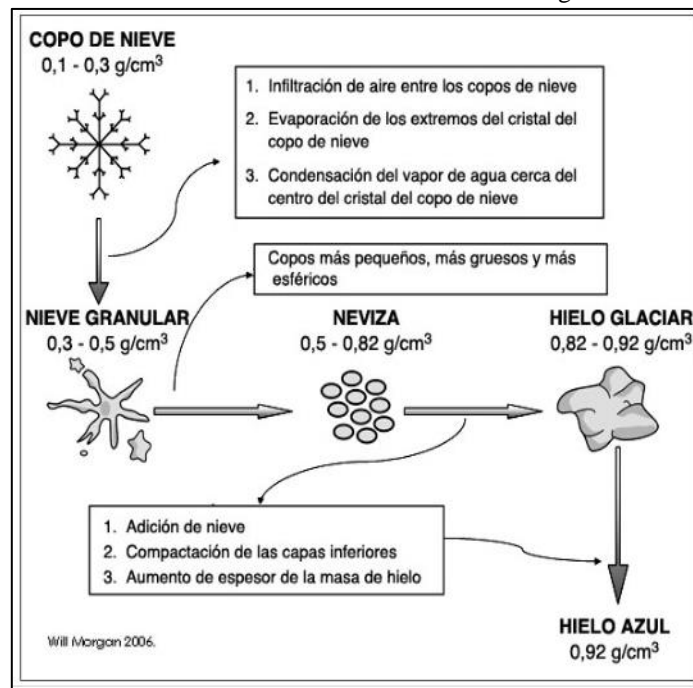
Ilustración 9. Distribución del agua en el planeta



Fuente: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, World Water Assessment Programme (WWAP), 2006.

## 4.7. FORMACIÓN Y MOVIMIENTO DEL HIELO GLACIAR

Ilustración 10. Ciclo de formación del hielo glaciar



Fuente: Los glaciares dinámica y relieve. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. (Pozo Rodríguez et al., 2004).

Como ya se había comentado anteriormente, los glaciares son masas de hielo que se extienden en una superficie terrestre, el hielo cumple con un papel fundamental en el desarrollo de la morfología de un glaciar, observando que estas masas de hielo glaciar todavía perduran en dos grandes acumulaciones continentales (Groenlandia y la Antártida), también en muchas pequeñas masas en las altas montañas. Dándole un sentido medio ambiental tanto en el presente como en el pasado. Con esto se constituye los característico de los paisajes. El hielo de Groenlandia y la Antártida ayuda a mitigar y a balancear las radiación y calor global.(strabler & Strablar, 1975) La nieve debe llevar unos procesos de transformación que comienza con copos de nieve, nieve granular, neviza, hielo glaciar y hielo azul.

## 4.8. TIPOS DE GLACIARES

Como se puede observar en la **Tabla 4**, el movimiento glaciar dependiendo de las propiedades físicas del hielo y las morfologías del terreno donde se encuentra localizado la masa helada. La clasificación es realizada bajo ambos parámetros. Existen clasificaciones geofísicas y geomorfológicas, donde esta última es la encargada de dividir la fisonomía y relaciones dinámicas con el relieve circundante, se distinguen de la siguiente manera:

**Tabla 4.** Describiendo los diferentes tipos de glaciares.

<b>TIPO DE GLACIAR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Valle o alpinos	Constituye la forma más común de glaciar de montaña. Posee una cuenca De alimentación con forma de circo y lengua ocupando los valles de los más altos macizos. Pueden ser complejos por confluencia de varios aparatos
Casquete	Conforman los más grandes glaciares individuales del planeta. No presentan confinamiento al relieve y se localizan en regiones polares y subpolares. el primero se encuentra en Groenlandia en el norte del planeta, cubierta con 1.7 millones de kilómetros cuadrados y más de 1500 metros de espesor de hielo. en segundo lugar, se encuentra la Antártida, con 13.9 millones de metros cuadrados de hielo, y más de 4000 metros de espesor máximo. Constituyendo casi el 10% de la superficie en nuestro planeta.
Meseta	Este tipo de masa glaciar se sitúa generalmente en paisajes de mesetas elevadas, asemejándose a las plataformas glaciares derivadas de los grandes casquetes, que cubren el paisaje, pero no en grandes escalas como las estructuras continentales.
Piedemonte	Estos glaciares ocupan las tierras bajas de las bases de montañas escarpadas, generados por lenguas glaciares que al salir de los valles que los confinaban se expanden formando extensas llanuras heladas al pie de la cadena.
Desbordamiento	Estas estructuras son también llamadas lenguas glaciares, las cuales se desprenden de un casquete polar o un glaciar de casquete, fluyendo colina abajo extendiéndose hacia afuera de las grandes masas. Estas lenguas son glaciares de valle producidos por el movimiento desde una gran masa, a través del terreno escarpado hasta llegar al mar, en donde se extienden formando plataformas glaciares flotantes, produciendo en algunos casos una generosa cantidad de icebergs.
Ladera	Constituyen una forma menor del tipo anterior presentando una corta lengua y menor capacidad.

Fuente: detección de cambios en el glaciar del volcán nevado del ruiz entre los años 1959 y 2014.  
(ARBELÁEZ, 2016)

#### **4.9. MOVIMIENTO DE UN GLACIAR**

De acuerdo con los estudios por parte de(GEOLOGIA MIN CS, 2016), los movimientos de un glaciar están conformados por dos tipos;

- El primero movimiento se genera al interior del glaciar, donde el hielo se comporta como hielo quebradizo hasta que la presión de este supera los 50 metros y una vez que lo supera, el hielo pasa a fluir como un material plástico, este comportamiento plástico se debe a estructura molecular del hielo, esta estructura construida por una encima de otra se le consideran capas y están unidas entre sí por fuerzas moleculares más débiles.

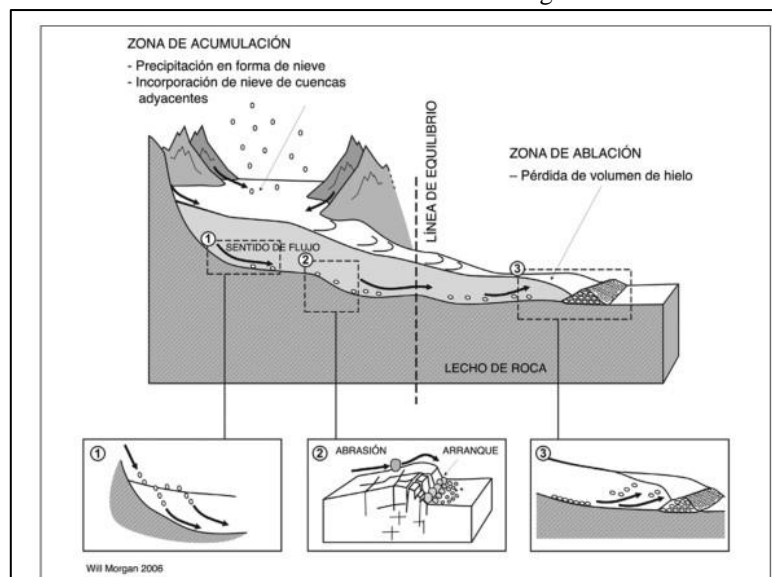


- El segundo tipo es el desplazamiento de todas las capas de hielo, este se nombra deslizamiento basal y la mayoría de los glaciares que existen se mueven mediante este proceso.

El desplazamiento del hielo sobre el lecho rocoso o el glaciar se funde más fácilmente cuando aumenta su presión de carga, así que en el interior de un glaciar el hielo puede fundirse aun cuando la temperatura ambiental sea inferior a los 0 grados. En esta zona la temperatura puede aumentar por medio de flujo plástico en el calor que viene desde el interior de la tierra y el agua de fusión desde la capa superior del glaciar(GEOLOGIA MIN CS, 2016).

El hielo fluye hacia delante con una velocidad uniforme a lo largo del glaciar, tomado encuentra la fricción por arrastre en la parte inferior del glaciar, la velocidad media de movimiento de los glaciares varia de una a otra algunos, se pueden mover tan lentos que incluso le da tiempo a la vegetación de crecer entre los derrubios que están acumulados en la superficie glaciar, por otra parte (GEOLOGIA MIN CS, 2016) argumentan que otros se mueven un poco más rápidos alcanzando a moverse 2 metros por día o bien entre 750 y 800 metros por año aproximadamente.

Ilustración 11. Movimientos de los glaciares



Fuente: Los glaciares dinámica y relieve. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. (Pozo Rodríguez et al., 2004)

Sin embargo, estudios realizados por parte de (GEOLOGIA MIN CS, 2016) indica que la nieve es la materia prima en el origen de los glaciares, estos ganan y pierden hielo constantemente y se forma en las zonas de acumulación generando el hielo glaciar. La zona de acumulación tiene un límite mejor conocido como el límite de la nieve perpetua que varían su ubicación en función de la latitud y dependiendo de la cercanía con los polos, por ejemplo: en el polo sur, este límite puede estar cerca del nivel del mar y en áreas tropicales se ubica solo en las montañas elevadas donde la altitud supera los 4500 metros, después de la zona de

acumulación y el límite de las nieves perpetuas se encuentra la zona de ablación donde se pierde parte del glaciar, ya sea por derretimiento de nieve de un invierno anterior o por el derretimiento de una parte de hielo glaciar, además del derretimiento de la nieve y el hielo, los glaciares suelen destruirse y esta situación es llamada desmembramiento que consiste en un desgaste por la ruptura y fragmentación del hielo glaciar generando iceberg en lugares donde el glaciar alcanza el nivel del mar como se puede observar en la Ilustración 11.

#### 4.10. CAMBIO CLIMÁTICO

Ilustración 12. Cambio climático



Fuente: Imágenes de Google. <https://www.mundoestudiante.com/problemas-cambio-climatico-consecuencias>.

Con las técnicas de la teledetección e imágenes obtenidas del satélite (lansadt) que se implementaran en el presente proyecto se busca evidenciar que el cambio climático es notorio, demostrando como estos alteran las zonas glaciares, y como las emisiones antropógenas en los gases de efecto invernadero son los más altos en los últimos años. (Pachauri et al., 2014) Según el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático o IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático), y que a su vez, teniendo en cuenta las convenciones marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático en su Artículo 1 de 1992: “Por “cambio climático” se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.” (Pachauri et al., 2014). Los gases de efecto invernadero viene aumentando desde la era preindustrial, donde con el paso de los años han crecido exponencialmente y como consecuencia, se han alcanzado alta concentraciones de dióxido de carbón, metano y óxido de nitroso en la atmósfera. Los océanos se están calentado al punto de que los hielos glaciares que están acumulados en los continentes de Groenlandia y la Antártida se derritan más rápido y el grosor del hielo sea más delgado, ocasionando el aumento del nivel mar.

#### 4.11. MARCO CONCEPTUAL

- **Cartografía:** es una ciencia de comunicación que se encarga de estudiar diferentes métodos de sistemas terrestre, permitiéndonos a través de mapas representar información espacial acerca de un terreno, identificando elementos básicos tales como las curvas de nivel, pozos de agua, redes hídricas y algunos elementos artificiales humanos o culturales como las redes de transportes y centros poblados, la cartografía permite representar en un plano lo que está sucediendo en la superficie terrestre como los fenómenos naturales. (IGAC, 2021), es decir que la cartografía permite representar un elemento en lugar, una fuente hídrica o cualquier objeto que se encuentra en la tierra, permitiéndola representación en un mapa, transmitiendo información geográfica. Representándolos como puntos, líneas y polígono.
- **Teledetección:** La teledetección es una técnica que permite ayuda a obtener datos de la superficie terrestre desde los sensores que se encuentran instalados en las plataformas espaciales, la interacción que se genera electromagnéticamente con el terreno y el sensor permitiendo la ayuda para la generalización de la serie de datos que son procesados para poder obtener resultados e información interpretable de la superficie terrestre (INGEOEXPERT, 2020), con la teledetección es el procesamiento de las características y propiedades físicas de territorio, sin tener contacto directo con la superficie a terrestre sin necesidad de trabajar en campo ya que gracias a la teledetección satelital podemos obtener información detallada del puto a estudiar.
- **Espectro electromagnético:** El espectro electromagnético es la distribución de energías de las radiaciones electromagnéticas. Se puede expresar en términos de energía, aunque más comúnmente se hace en términos de la longitud de onda y frecuencias de las radiaciones. Se extiende desde las radiaciones con menor longitud de onda (los rayos gamma) hasta las de mayor longitud de onda (las ondas de radio). (concepto, s.f.)electromagnético es la cantidad de longitudes de ondas emitida a partir de la recepción obtenida de parte de los satélites u o aeronaves no tripuladas.
- **Glaciares:** los glaciares grandes masas principalmente por nieve, hielo y rocas tras un largo procesos de tiempo, la nieve se compacta que da como resultado una gruesa y extensa capa de hielo, este proceso recibe el nombre de glaciación, la formación de un glaciar puede tardar más de 100 años. (Ecología verde, 2020) los glaciares son importancia en el ecosistema por ser unos indicadores climáticos. Son unos de los proveedores de agua para las fuentes hídricas del planeta ya que de estos dependen los seres vivos para el consumo del agua dulce y la supervivencia de estos.
- **Emisiones Antropogénicas:** son gases que se derivan de las quemadas de combustibles fósiles para la producción de energía y de la actividad humana, la deforestación y los cambios del uso de la tierra teniendo un incremento en las emisiones de gases.(Mora-

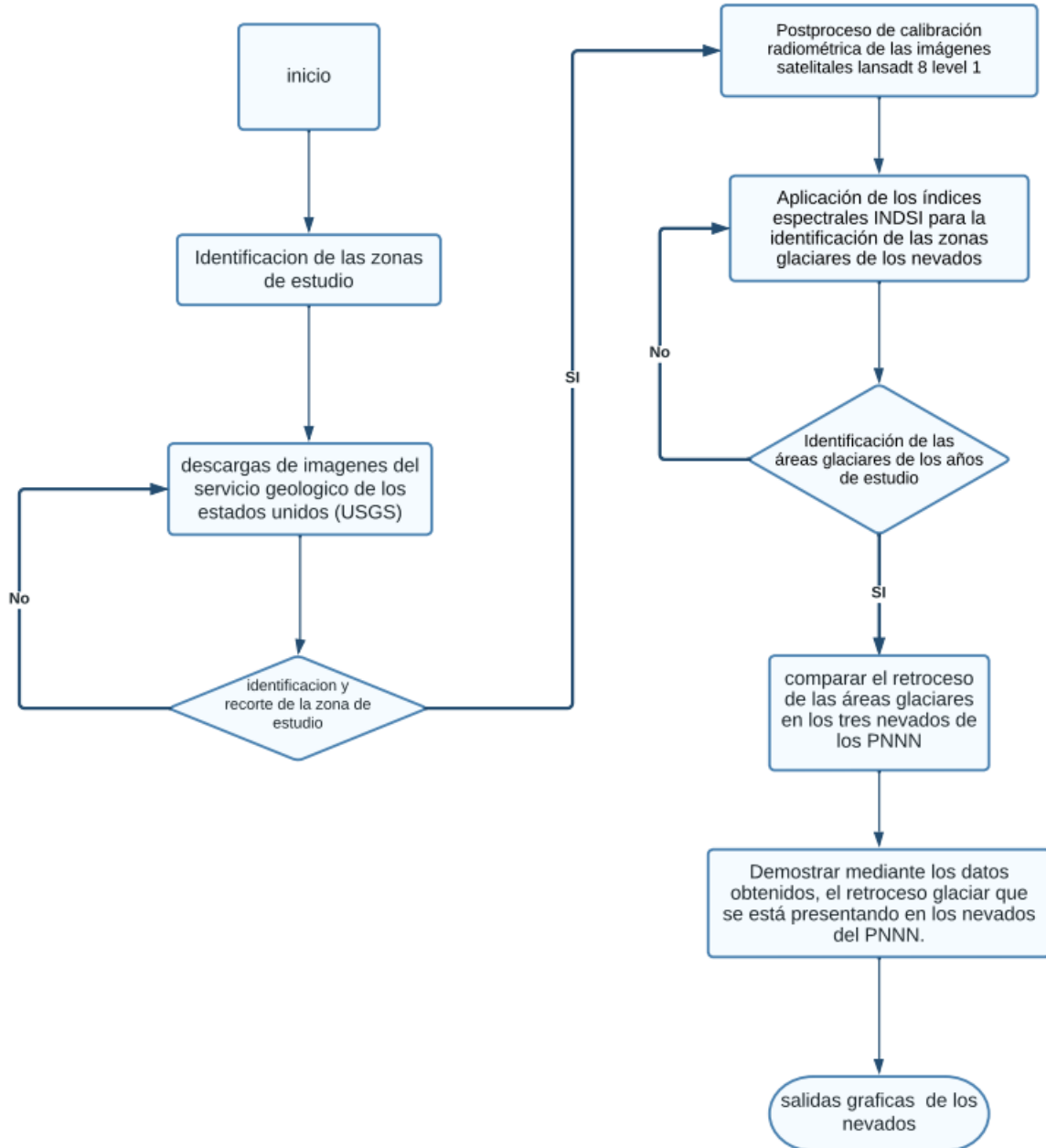
Barrantes et al., 2021), los contaminantes antropogénicos están creados a partir de las actividades que parten desde las artesanías o el trabajo doméstico hasta las grandes explotaciones mineras y la manufactura, estas emisiones son producidas en mayor cantidad en los sectores industriales, la actividad humana produce una gran parte de estas emisiones a partir de los restos orgánicos junto con la quema de combustibles de los coches o automóviles esto contribuyendo con las emisiones contaminantes antropogénicas.

#### 4.12. MARCO LEGAL

<b>LEYES Y RESOLUCIONES</b>	<b>RESUMEN</b>
<b>Ley 2ª de 1959.</b>	Por medio de esta ley con el objeto de conservar la flora y fauna nacionales, se establece la competencia del Ministerio de Agricultura en declarar “Parques Nacionales Naturales” en aquellas zonas que el Gobierno Nacional, previo concepto favorable de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, delimite y reserve de manera especial, por medio de decretos. Además, se declaran de utilidad pública las zonas establecidas como “Parques Nacionales Naturales”, entre otros aspectos.
<b>artículos 79 y 80 de la Constitución Política</b>	consagran el derecho colectivo a un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, planificar el manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución y prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.
<b>Artículo 1º</b>	Mandato sobre la Protección de los Glaciares. Los Estados Latinoamericanos deben proteger y conservar las áreas y ecosistemas de glaciares, nevados y de los denominados hielos eternos para garantizar la regulación hídrica y las reservas de agua dulce para sus ciudadanos, conservar la biodiversidad, el suelo, la calidad del agua, la belleza del paisaje y la identidad cultural, así como la conservación de los ecosistemas y las actividades productivas. Con la conservación de estos ecosistemas se ayuda a la protección del sistema climático en beneficio de las generaciones presentes y futuras.
<b>Resolución 1058 de 19 de diciembre de 1992</b>	Por la cual se restablece el acceso al Parque Nacional Natural Los Nevados, sector Nevado del Ruiz, se asignan cupos y se fijan condiciones para el ingreso a la comunidad.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

Ilustración 13. Metodología



Fuente: los autores

Como objetivo principal de la investigación se tiene, identificación de las áreas glaciares en el parque nacional natural los nevados en los años 2015, 2017, 2020 y 2022.

1. se identifica la zona de estudio para así proceder a la descarga de las imágenes satelitales del landsat 8 NIVEL 1 obtenidas de la página USGS, estas imágenes son descargadas en Niveles Digitales (ND), se realiza el recorte de la zona de estudio identificando los tres volcanes principales pertenecientes al PNNN.
2. Se realizará la calibración radiométrica en las imágenes se utilizará el software ArcGis con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se refleja en la imagen.
3. Aplicación del índice espectral NDSI para la determinación de la reflectancia de las áreas glaciares de los nevados, obteniendo como resultado la limitación del componente glaciar del nevado y el área total por el cual está conformado.
4. Comparación del retroceso glaciar que se está presentando en los años 2015,2017, 2020 y 2022 determinando cuanta área glaciar se ha perdido durante estos años.
5. Mediante el software ArcGis se hace la interpretación del retroceso glaciar que se presenta en los nevados pertenecientes al PNNN, haciendo una interpolación de los años de estudio y demostrando mediante unas salidas graficas la perdida glaciar que que se viene presentando.

### **5.1. UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS AGRO-CLIMATOLOGICAS**

El Parque Nacional Natural Los Nevados se encuentra en el Macizo del Ruiz - Tolima, que lo conforman los Volcanes Nevados del Ruiz, Santa Isabel y Tolima. En la Cordillera Central, con jurisdicción de los departamentos de Caldas (Municipio de Villamaría), Risaralda (municipios de Santa Rosa de Cabal y Pereira), Quindío (Municipio de Salento) y Tolima (municipios de Ibagué, Anzoátegui, Santa Isabel, Murillo, Villahermosa, Casabianca y Herveo). Este parque fue creado en 1974 y cuenta con una extensión de más de 61.420 hectáreas, las condiciones climáticas desde frío, páramo y nieves perpetuas, el régimen de lluvias es bimodal en toda el área del parque con dos periodos de lluvias altas y bajas, donde su temperatura se encuentra dentro de °C 14°C – 4°C.

### **5.2. UNIVERSO, POBLACION Y MUESTRA**

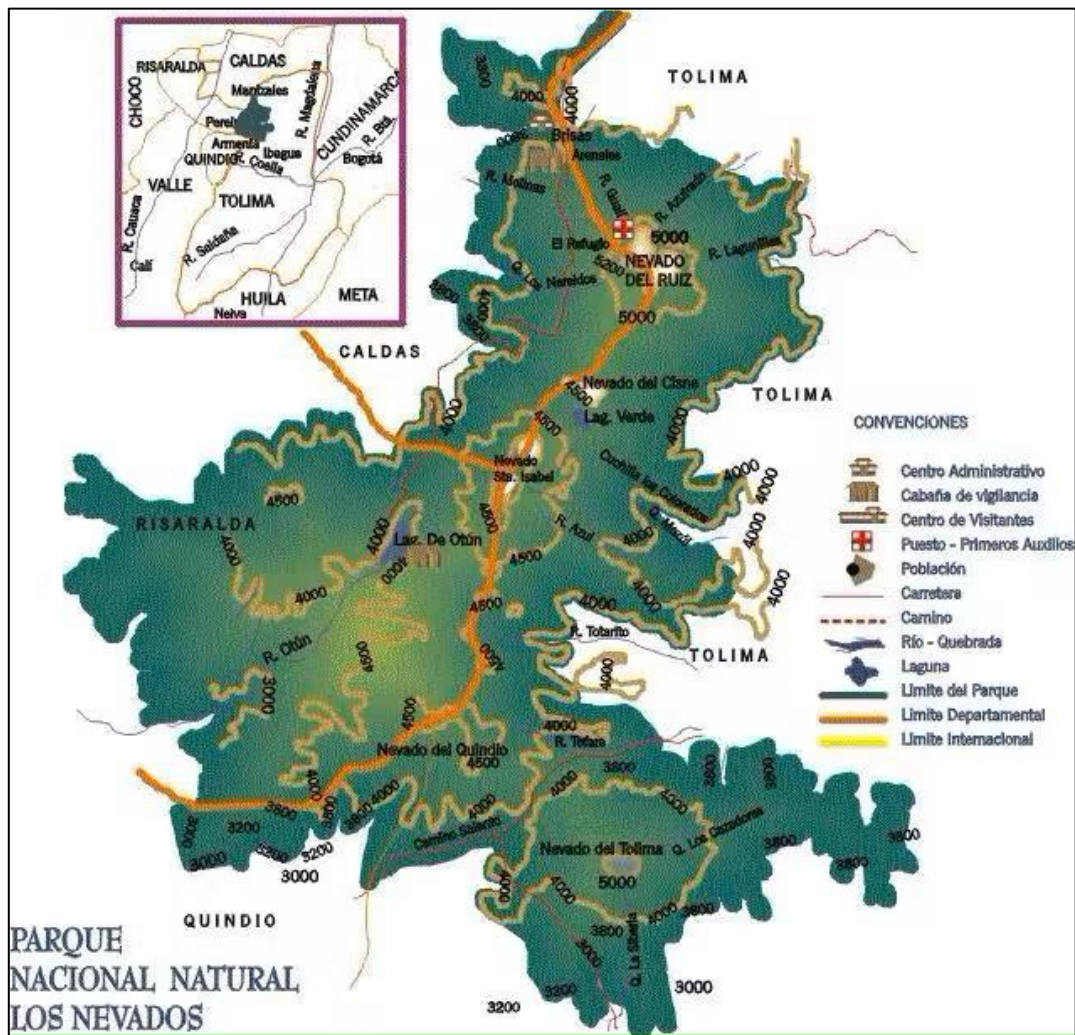
El área de estudio para el presente proyecto se encuentra en el corazón del Eje Cafetero, y el Parque Nacional Natural los Nevados está conformado por tres volcanes, en el complejo volcánico norte donde se ubican:

- Volcán Nevado del Ruiz ubicado sobre la cordillera de los Andes, justo entre los valles del Magdalena y el Cauca, junto a este se encuentra situado el municipio del Líbano, entre el departamento del Tolima y Caldas, su ubicación geográfica es 4°54' N y 75°19' O.
- Nevado del Tolima se localiza en el departamento de Tolima sobre el idílico Cañón del Combeima donde el centro urbano más cercano es el corregimiento de Juntas. Geográficamente el nevado se ubica entre las coordenadas 4°39'N y 75°22'O.

- Volcán Nevado Santa Isabel se localiza alrededor de las coordenadas geográficas 4°49'N y 75°22'O, Su red hídrica discurre hacia el flanco occidental sobre los municipios de Villamaría (departamento de Caldas), Santa Rosa de Cabal y Pereira (departamento de Risaralda) a través de los ríos Claro, Otún y Campoalegre, tributarios del río Cauca. Hacia el flanco oriental el volcán alimenta los ríos Totarito, Azul y Mozul, pasando por los municipios de Murillo y Santa Isabel (departamento de Tolima), que hacen parte de la gran cuenca del río Magdalena.

Estos tres nevados conforman el área protegida del Parque Nacional Natural Los Nevados, su territorio hace parte de varios departamentos de Colombia tales como Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima

Ilustración 14. Mapa Plan de Manejo Parque Nacional Natural los Nevados



Fuente: Ubicación y relación del ecoturismo Parque Nacional Natural Los Nevados.

<https://www.summitpost.org/mapa-general-del-parque-los/53199>

### 5.3. TECNICAS O INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS

**Método de análisis:** Para la recolección de la información geográfica se tomarán imágenes satelitales de la cobertura en la zona del presente proyecto, teniendo en cuenta la información recolectada se procederá a realizar un postproceso en el servidor ArcGis para así proceder con la creación y delimitación de la zona de estudio a trabajar, permitiendo hacer la combinación adecuada de las bandas para obtener la reflectancia de las zonas glaciares de estudio.

### 5.4. INFRAESTRUTURA Y EQUIPOS

- **Software:** ArcGis
- **Institucionales:** Licenciamiento académico del software ArcGis por parte de la Universidad de Cundinamarca.

### 5.5. RESULTADOS/PRODUCTOS ESPERADOS Y FORMA DE VERIFICACIÓN

ACTIVIDAD	OBJETIVO ESPECÍFICO	MES	RESULTADO ESPERADO
Determinación de la zona de estudio	1	1 mes	Determinación de la zona de estudio que se encuentra en las coordenadas 4°48'00"N 75°22'00"O
Descarga de las imágenes satelitales landsat	2	2 mes	Descarga de las imágenes satelitales landsat con un mínimo de píxel de 1m donde se determinará el área de glaciar de los tres nevados
Postproceso de las imágenes	3	3 mes	Corrección atmosférica de las imágenes satelitales obtenidas para la determinación de calidad de la imagen y poder obtener una mejor visualización de la zona de estudio
Implementación del índice espectral NDSI	4	4mes	Implementación del índice NDSI para la identificación de la cobertura de nieve presente en los nevados del PNNN
Representación cartográfica de las zonas glaciares	5	5mes	Salidas cartográficas de la zona de investigación del proyecto donde se identificará las características de la decadencia que han sufrido los nevados durante la época de los años 2015, 2017, 2020 y 2022.

Fuente: los autores



## 6. DESARROLLO

### 6.1. ZONA DE ESTUDIO

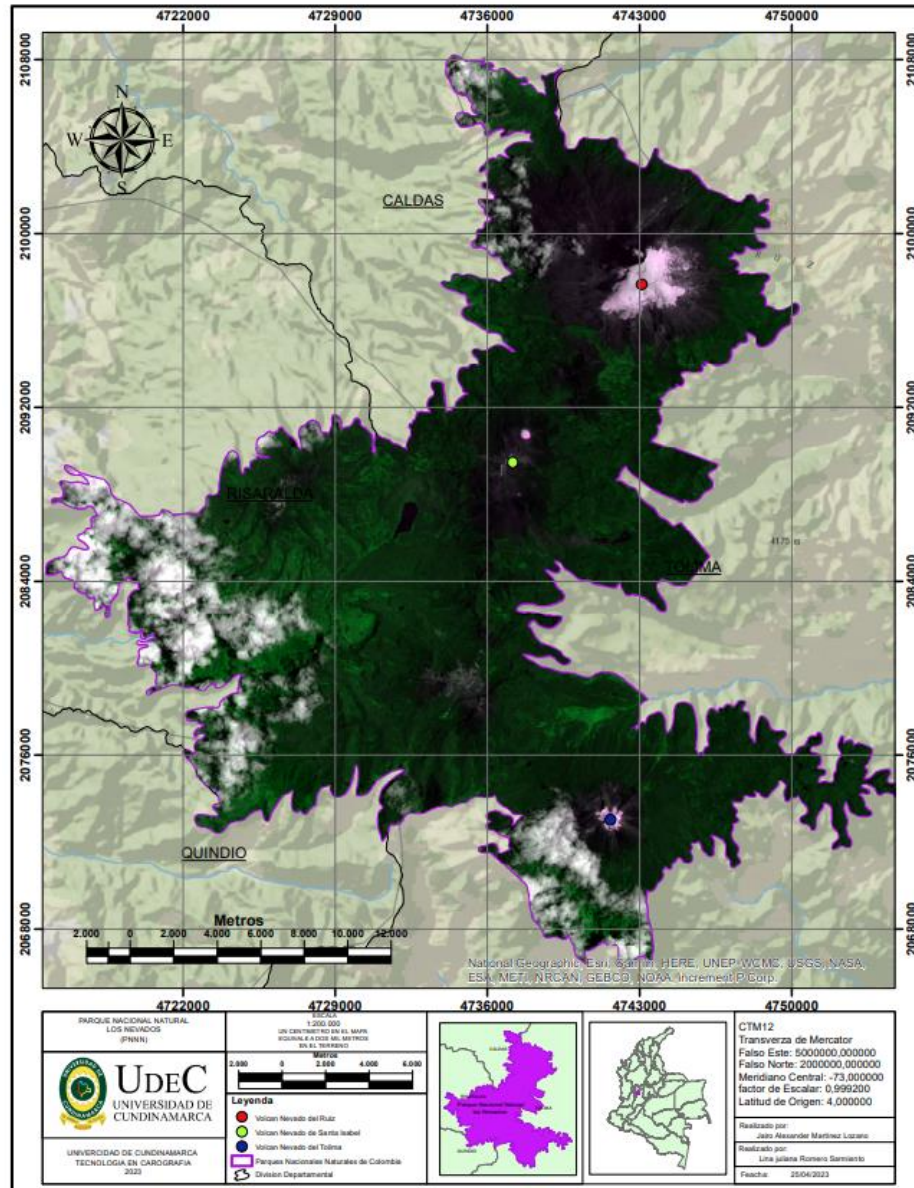
El parque nacional natural los nevados se encuentra en el corazón del eje cafetero, gracias a la información recolectada por parte del SINAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas) se deduce que el parque se encuentra conformado por un ecosistema que está compuesto por pajonales, turberas, arbustales, pantanos y lagunas, ocupando el 80% del área en el parque, esta área protegida fue creada en 1974 con el fin de contribuir con la conservación del ecosistema importante a nivel mundial como se presentan en los tres nevados por los cual está compuesto. el parque nacional natural de Colombia se encuentra conformados por tres nevados principales. en estos nevados se encuentran ecosistemas de súper-paramos que es denominado como paisaje lunar donde predomina los organismos extremófilos, rocas y cenizas, paramo, humedales y bosques altoandinos donde se encuentran gran variedad de vida silvestre.

los glaciares conforman el 4% de área en el parque que se encuentran representados por tres volcanes, el Nevado del Ruiz, el Nevado de Santa Isabel y el Nevado del Tolima, los cuales a partir de sus des hielo origina los causes iniciales de los ríos que se encuentran conformados dentro del parque donde 5 de estos drenan sus aguas en la hoya hidrográfica del Magdalena (Gualí, Lagunilla, Recio, Totare y Coello) y cuatro en el del Cauca (Chinchiná, Campoalegre, Otún y Quindío).(PNNC, 2020)

El SINAP comprende que este parque es un eje articulador de diferentes entidades biológicas en contextos regionales donde ese interactúa con entidades ambientales regionales, departamentales y locales como los son el SIRAP (Sistema Regional de Áreas Protegidas) ubicada en el eje cafetero, SIDAP (Sistema Departamental de Áreas Protegidas) que se encuentran ubicadas en Quindío, Caldas, Tolima, SIMAP (Sistema Municipal de Áreas Protegidas) ubicada en murillo, Santa Rosa y Manizales.

Los yacimientos hídricos provenientes de esta área protegida son esencialmente importantes ya que aportan ala desarrollo productivo y humano, el complejo de humedales del Otún (laguna de Otún) es declarado de gran importancia internacional por la convención (RAMSAR, 2015) *“siendo un tratado intergumental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional siendo adoptada en 1971 en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos”*(RAMSAR, 2015) Conservando la riqueza hídrica y biológica. Colombia hace parte de esta convención Ramsar desde 1.998 donde cuenta actualmente con siete sitios de humedales con gran importancia internacional

Ilustración 15 Zona de estudio, Parque Nacional Natural los Nevados



Fuente: Los Autores

## 6.2. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ

El volcán Nevado del Ruiz se encuentra localizado sobre el eje de la cordillera central siendo una de las estructuras volcánicas más activas de Colombia siendo este el nevado más septentrional de la cordillera central, en las épocas precolombinas se le llamaba Cumanday (Cerro Blanco), Tama (padre Mayor o Grande) y Tabuchia (Candela o Fuego). (IDEAM, 2022)actual mente el volcán Nevado del Ruiz es llamado así por el capitán Francisco Ruiz, quien fue dueño de la encomienda de pampana en Chinchiná, caldas. (IDEAM) El volcán se encuentra localizado a 4°53' N y 73°19' W, cuenta con una altura máxima de 5330 msnm.

El volcán nevado del Ruiz se encuentra actualmente activo (naranja), según información del ministerio de minas y energía que a través del servicio geológico colombiano (SGC) informa que para las fechas del 13 de abril de 2023 continúa la actividad sísmica asociada a la fracturamiento de las rocas al interior del volcán, el servicio geológico de Colombia se encuentra en permanente monitoreo sobre el volcán nevado del Ruiz en donde para la fecha del 22 de abril la sismicidad que se presenta junto con los movimientos de fluidos al interior de los conductos volcánicos, los sismos que se están presentando por el fracturamiento de la roca están localizados en el sector suroccidente, nororiente y oriente del volcán, estos fenómenos que se han venido presentando ratifica que desde el servicio geológico colombiano (SGC) se le informa a la comunidad que la actividad del volcán nevado del Ruiz se encuentra muy inestable. Teniendo la posibilidad que los niveles de la actividad sísmica que tiene el volcán y niveles de desgasificación o la inminente salida de ceniza disminuyan o sean oscilatorios en el sentido de que pueda aumentar unos días y disminuir otros.

Ilustración 16: Volcán nevado del Ruiz



Fuente: servicio geológico colombiano. (SGC)

### 6.3. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA

El volcán nevado del Tolima se encuentra localizado entre las coordenadas geográficas 4°39' Norte y 75°22' Oeste, cuenta con una altura de más de 5280 metros sobre el nivel del mar, su área glaciaria se encuentra en la jurisdicción de los municipios tolimenses de Ibagué y Anzoátegui, este se encuentra localizado en el departamento del Tolima entre los departamentos del Quindío, Risaralda y Caldas. (EcuRed, 2022)

Su red hídrica presenta una estructura casi simétrica (IDEAM) donde posee un patrón radial de drenaje en la parte más alta, dichos drenajes escurren hacia la vertiente oriental de la cordillera central, donde donan sus aguas al río Magdalena a través de los drenajes San Rumualdo, Toche y Combeima dichos municipios se encuentran en la jurisdicción de los municipios del Tolimenses Ibagué y Anzoátegui.

Este volcán se encuentra visualmente como un cono perfecto, que se encuentra llamativo por su forma que en su punta finaliza con un pequeño glaciar, según información del servicio geológico de Colombia (SGC) este volcán se formó sobre una base de vulcanitas miópleistocénicas y rocas cristalinas de batolito, la formación del volcán del Tolima se relaciona en dos etapas ocurridas en el cuaternario donde la inicial es el calderico y la otra la construcción del cono. Los productos por los que se encuentra relacionado el volcán han sido catalogados por el SGC como andesitas de dos piroxenos que se trata de una masiva lava que se moviliza por bloques, depósitos piroclásticos de cenizas.

Ilustración 17: Volcán Nevado del Tolima



Fuente: Servicio geológico de Colombia

#### **6.4. VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL**

El volcán nevado santa Isabel se encuentra ubicado entre el volcán nevado del Ruiz y del volcán nevado del Tolima, siendo este el nevado de menor altitud que cuenta con zona glaciar en Colombia, este junto con los otros dos nevados forman parte del área protegida del Parque Nacional Natural de Colombia (PNNC), información obtenida por parte del IDEAM demuestra que este no es una estructura volcánica con un cráter y forma cónica como el la del nevado del Tolima o el huila, este cuenta cun un conjunto de domos que se crearon por efusiones de lava que se presentaron a fines de la época geológica terciario y principios del cuaternario. (IGAC). Permitiendo la aceptación de los glaciares.

Este volcán se localiza alrededor de las coordenadas geográficas 4°49'N y 75°22'W el punto más alto del nevado santa Isabel se encuentra a 4968 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una red hídrica que discurre hacia al flanco occidental sobre los municipios de Villamaría (departamento de caldas), santa rosa del cabal y Pereira (departamento de Risaralda) a través de los ríos Claro, Otún y Campo Alegre. Hacia el lado oriental el volcán alimenta los ríos Totarito, Azul y Mozul pasando por los municipios de Murillo y Santa Isabel (departamento del Tolima) haciendo gran parte de la cuenca del río Magdalena.



Ilustración 18: Nevado sata Isabel



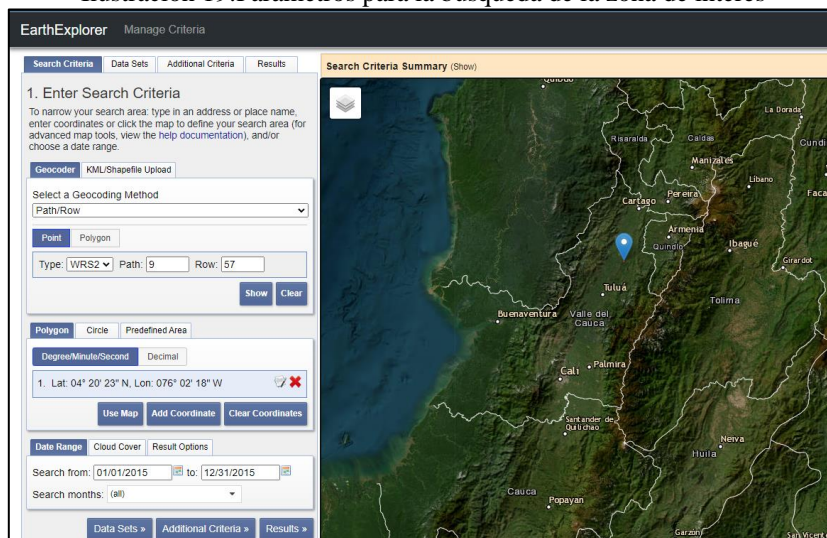
Fuente: Servicio Geológico colombiano

## 6.5. SERVICIO GEOLÓGICO USGS EARTH EXPLORER

El servicio geológico USGS (United States Geological Survey) cuenta con el mayor registro de recolección de datos de imágenes satelitales SIG gratuitas, que se encuentran disponibles a través del explorador terrestre EarthExplorer. (EOS DATA ANALYTICS, 2020)

EarthExplorer permite restringir la búsqueda de las imágenes satelitales por área, fecha, % de nubosidad, todos los resultados que se obtengan se pueden visualizar una por una determinando cuál de las mejores imágenes satelitales tienen una mejor visibilidad de la zona de investigación.

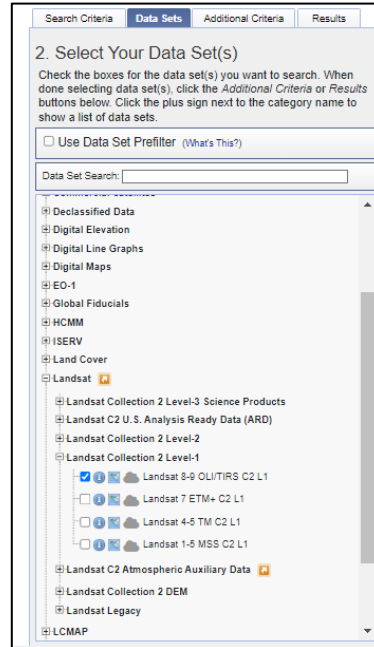
Ilustración 19: Parámetros para la búsqueda de la zona de interés



Fuente: United States Geological Survey (USGS)

Obtenida la zona de búsqueda en este caso el del PNNN como se evidencia en la ilustración (19), se procede a la elección del del satélite landsat 8 nivel 1 (Ilustración 20: Elección del satélite landsat 8 nivel 1), para entrar en la búsqueda de la imagen satelital de la zona, donde se presente menos nubosidad y una clara visión de los tres nevados pertenecientes al Parque Nacional Natural los Nevados

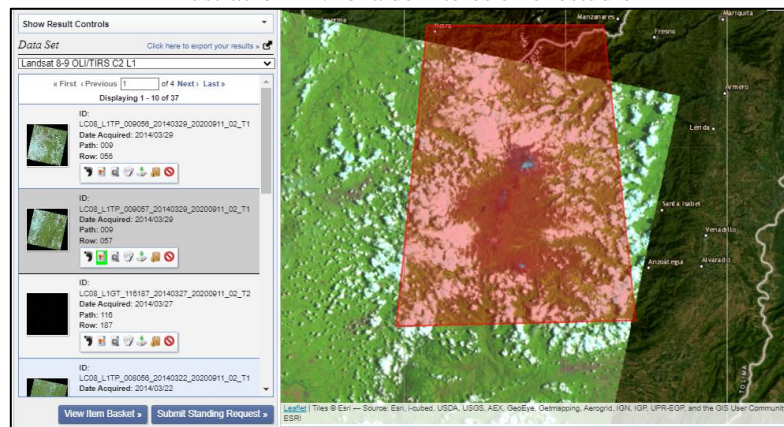
Ilustración 20: Elección del satélite landsat 8 nivel 1



Fuente: USGS

Obtenida la zona del estudio se procede hacer la respectiva búsqueda de la imagen satelital donde se presente menos nubosidad y una clara visión de las zonas glaciares de los nevados de estudio como se logra evidenciar en la (Ilustración 21: Zona de interés en el estudio) obtenido esto se procede a la descarga de la imagen satelital con sus respectivas bandas.

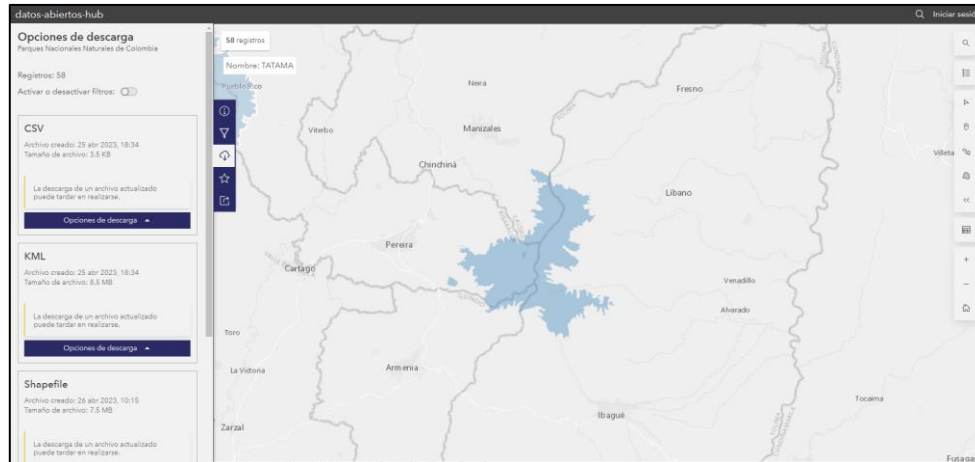
Ilustración 21: Zona de interés en el estudio



Fuente: USGS

Con la descarga de la imagen seleccionada de los respectivos años de estudio se procedió hacer un recorte de la zona de interés con la ayuda del SHP de PNNN obtenido de la plataforma Datos Abiertos Hub, (DATOS ABIERTOS, 2022) (Ilustración 22: Descarga del SHP de la Zona de estudio), permitiéndonos de esa manera trabajar solo la zona del presente proyecto.

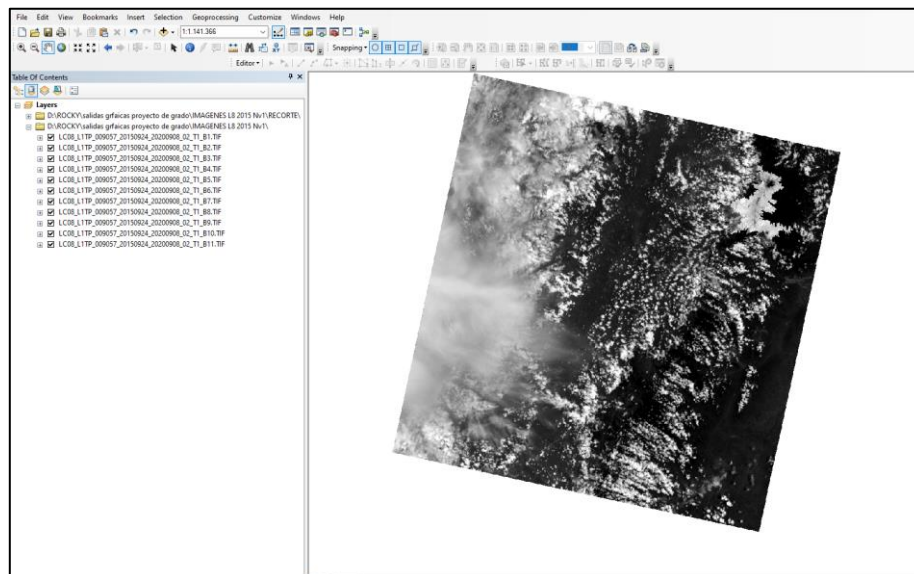
Ilustración 22: Descarga del SHP de la Zona de estudio



Fuente: Datos Abiertos Hub

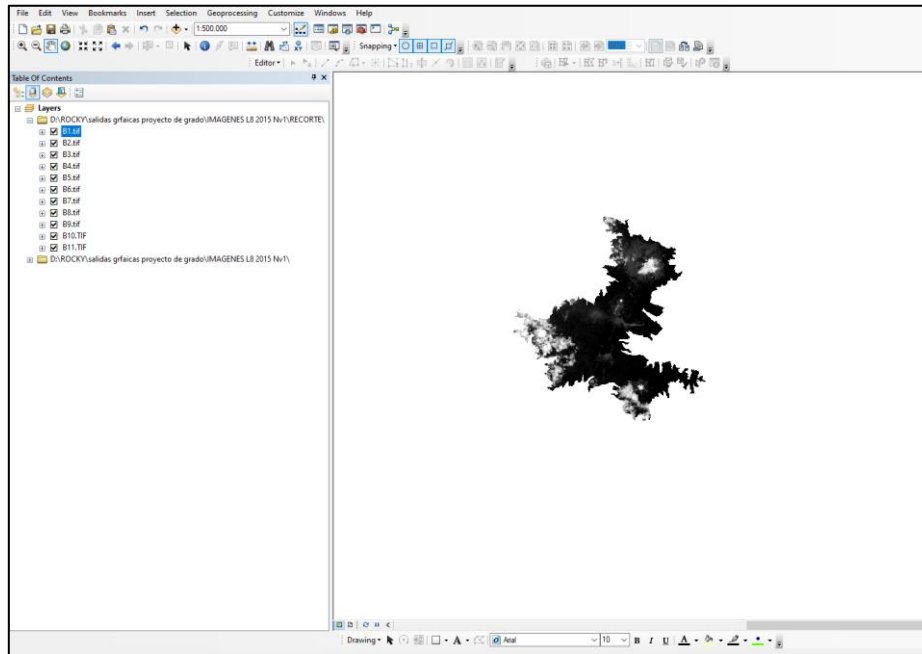
Para el método de recorte de la zona del parque Nacional Natural los Nevados, se utilizaron las herramientas del software ArcGis, que este junto con el SHP de PNNN se logró delimitar la zona de interés de la imagen satelital, dicho proceso se realiza en las bandas 3 y 6 por las que está compuesto el índice espectral NDSI.

Ilustración 23: imagen satelital lansadt 8



Fuente: los autores

Ilustración 24: Recorte de la imagen satelital landsat 8



Fuentes: los autores

## 6.6. CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA DE LA IMAGEN LANDSAT 8 NIVEL 1

Realizado el proceso anterior se procede hacer la calibración radiométrica de la imagen satelital, El programa landsat 8 es una serie de satélites construidos y desarrollados por parte de la administración Nacional de la Aeronáutica y del espacio (NASA), este junto con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

### 6.6.1. Calibración radiométrica

Para la calibración radiométrica de las imágenes satelitales landsat 8 nivel 1, a radiancia se utilizó la fórmula que se puede evidenciar en la (Ilustración 25: fórmula para la calibración radiométrica), en esta fórmula se debe identificar ( $L_{MAX}$  y  $L_{MIN}$ ) (Ilustración 26: Radiancia máxima y mínima por banda) (Ilustración 27: nivel de brillo máximo y mínimo por banda) siendo estas la radiancia máxima y mínima de cada banda y ( $Q_{calmax}$  y  $Q_{calmin}$ ) siendo este el nivel de brillo máximo y mínimo por banda.

Ilustración 25: fórmula para la calibración radiométrica

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{MAX_{\lambda}} - L_{MIN_{\lambda}}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + L_{MIN_{\lambda}}$$

Fuente: Resumen de los coeficientes de calibración radiométrica actuales para los sensores Landsat MSS, TM, ETM+ y EO-1 ALI



Para la identificación de los parámetros se debe tener en cuenta el metadato que se encuentra junto con la descarga de la imagen satelital y sus bandas, identificando este, se procede a buscar el valor de la radiancia y del brillo máximo y mínimo.

Ilustración 26: Radiancia máxima y mínima por banda

```
END_GROUP = LEVEL1_PROCESSING_RECORD
GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 755.28326
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.37154
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 773.41925
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.86921
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 712.69922
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.85493
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 600.98816
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.62980
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 367.77478
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.37096
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 91.46224
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.55298
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.82767
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.54576
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 680.15320
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -56.16727
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 143.73473
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.86966
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
```

Fuente: los autores

Ilustración 27: nivel de brillo máximo y mínimo por banda

```
END_GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
```

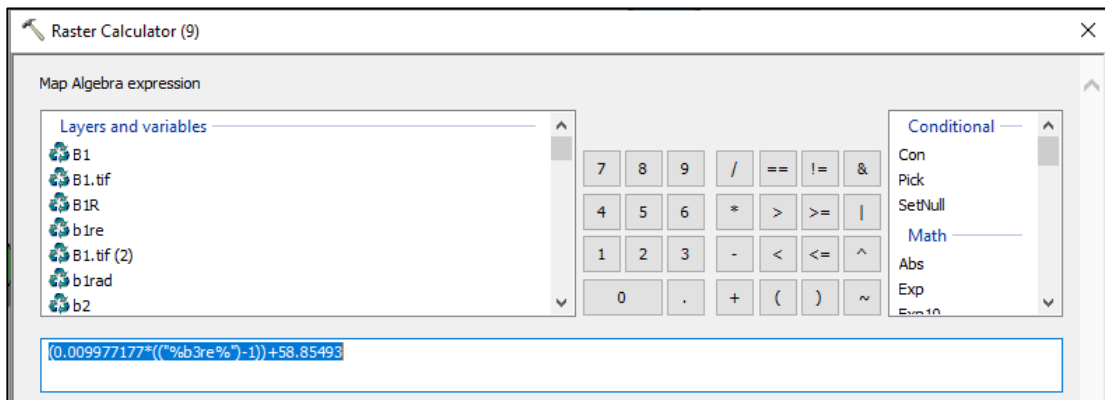
Fuente: los autores

## 6.7. CONVERSIÓN DE ND A RADIANCIA

Este proceso se les realizaron a las dos bandas, B3(verde), B6(SWIR) que se necesitaron para hacer la aplicación del índice espectral NDSI, gracias a este índice espectral se logra evidenciar la reflectancia que se obtiene de las áreas glaciares de los nevados en los respectivos años de estudio evidenciando la decadencia que se ha presentado atreves de los años.

Obtenido los valores del metadato e identificado en las (Ilustración 26:Radiancia máxima y mínima por banda Ilustración 27: nivel de brillo máximo y mínimo por banda), para la aplicación de la fórmula de la (Ilustración 25: fórmula para la calibración radiométrica) y así obtener la calibración radiométrica de las bandas satelitales, se procede a implementar la ecuación de la ilustración en la calculadora ráster (Ilustración 28: Corrección imagen satelital) del software ArcGis, donde se remplazan los parámetros de metadato que se expresaron anteriormente para obtener la calibración de la imagen pasando de valores Niveles Digitales (ND) a valores de radiancia.

Ilustración 28: Corrección imagen satelital



Fuente: los autores

## 6.8. ÍNDICE ESPECTRAL NDSI

este índice de nieve diferenciada normalizada (Ilustración 29: Índices de nieve diferenciado NDSI) es una medida relativa de la magnitud de la reflectancia entre los rangos visibles del espectro B3 (Verde) y el infrarrojo de onda corta B6 (SWIR), esta combinación de índice nos sirve para identificar la cobertura de nieve y a la vez ignorar de nubes.

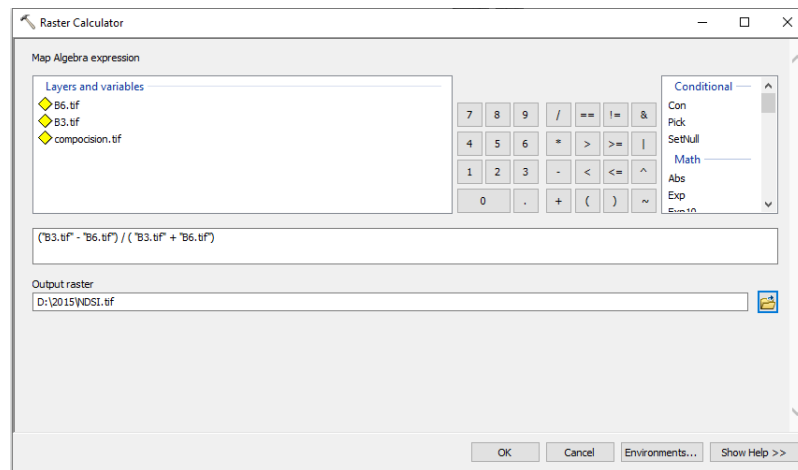
Ilustración 29: Índices de nieve diferenciado NDSI

Nombre del Índice	Formula	Descripción
Índice de Nieve Diferencial Normalizado -NDSI-	$\frac{\text{verde} - \text{SWIR}}{\text{verde} + \text{SWIR}}$	Para mapear la diferenciación de nieve-hielo en áreas cubiertas de nieve.

Fuente: Técnica de diferencia normalizada NDSI (Bluemarblego, 2019)

Para la aplicación del índice NDSI se utilizó la calculadora ráster que se encuentra en el software ArcGis donde se realizó la ecuación que se puede evidenciar en la (Ilustración 30: calculadora ráster para operación del NDSI), Gracias a la implementación del índice espectral, se logró determinar el área glaciario perteneciente a los tres nevados del PNNN y ver el retroceso glaciario que se presenta en los años de estudio.

Ilustración 30: calculadora ráster para operación del NDSI

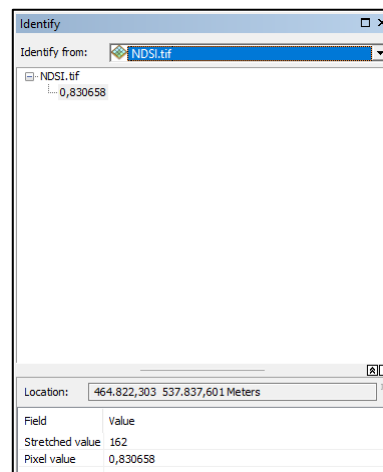


Fuente: los autores

## 6.9. ENMASCARAMIENTO

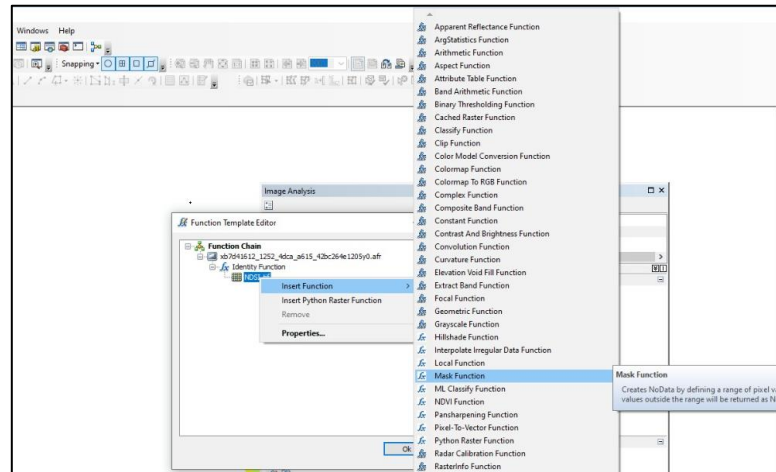
Obtenido los resultados de la reflectancia del índice espectral se procede a realizar un enmascaramiento de la zona para determinar el área total de la zona glaciario, este proceso se realiza en el software ArcGis determinando el valor del píxel (Ilustración 31: Nivel del píxel) de la zona glaciario.

Ilustración 31: Nivel del píxel



Fuente: los autores

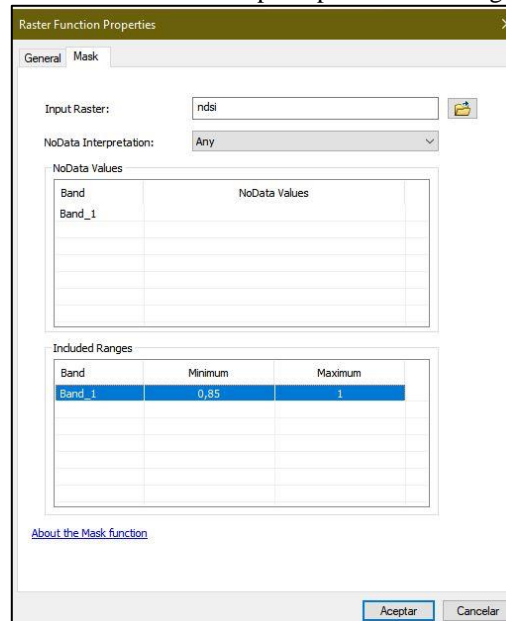
Ilustración 32: Enmascaramiento



Fuente: los autores

Echo este procedimiento de la (Ilustración 32: Enmascaramiento se le ingresan los valores del píxel de la zona glaciaria para así el software proceda a delimitar la zona glaciaria de interés en los volcanes.

Ilustración 33: Valores del píxel para la máscara glaciaria



Fuente: los autores

Ingresados los parámetros los cuales se evidencian en la (Ilustración 33: Valores del píxel para la máscara glaciaria) para realizar el enmascaramiento de la zona de interés obtenemos como resultado la información necesaria de las zonas glaciarias de los tres nevados que se encuentran en PNNN.

Echo esto, el resultado se procede a convertir en formato vector o SHP (Ilustración 34: Conversión a formato vector) donde este nos permitirá hacer el cálculo de las áreas glaciares que se encuentran en los nevados, obtenido esto se procede hacer una comparación de los valores obtenidos de las áreas glaciares en Km2, con los valores que se encuentran en el IDEAM.

Ilustración 34: Conversión a formato vector



Fuente: los autores

## 6.10. CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR DE LOS TRES NEVADOS

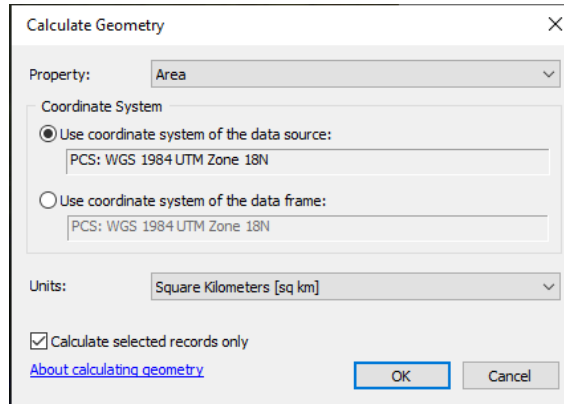
Para hallar el cálculo del área glaciar de los nevados se procede a crear una columna nueva en la tabla de atributos (Ilustración 35: creación de la columna para el cálculo en Km2), donde se le ara el cálculo de las zonas glaciares de los 3 nevados pertenecientes al PNNN, para realizar este proceso se pueden dirigir a la (Ilustración 36: cálculo de la geometría en Km2) donde muestras como se calculo el área glaciar de los nevados.

Ilustración 35: creación de la columna para el cálculo en Km2

FID	Shape	DN	AREA_Km2
0	Polygon	1	0
1	Polygon	1	0
2	Polygon	1	0
3	Polygon	1	0
4	Polygon	1	0
5	Polygon	1	0
6	Polygon	1	0
7	Polygon	1	0
8	Polygon	1	0
9	Polygon	1	0
10	Polygon	1	0
11	Polygon	1	0
12	Polygon	1	0
13	Polygon	1	0
14	Polygon	1	0
15	Polygon	1	0
16	Polygon	1	0
17	Polygon	1	0
18	Polygon	1	0

Fuente: los autores

Ilustración 36: cálculo de la geometría en Km2



Fuente: los autores

Los datos obtenidos del área glaciár en kilómetros cuadrados son comparados con los datos del IDEAM donde mediante unas graficas se demuestra la variabilidad de las áreas glaciáres en cuanto a los datos de la investigación y los datos del IDEAM,

### 6.10.1. Cálculo de las áreas Glaciáres

Para la determinación de la totalidad del área glaciár en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) del proyecto de investigación se realiza una sumatoria de los datos recolectados en los tres nevados, se le realiza una comparación con los datos suministrados por el IDEAM como se puede evidenciar en las tablas (Tabla 5: comparación de los datos IDEAM - P. investigación 2015 Tabla 6: comparación de los datos IDEAM - Investigación 2017 Tabla 7: comparación de los datos IDEAM - P. investigación)

Tabla 5: comparación de los datos IDEAM - P. investigación 2015

Volcán Nevado del Ruiz IDEAM 2015		volcán Nevado del Ruiz, P. investigación 2015	
Año	área glaciár Km <sup>2</sup>	Año	área glaciár Km <sup>2</sup>
2015	10,3 a 9,3	2015	10,74
2017	8,88	2017	6,30
2020	8,14	2020	7,79

Fuente: los autores

Tabla 6: comparación de los datos IDEAM - Investigación 2017

Volcán Nevado Santa Isabel IDEAM 2017		volcán Nevado Santa Isabel, P. investigación 2017	
Año	Area glaciár Km <sup>2</sup>	Año	área glaciár Km <sup>2</sup>
2015	1,6 a 1,0	2015	1,12
2017	0,65	2017	0,42
2020	0,45	2020	0,38
		2022	0,37

Fuente: los autores

Tabla 7: comparacion de los datos IDEAM - P. investigación

Volcán nevado del Tolima IDEAM 2020	
Año	área glaciár Km2
2015	0,75 - 0,63
2017	0,59
2020	0,52

volcán Nevado del Tolima, P. investigación 2020	
Año	área glaciár Km2
2015	0,75
2017	0,64
2020	0,59
2022	0,69

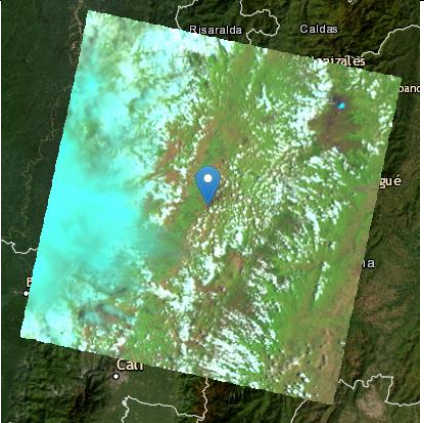
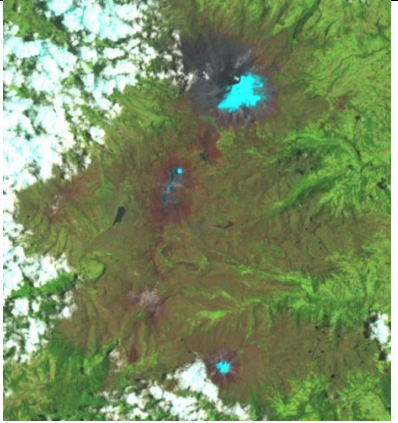

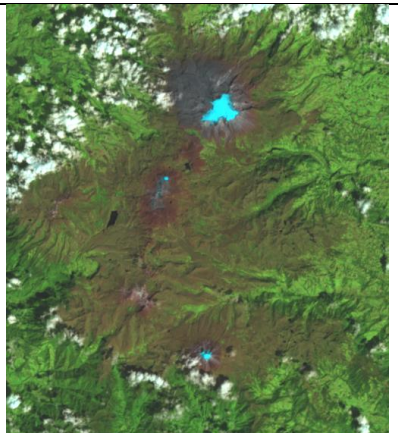
Fuente: los autores

## 7. RESULTADOS

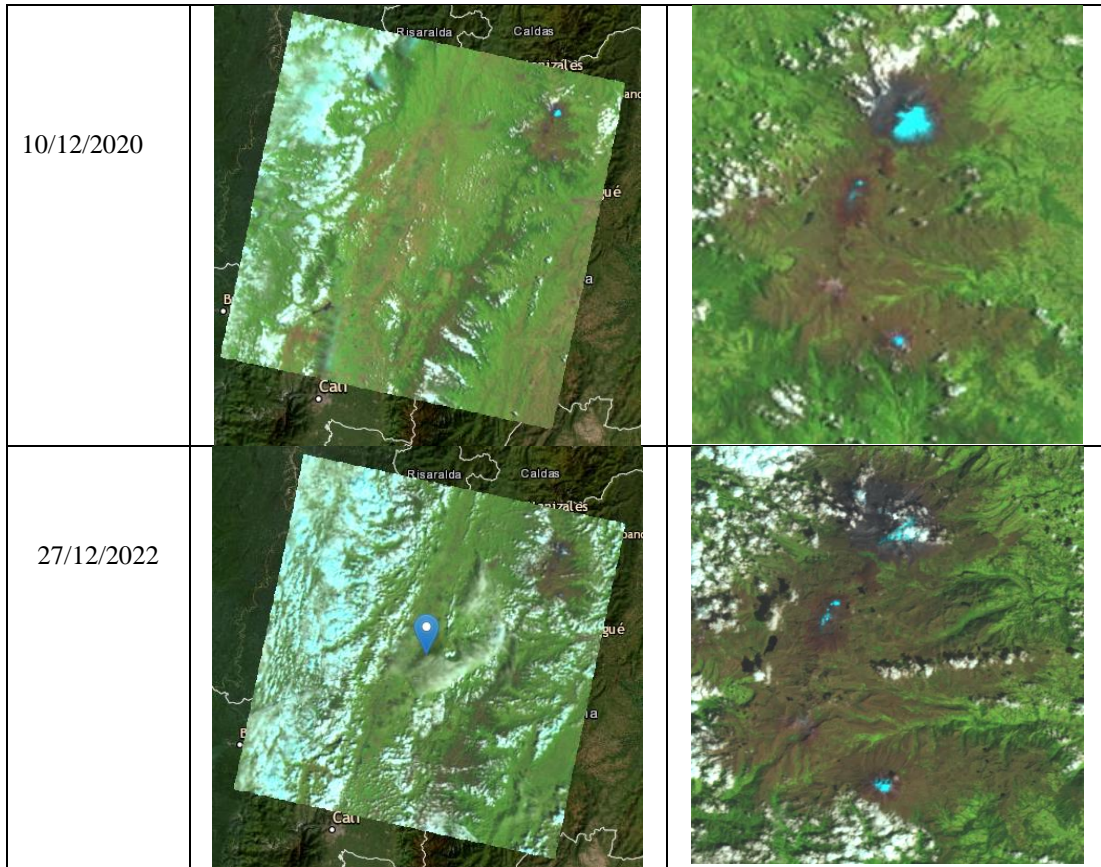
### 7.1. DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8 NIVEL 1

Insertados los parámetros que se nombraron en la página 35 Punto 15.5 para la ubicación de la zona satelital en el servicio Servicio geológico USGS Earth Explorer, se realiza de la descarga de las respectivas imágenes donde se tiene en cuenta la nubosidad de la zona de interés en los años de estudio, como se puede evidenciar en la (Tabla 8: Descarga imágenes Satelitales Landsat 8)

Tabla 8: Descarga imágenes Satelitales Landsat 8

Fecha: Día/Mes/Año	Imagen Satelital Landsat 8	Visualización de los nevados
25/01/2015	 A satellite image of a mountainous region in Colombia, showing cloud cover. The image is tilted and includes a blue location pin. Labels for 'Risaralda', 'Caldas', 'Manizales', 'Guaviare', and 'Cati' are visible.	 A close-up view of the snow-capped peaks from the satellite image, showing the texture of the snow and the surrounding vegetation.
18/12/2017	 A satellite image of the same mountainous region as above, showing cloud cover. The image is tilted and includes a blue location pin. Labels for 'Risaralda', 'Caldas', 'Manizales', 'Guaviare', and 'Cati' are visible.	 A close-up view of the snow-capped peaks from the satellite image, showing the texture of the snow and the surrounding vegetation.



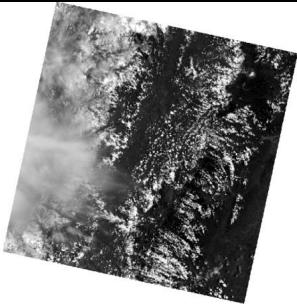
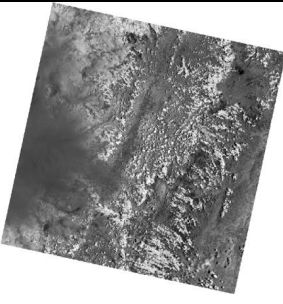


Fuente: los autores

## 7.2.RECORTE DE LA ZONA DE ESTUDIO

Obtenida la descarga de la imagen satelital landast 8 nivel 1 se procedió hacer el recorte de la zona de la presente investigación con el respectivo shp de parque naturales, obtenido de Datos AbiertosHub, para realizar el recorte de la zona se procede a elegir la Banda 3 y 6 (Tabla 9: Bandas espectrales), siendo estas la que se utilizan para la realización del índice espectral NDSI.

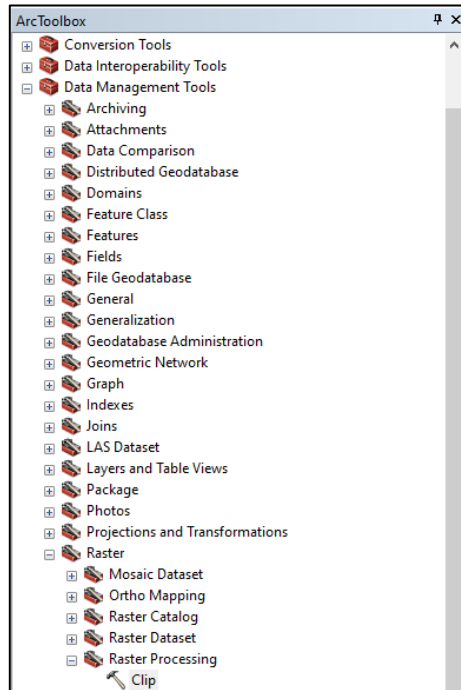
Tabla 9: Bandas espectrales

B3	B6
	

Fuentes: Los Autores

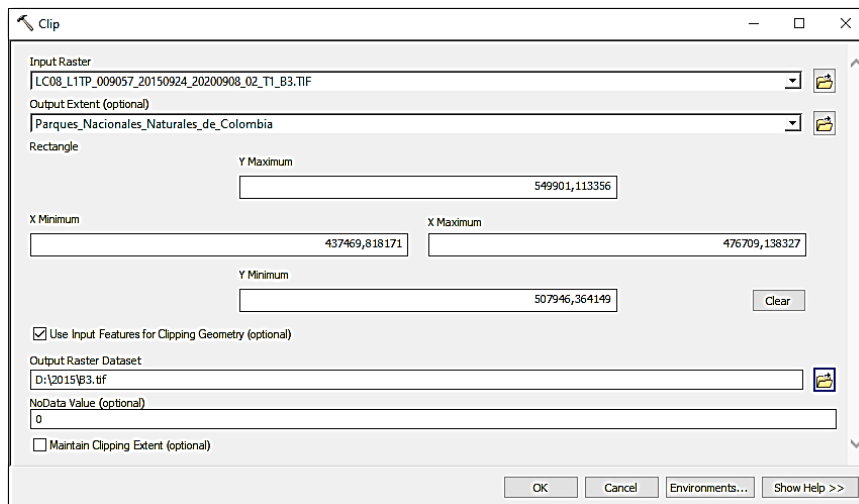
La realización del recorte de la zona ser realizo en el software ArcGis con la herramienta de Clip que se encuentra en el ArcToolbox (Ilustración 37:Herramienta para recorte de la zona), donde se ingresa el shp descargado de Parques nacionales naturales de Colombia (lustración 38:recorte de la zona de interés), teniendo como resultado el recorte de la zona perteneciente al Parque Nacional Natural los Nevados el cual se puede evidenciar en la (Tabla 10: Recorte B3 y B6 zona de estudio

Ilustración 37:Herramienta para recorte de la zona



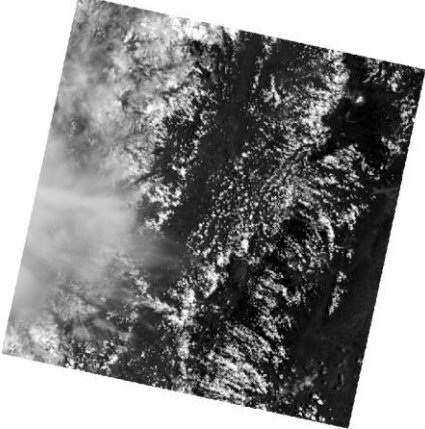

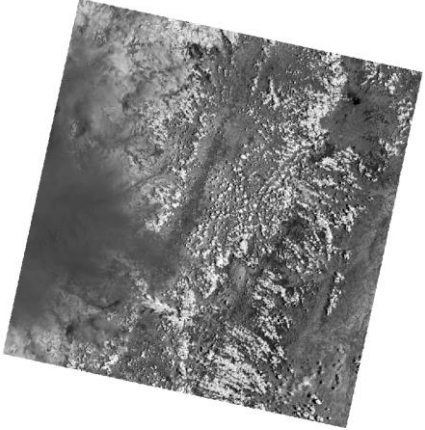
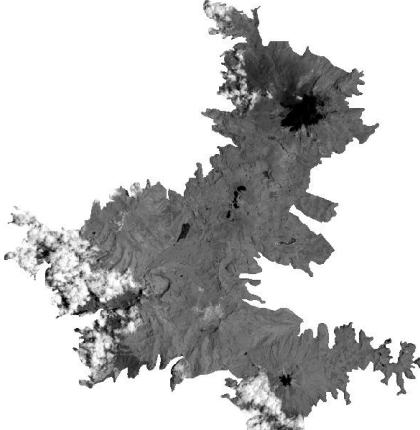
Los autores

Ilustración 38:recorte de la zona de interés



Los autores

Tabla 10: Recorte B3 y B6 zona de estudio

Bandas	Imagen Descargada	Recorte de la Zona de Investigación
B3		
B6		

Fuente: Los autores

### 7.3. CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA

La aplicación de la fórmula de la (Ilustración 39: Aplicación de la fórmula de calibración radiométrica) Permite generar una mejor visualización de las áreas glaciares ya que esta elimina anomalías obteniendo unos valores de píxel homogéneos corrigiendo las imperfecciones que presentan los píxeles.

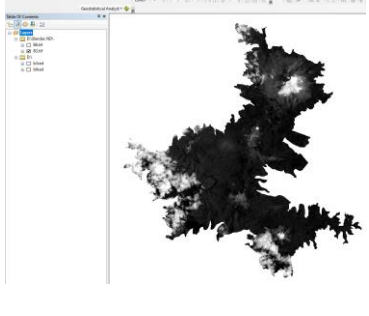
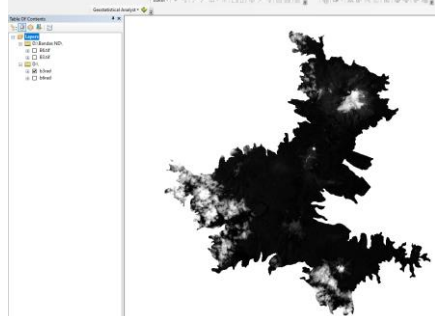
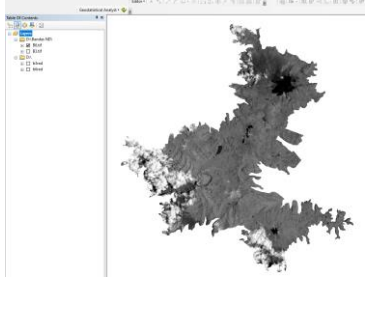
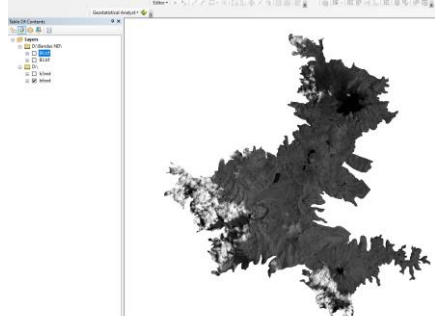
Ilustración 39: Aplicación de la fórmula de calibración radiométrica

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda}$$

Fuente: Resumen de los coeficientes de calibración radiométrica actuales para los sensores Landsat MSS, TM, ETM+ y EO-1 ALI

Realizada la operación que se nombró anterior mente en la página 39, punto 15.6, Ilustración 25. se logra evidenciar que en la (Tabla 11: conversión ND a Radiancia en las bandas satelitales 3 y 6, se eliminan las anomalías geospaciales del terreno permitiendo tener una mejor calidad de visualización en las zonas glaciares.

Tabla 11: conversión ND a Radiancia

Bandas	Niveles Digitales (ND)	Radiancia (RAD)
B3		
B6		

Fuente: Los Autores

#### 7.4. ÍNDICE ESPECTRAL NDSI

El índice NDSI es una medida de obtención en la reflectancia entre los rangos visibles del espectro (Verde), e infrarrojo de onda corto SWIR (Short Wave Infrared) siendo este muy factible para la detención de nieve quien tiene una mayor reflectancia en esta banda.

Ilustración 40: Índice de nieve diferenciado

Nombre del Índice	Formula	Descripción
Índice de Nieve Diferencial Normalizado -NDSI-	$\frac{\text{verde} - \text{SWIR}}{\text{verde} + \text{SWIR}}$	Para mapear la diferenciación de nieve-hielo en áreas cubiertas de nieve.

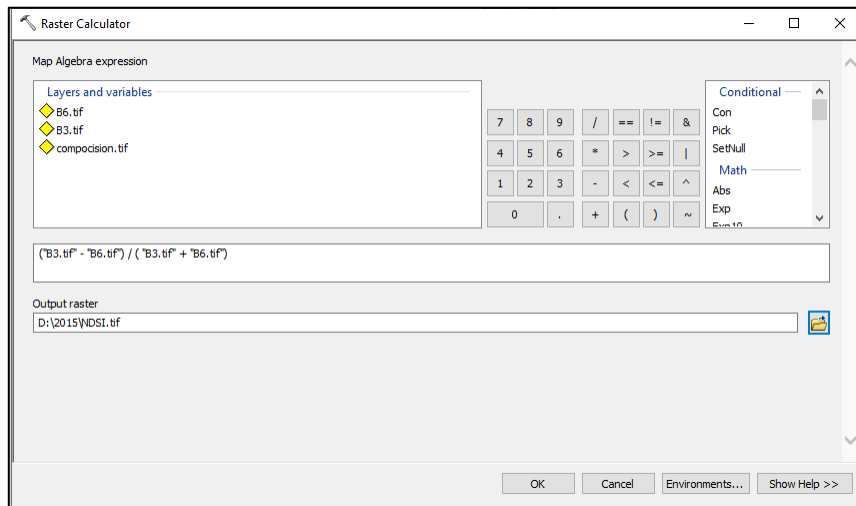
Fuente: Técnica de diferencia normalizada NDSI (Bluemarblego, 2019)

#### 7.5. CÁLCULO DEL ÍNDICE ESPECTRAL

Para la aplicación del índice espectral en la imagen satelital se realizó la operación de la (Ilustración 40: Índice de nieve diferenciado) Donde verde hace referencia a la banda tres (B3)

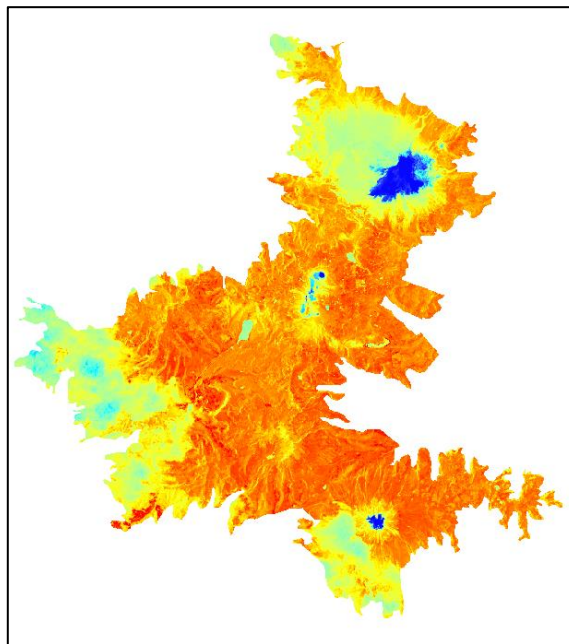
y el SWIR a la banda seis (B6), esta operación se realizó en la calculadora ráster del software ArcGis como se logra evidenciar en la (Ilustración 41:Implementación de la formula en la calculadora ráster permitiéndonos implementar la adecuada operación para obtener la reflectancia glaciara de los nevados determinando el comportamiento de la aplicación del índice espectral NDSI en las áreas glaciara de los nevados (Ilustración 42:Índice diferenciado NDSI

Ilustración 41:Implementación de la formula en la calculadora ráster



Fuente: los autores

Ilustración 42:Índice diferenciado NDSI



Fuente: los autores

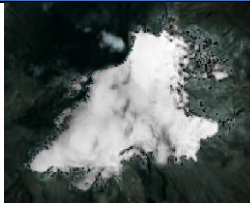



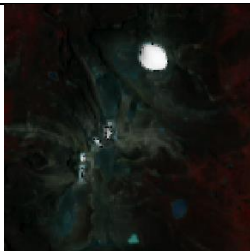



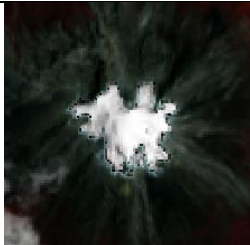





## 7.6.ENMASCARAMIENTO

Obtenida el índice espectral NDSI como se muestra en la ilustración (42) se realiza un enmascaramiento de las zonas glaciares donde dicho procedimiento se realiza observando el nivel del píxel nombrado en el punto (15.9) por los cuales está conformado y así obtener el área total de estos como se logra evidenciar en la (Tabla 12: enmascaramiento de área glaciar de los nevados).

Este procedimiento no se le realizo a el Volcán Nevado del Ruiz ya que no se encontró una imagen satelital totalmente sin nubosidad.

Tabla 12: enmascaramiento de área glaciar de los nevados

Nevados	2015	2017	2020	2022
Volcán Nevado del Ruiz				
Volcán nevado santa Isabel				
Volcán nevado del Tolima				

Fuente: los autores

## 7.7. CONVERSIÓN DE ENMASCARAMIENTO A TIPO SHP

Obtenido el enmascaramiento (Tabla 12: enmascaramiento de área glaciar de los nevados) de las áreas glaciares de los respectivos años de estudio, se convierten estos archivos en tipo vectorial (shp) (Ilustración 43: Conversión a formato shp), para realizar el cálculo de las áreas glaciares en kilómetros cuadrados de los nevados pertenecientes al PNNN.

Ilustración 43: Conversión a formato shp



Fuente: los Autores

Obtenido los shp del área glaciara de los nevados se procede a realizar un cálculo de las áreas glaciara en kilómetros cuadrados de cada nevado done se realiza una sumatoria de estas para la obtención del total del resultado de las áreas glaciara de sus respectivos años, como se puede visualizar en la (Tabla 13,Tabla 14 y Tabla 15).

Ilustración 44:Calculo área glaciara Km2

FID	Shape *	DN	AREA
16	Polygon	1	0,0684
17	Polygon	1	0,0567
18	Polygon	1	0,0036
19	Polygon	1	0,0549
20	Polygon	1	0,0288
21	Polygon	1	0,0099
22	Polygon	1	0,0018
23	Polygon	1	0,0009
24	Polygon	1	0,0045
25	Polygon	1	0,1269
26	Polygon	1	0,009
27	Polygon	1	0,0009
28	Polygon	1	0,0009
29	Polygon	1	0,1152
30	Polygon	1	0,0243
31	Polygon	1	0,0018
32	Polygon	1	0,0009
33	Polygon	1	0,0009
34	Polygon	1	0,0036
35	Polygon	1	0,0027
36	Polygon	1	0,0441
37	Polygon	1	0,0009
38	Polygon	1	0,0999
39	Polygon	1	0,0045
40	Polygon	1	0,2394
41	Polygon	1	0,0324
42	Polygon	1	0,0432
43	Polygon	1	0,0567
44	Polygon	1	0,9288

Fuente: los autores

Tabla 13: Determinación del área Glaciar en Km2 Volcán nevado del Ruiz

volcán Nevado del Ruiz, P. investigación 2015	
Año	área glaciar Km2
2015	10,7407
2017	6,3018
2020	7,7922
2022	

Fuente: Los Autores

Tabla 14: Determinación del área Glaciar en Km2 Volcán nevado del Ruiz Santa Isabel

volcán Nevado Santa Isabel, P. investigación 2017	
Año	área glaciar Km2
2015	1,12
2017	0,42
2020	0,38
2022	0,53

Fuente: Los Autores

Tabla 15: Determinación del área Glaciar en Km2 Volcán nevado el Tolima

volcán Nevado del Tolima, P. investigación 2020	
Año	área glaciar Km2
2015	0,75
2017	0,64
2020	0,59
2022	0,94

Fuente: Los Autores

Gracias a la obtención de esta información se logra procesar las imágenes satelitales de los años 2015, 2017, 2020 y 2022, haciendo una comparación de los diferentes años de estudio demostrando así el retroceso glaciar que se presenta en el Parque Nacional Natural los Nevados, este proceso se demostrara mediante las salidas graficas que se realizaran en el software ArcGis evidenciando por cuanto área glaciar está compuesto los nevados en los respectivos años y cuanto se ha perdido en el transcurso de este tiempo

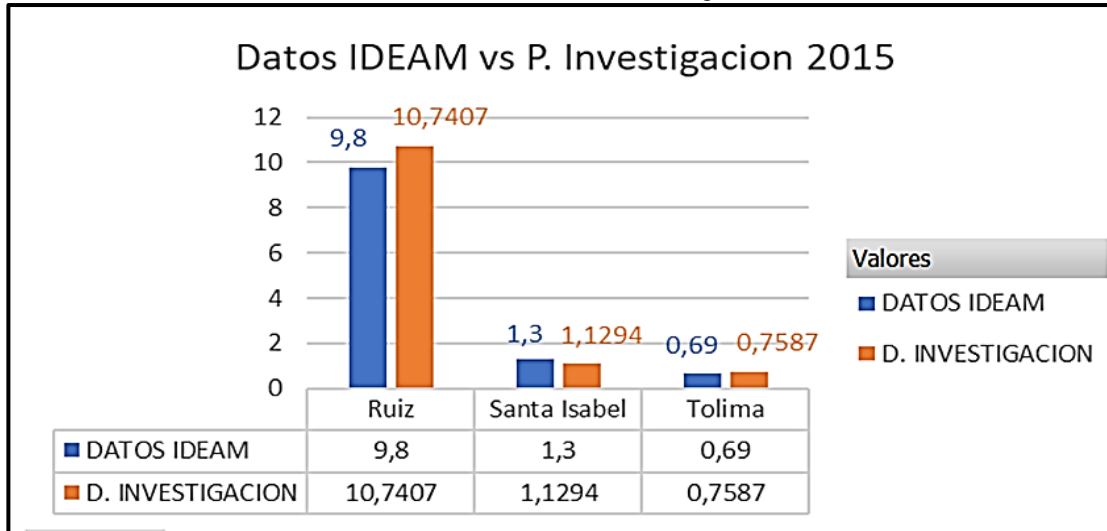
## 7.8. COMPARACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LOS DEL IDEAM CON PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En las **Graficas: 1** datos IDEAM vs P. Investigación 2015 **Graficas: 2** datos IDEAM vs P. Investigación 2017 y **Graficas 3:** datos IDEAM vs P. Investigación 2020 se representa las comparaciones de los datos de IDEAM con respecto a los datos de esta investigación para los años 2015, 2017 y 2020. Con sus



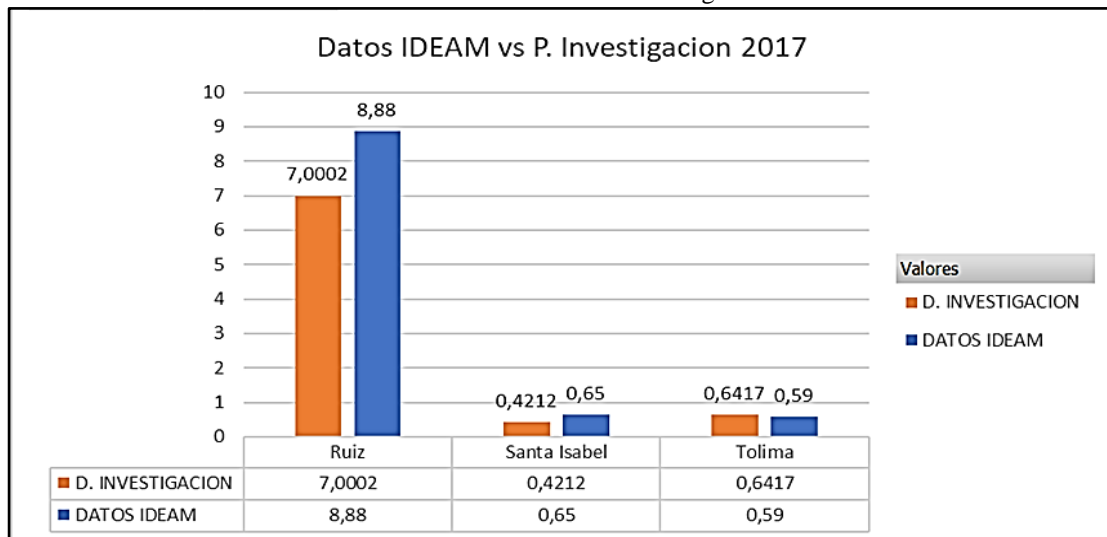
respectivos diagramas de barras diagramas que permite visualizar la proximidad de los datos generados por esta investigación con respecto a los datos generados por el IDEAM en sus respectivos años. Esta comparación nos ayuda a visualizar y comparar que los datos suministrados del proyecto de investigación tienen velocidad y una proximidad a los valores que ofrecidos por el IDEAM.

Graficas: 1 datos IDEAM vs P. Investigación 2015



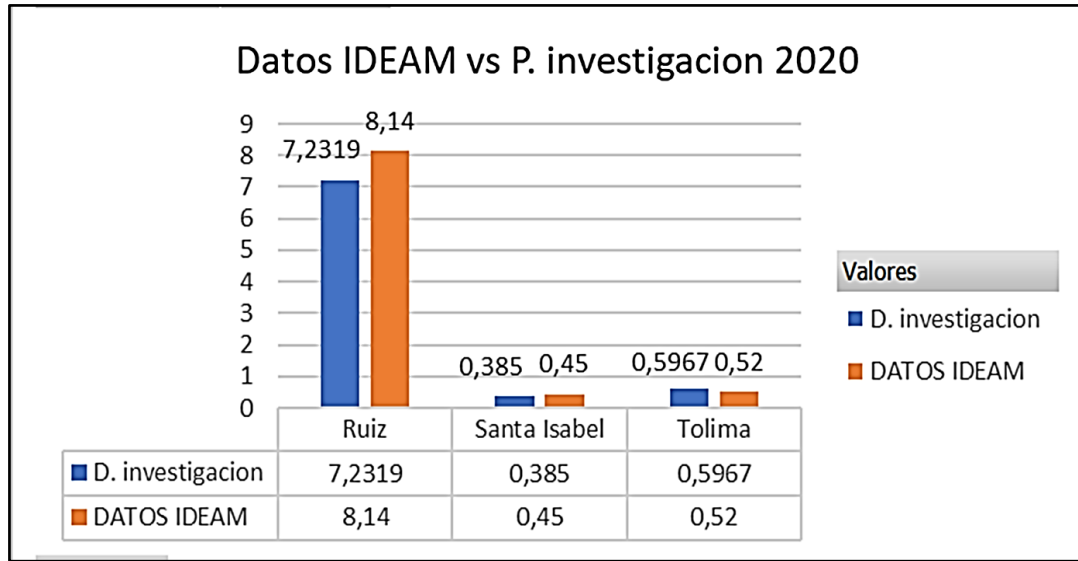
Fuente: los autores

Graficas: 2 datos IDEAM vs P. Investigación 2017



Fuente: los autores

Graficas 3: datos IDEAM vs P. Investigación 2020



Fuente: los autores

## 7.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DATOS OBTENIDOS PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

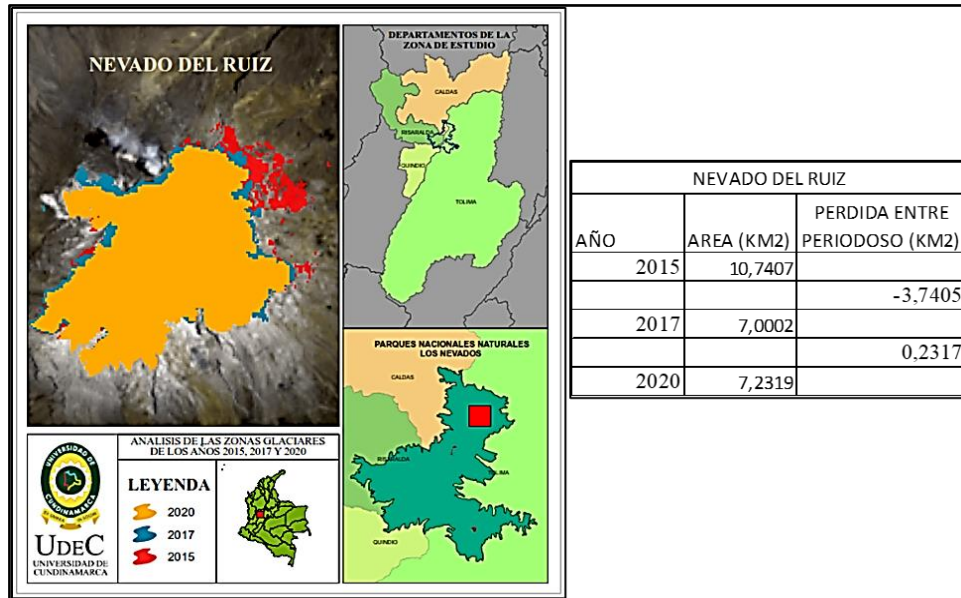
### 7.9.1. Nevado Del Ruiz

Como se muestra en la (Ilustración 45: Análisis de estadístico de nevado del Ruiz), el análisis estadístico, donde se juntó la información de los años de estudio para el nevado del Ruíz, para los de 2015 había 10,74 km<sup>2</sup>, en 2017 se disminuye a 7,00 km<sup>2</sup> y para el 2020 incremento a 7,23 km<sup>2</sup>, para las fechas del 2022 no se realizó el análisis de las masas glaciares, debido a que la imagen satelital se encontraba con mucha nubosidad impidiendo obtener las áreas glaciares.

Se concluyo que para los años 2015 a 2017 el volcan nevado del ruiz tuvo una perdida en sus masa glaciares de 3,74 km<sup>2</sup>, pero para la fecha de 2020 el nevado incremento exponencialmente un 0,23 km<sup>2</sup>. para justificar ese incremento que obtuvo el nevado del ruiz para el año 2020 fue por los fenomenos climatologicos(niño-niña) que hubieron en ese año, la imagen satelital fue descargada para el mes de diciembre en esas fecha hubo mucha precipitacion por ende nos da a entender que las masa glaciares se concervaron en incrementaron un (0,23 km<sup>2</sup>)para ese año.

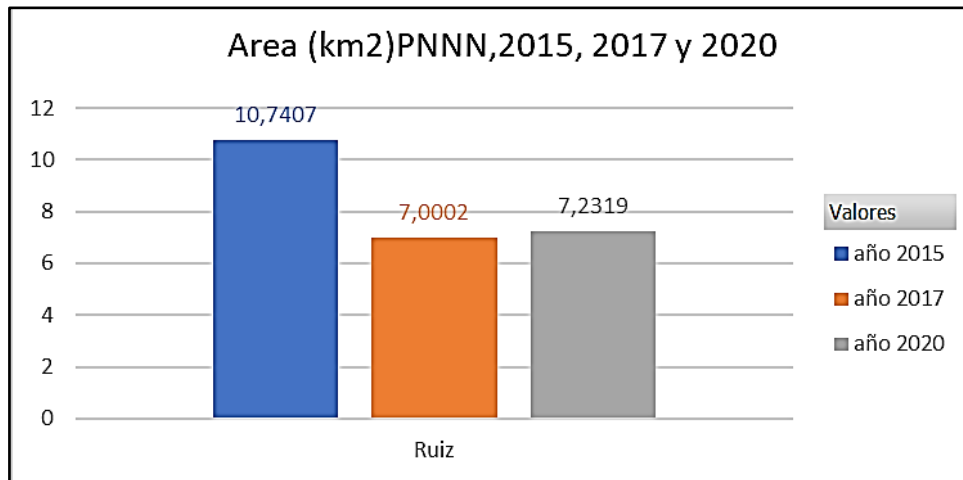
Según reportes de IDEAM el incremento evidenciado se justifica debido a que aproximadamente el 93% de su área está por encima de los 5000 metros de altitud. Esto indica que está predominantemente dentro de la zona de acumulación del glaciar, donde la temperatura está por debajo de cero grados Celsius y podría tener dominancia, provocando que la nieve acumulada se conserve.

Ilustración 45: Análisis de estadístico de nevado del Ruiz



Fuente: los autores

Graficas 4: comparación de los años de estudio del Nevado de Ruiz



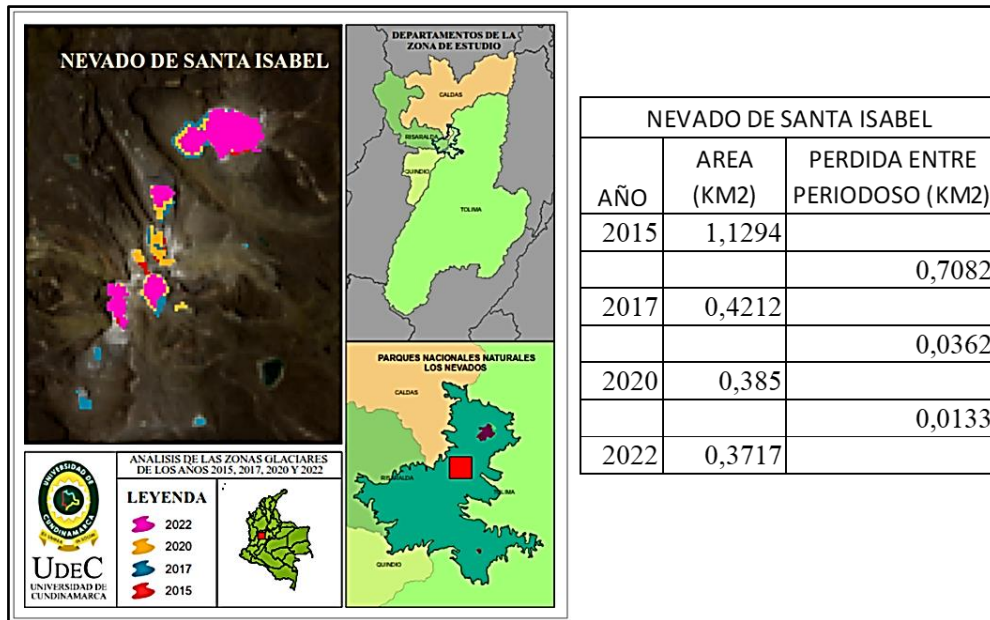
Fuente: los autores

### 7.9.2. Nevado De Santa Isabel

Como se muestra en la siguiente (Ilustración 46: Análisis estadístico de nevado santa Isabel) muestra el análisis estadístico, donde se juntó la información de los años de estudio para el nevado del Santa Isabel, para 2015 había 1,12 km<sup>2</sup>, en 2017 disminuyo 0,42 km<sup>2</sup> y para el 2020 disminuyo a 0,38 km<sup>2</sup> y para el 2022 disminuyo a 0,37 km<sup>2</sup>. Se concluyo que para los años 2015 a 2017 el volcan nevado de Santa Isabel tuvo una perdida en sus masa graciare de 0,70 km<sup>2</sup>, para la fecha de 2017 a 2020 el nevado disminuyo un 0,036 km<sup>2</sup>, para 2020 a 2022 tubo un desminuyo de 0,013 km<sup>2</sup>. Para el nevado de santa isabel se puede evidenciar el

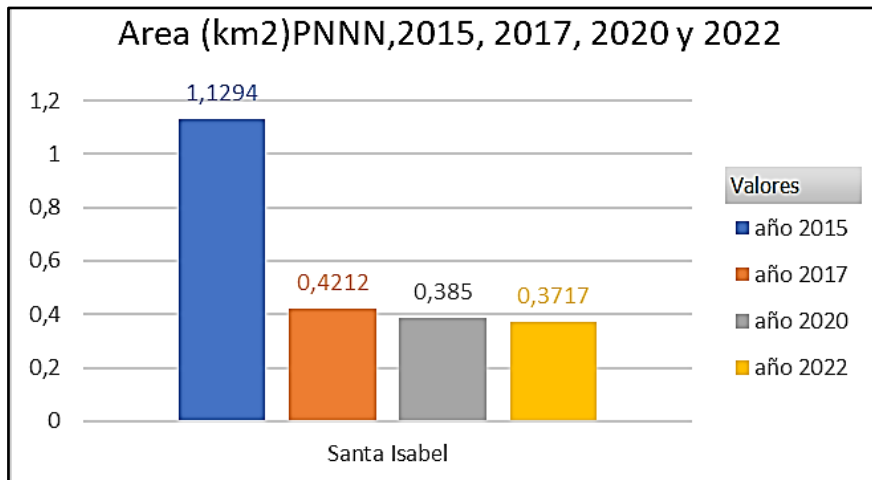
aumento de la pérdida de sus zonas glaciares. Donde se evidencia el cambio climático y una de sus consecuencias es que para los próximos años un fenómeno climático extremo tipo el Niño y la Niña, indudablemente, se acelerará la extinción de este glaciar, ya que la ausencia de nubosidad (menor precipitación sólida) y mayor radiación solar, que caracteriza a este evento en el centro de la región Andina. El IDEAM pronostica que para los futuros años de el nevado de Santa Isabel desaparecerá debido a los fuertes cambios climáticos (Niño- Niña), por ende este nevado está en peligro de extinción, debido a su aceleración en sus zonas glaciares. Debido a que sus fuertes precipitaciones y sus altas temperaturas no permiten que sus zonas de acumulación se conserven.

Ilustración 46: Análisis estadístico de nevado Santa Isabel



Fuente: los autores

Graficas 5: comparación de los años de estudio del Nevado de Santa Isabel



Fuente: los autores

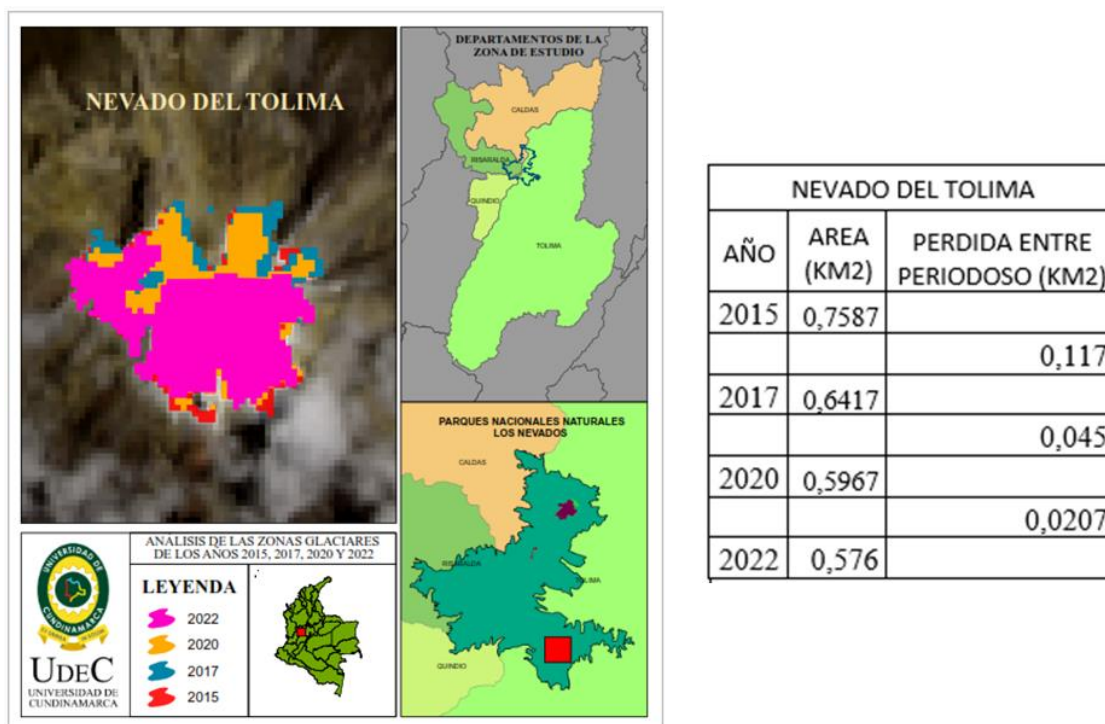
### 7.9.3. Nevado Del Tolima

Como se muestra en la siguiente (Ilustración 47: Análisis estadístico del nevado del Tolima se muestra el análisis estadístico, donde se juntó la información de los años de estudio para el nevado del Tolima, para 2015 había 0,75 km<sup>2</sup>, en 2017 disminuyó a 0.64 km<sup>2</sup> y en el 2020 incremento a 0,59 km<sup>2</sup> y para el 2022 incremento 0,57 km<sup>2</sup>.

Según lo anterior, se concluyó que para los años 2015 a 2017 el volcán nevado del Tolima tuvo una pérdida en sus masas glaciares de 0,11 km<sup>2</sup>, para la fecha de 2017 a 2020 el nevado disminuyó un 0,045 km<sup>2</sup>, para 2020 a 2022 tubo un desminuyo de 0,020 km<sup>2</sup>.

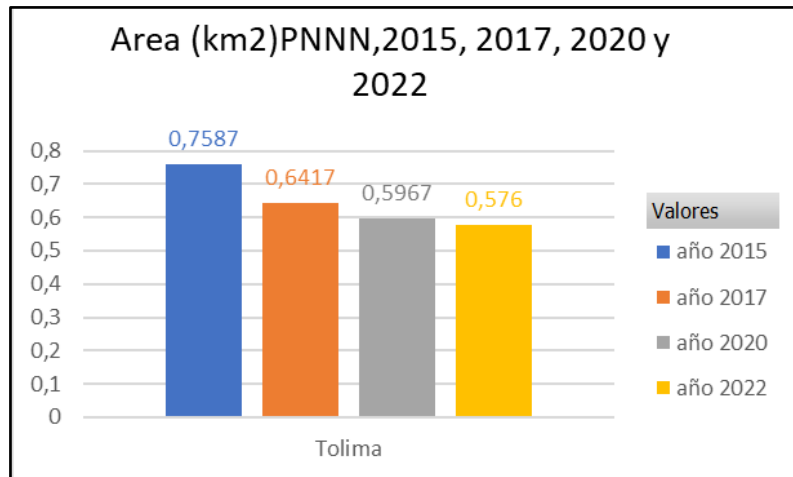
El IDEAM el área del Nevado del Tolima se atribuye principalmente a que aproximadamente el 93% del glaciar está por encima de los 5000 metros de altitud. Esto indica que está dentro de la zona de acumulación del glaciar, donde la temperatura tiende a estar por debajo de cero grados Celsius y favorece que la nieve acumulada se conserve.

Ilustración 47: Análisis estadístico del nevado del Tolima



Fuente: los autores

Graficas 1: comparación de los años de estudio del Nevado del Tolima

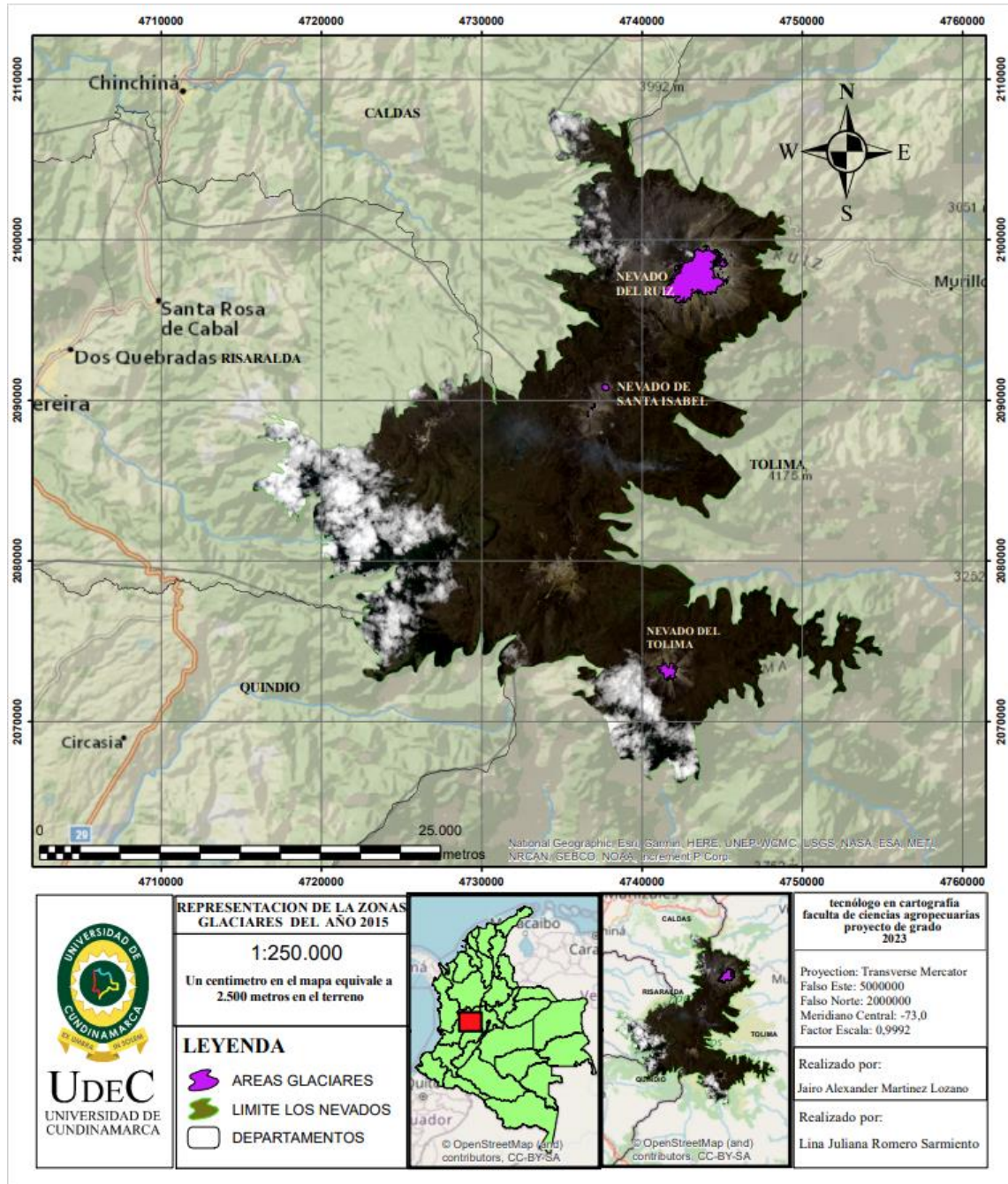


Fuente: los autores



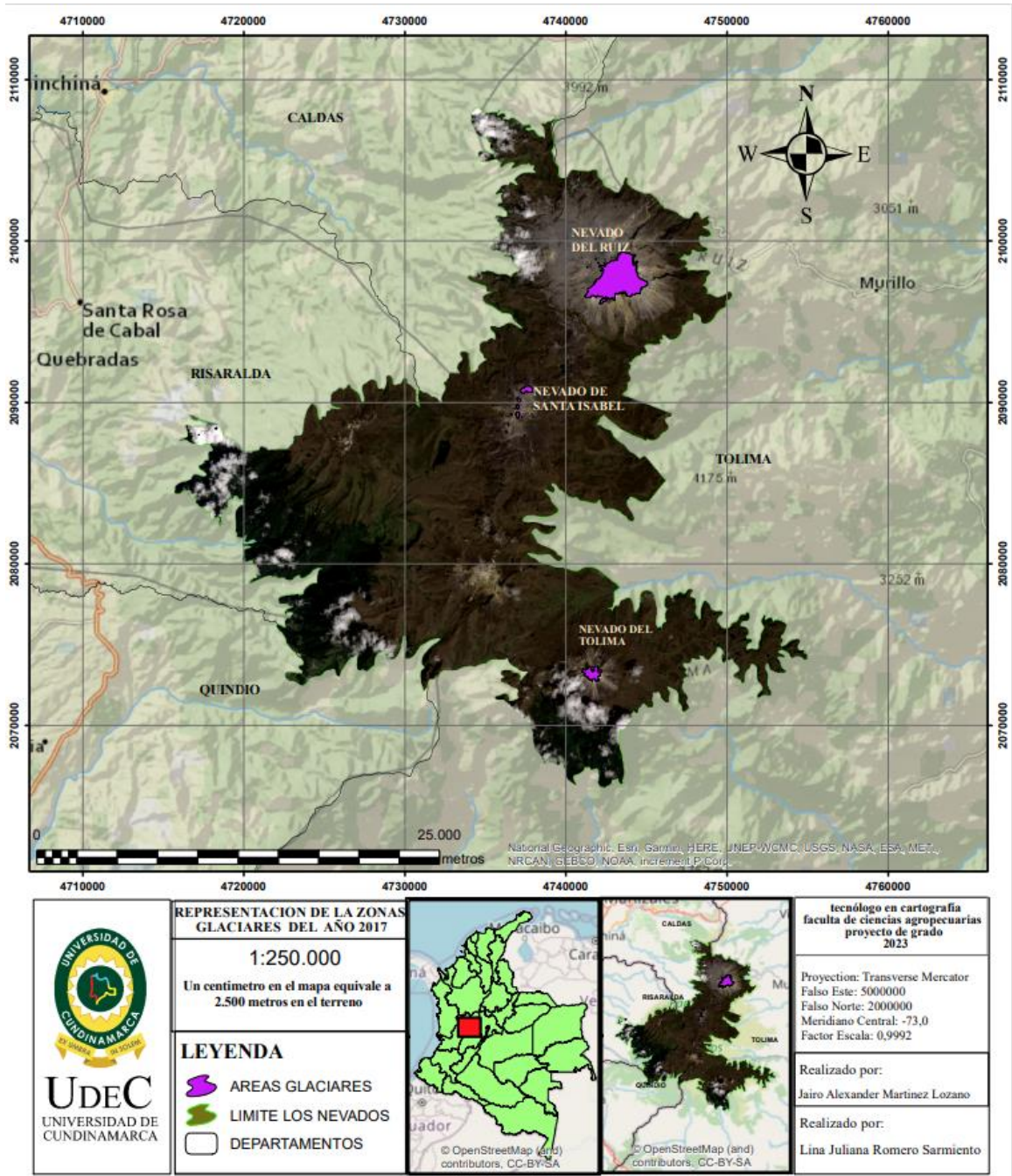
## 8. SALIDAS GRAFICAS

Ilustración 48: zonas glaciares de 2015



Fuente: Los Autores

Ilustración 49: zonas glaciares del 2017

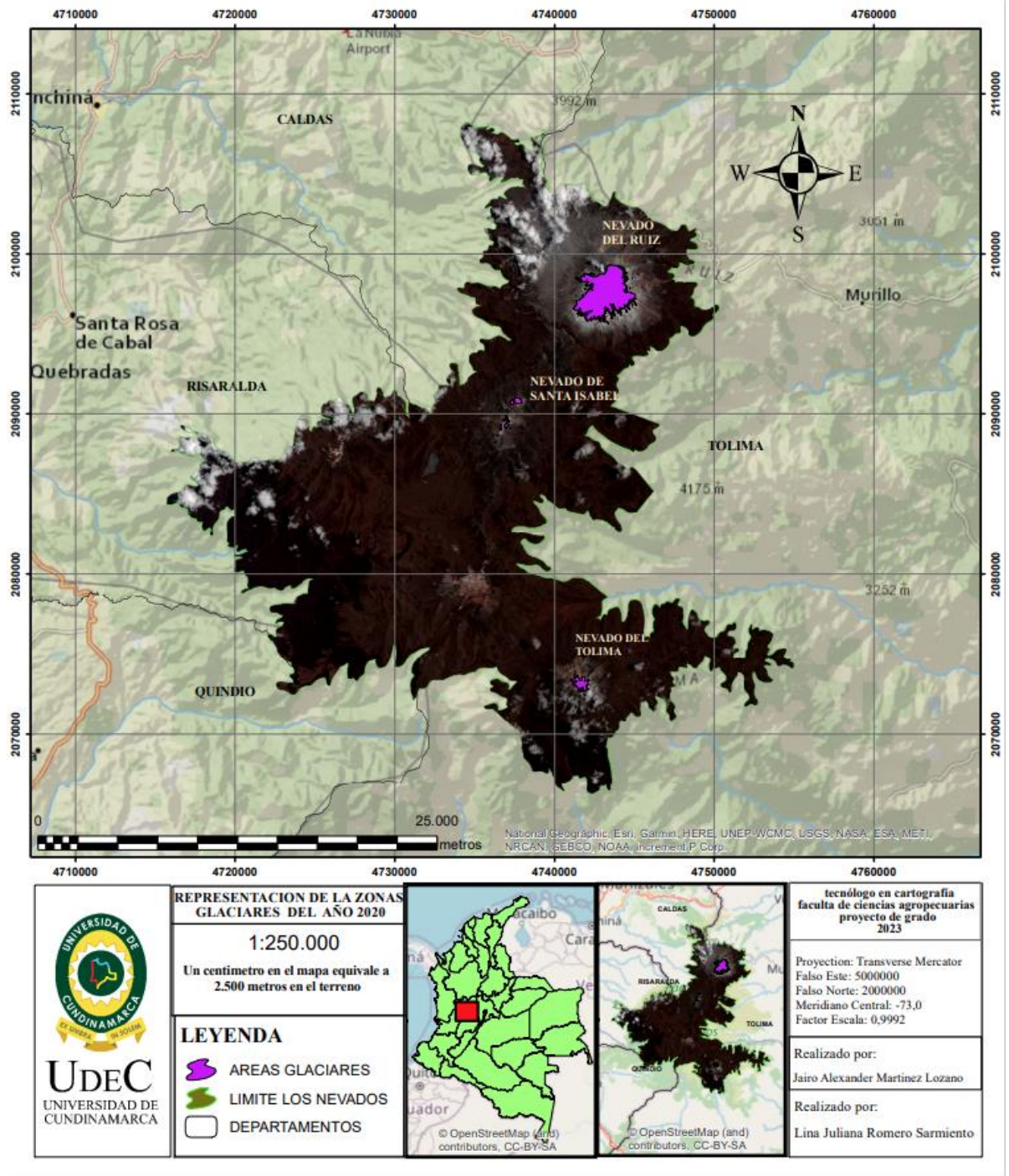


<p><b>UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA</b> UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA</p>	<p><b>REPRESENTACION DE LA ZONAS GLACIARES DEL AÑO 2017</b></p> <p><b>1:250.000</b></p> <p>Un centimetro en el mapa equivale a 2.500 metros en el terreno</p>	<p>© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA</p>	<p>© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA</p>	<p>tecnólogo en cartografía faculta de ciencias agropecuarias proyecto de grado 2023</p>
	<p><b>LEYENDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> AREAS GLACIARES</li> <li> LIMITE LOS NEVADOS</li> <li> DEPARTAMENTOS</li> </ul>			<p>Proyection: Transverse Mercator Falso Este: 5000000 Falso Norte: 2000000 Meridiano Central: -73,0 Factor Escala: 0,9992</p>
				<p>Realizado por: Jairo Alexander Martínez Lozano</p>
				<p>Realizado por: Lina Juliana Romero Sarmiento</p>

Fuente: Los Autores

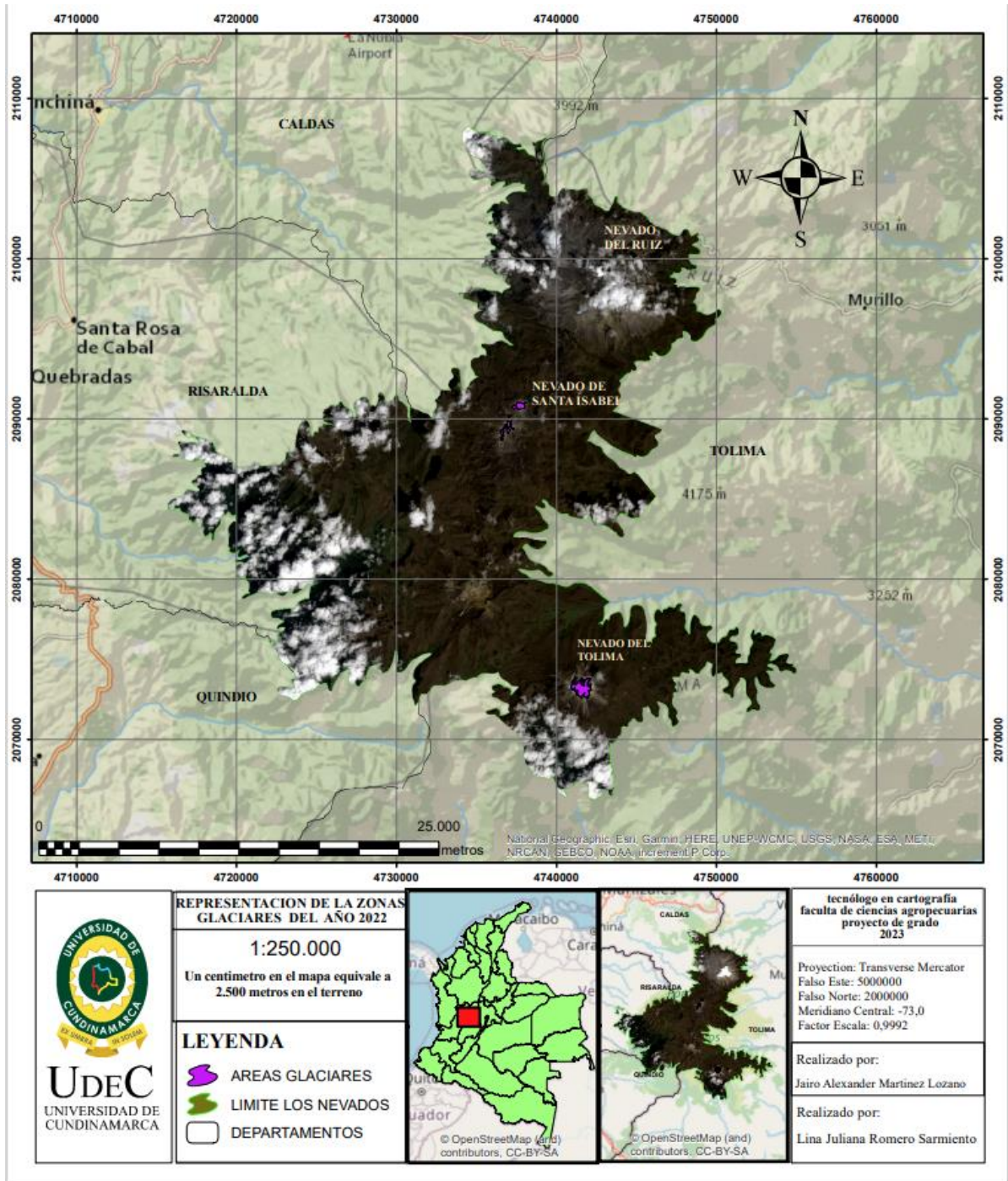


Ilustración 50: zonas glaciares de 2020



Fuente: Los Autores

Ilustración 51: zonas glaciares 2022



Fuente: Los Autores



## CONCLUSIONES

- Gracias a la obtención de las imágenes satelitales de las plataformas espaciales (USGS) se logró identificar la zona de estudio permitiéndonos realizar un análisis de las áreas glaciares de los tres nevados pertenecientes al PNNN, sin embargo se presentó una falencia para la realizando el estudio del volcán nevado del Ruiz en el años 2022 por la nubosidad que se presentaba en la imagen satelital impidiendo la interpretación del retroceso glaciar que se presente en el nevado, se recomiendan para futuros estudios manejar otros tipo de sensor satelital como el radar, donde este permite la interpretación más detallada de la superficie del estudio.
- Con la aplicación de la corrección atmosférica de las imágenes satelitales pasando estas de niveles digitales a niveles de radiancia así eliminando los efectos de aerosoles y radiancia intrínseca que se introducen en los sensores y se ve flejado en la imagen satelital con el producto que se genera entre la interacción del sensor con la atmosfera se logra mejorar la calidad de visual de la imagen y permitiendo una mejor interpretación den las zonas a estudiar
- Gracias a la implementación del índice espectral NDSI se obtuvo la reflectancia del área glaciar por el cual están compuesto los nevados del PNNN logrando determinar el área en Km<sup>2</sup> y hacer un estudio de por cuanta área glaciar está compuesto los nevados en los años 2015, 2017, 2020 y 2022 generando una comparación estadística con datos recolectados del IDEAM y realizar una comparación de las pérdidas que se generan en el proyecto de investigación.
- Mediante las salidas graficas realizadas en el software de ArcGIS se demuestra por cuanta área están compuestos los nevados pertenecientes al PNNN permitiendo realizar una interpolación de los años de estudio y demostrado de esta manera mediante una interpolación de los años el decrecimiento glaciar que se presenta en los tres nevados por la alteración del cambio climático.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARBELÁEZ, J. G. (2016). *DETECCIÓN DE CAMBIOS EN EL GLACIAR DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ ENTRE LOS AÑOS 1959 Y 2014*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9942/CB%020551870.pdf;jsessionid=D848C1C5BA8B35CBDFEDDDDC7A4F0A70?sequence=1>
- ASIMBAYA, D., GALETTO, A., & PAJUELO, D. (2014). *Técnicas para la elaboración de un modelo geológico preliminar en la exploración geotérmica, casos de aplicación en Argentina, Perú y Ecuador*. [https://www.researchgate.net/publication/301341540\\_Tecnicas\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_un\\_modelo\\_geologico\\_preliminar\\_en\\_la\\_exploracion\\_geotermica\\_casos\\_de\\_aplicacion\\_en\\_Argentina\\_Peru\\_y\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/301341540_Tecnicas_para_la_elaboracion_de_un_modelo_geologico_preliminar_en_la_exploracion_geotermica_casos_de_aplicacion_en_Argentina_Peru_y_Ecuador)
- Ceballos Jorge Luis, & Ospina Jose Alejandro. (2021). *INFORME DEL ESTADO DE LOS GLACIARES COLOMBIANOS 2020 2 Coordinación técnica Fotografías de portada*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [http://www.ideam.gov.co/documents/11769/229819/IEAG\\_2020\\_v\\_preliminar/632f26b1-2ef9-48fe-8a99-86d4596ea554](http://www.ideam.gov.co/documents/11769/229819/IEAG_2020_v_preliminar/632f26b1-2ef9-48fe-8a99-86d4596ea554)
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment*.
- DATOS ABIERTOS. (2022). *Parques Nacionales Naturales de Colombia | Parques Nacionales Naturales de Colombia | datos-abiertos-hub*. <https://datosabiertos.esri.co/datasets/d4d80793ff604f7aa153f3cecbe0757e/explore?location=4.861916%2C-74.915137%2C10.00>
- Ecología verde. (2020). *Qué son los GLACIARES - Cómo se forman, Tipos y Ejemplos*. [https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-glaciares-2087.html#anchor\\_0](https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-glaciares-2087.html#anchor_0)
- EcuRed. (2022). *Nevado del Tolima (Colombia) - EcuRed*. [https://www.ecured.cu/Nevado\\_del\\_Tolima\\_\(Colombia\)](https://www.ecured.cu/Nevado_del_Tolima_(Colombia))
- Eduardo, O., Chavez, R., Alberto, H., & Bautista, A. (2005). *MANUAL PARA EL MANEJO Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES OBTENIDAS DEL SENSOR REMOTO MODIS DE LA NASA, APLICADO EN ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL [PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA]*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7050/tesis123.pdf?sequence=3>
- EOS DATA ANALYTICS. (2020). *Imágenes De Satélite Gratis: Fuentes Y Sus Características*. <https://eos.com/es/blog/imagenes-de-satelite-gratis/#>

- Fernando Ávila Vélez, E., Carrillo Díaz, H., Orlando, J., Rodríguez, G., Alexander, J., & Morales, O. (2018). Cuantificación del retroceso glaciar del Nevado del Tolima, aplicando técnicas de teledetección. *Quantification of Tolima Nevado glaciun retrocess, applying teledetection techniques. Revista de Topografía Azimut*, 9, 37–45. <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut>
- GEOLOGIA MIN CS. (2016). *Los glaciares, tipos, partes, componentes, formación y comportamiento erosivo - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=U6hvuDKC3sI>
- Gutiérrez, A. V. (2020). APLICACIONES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN COMPLEJO. *UNIVERSIDAD DE VALLADOLID*. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/50510/TFG-G5326.pdf?sequence=1>
- iberdrola. (2022). *Deshielo de los Glaciares: causas, consecuencias y soluciones - Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/derretimiento-glaciares-causas-efectos-soluciones>
- IDEAM. (2022). *SGC - Volcán Generalidades*. <https://www.sgc.gov.co/detallevolcan/22>
- IGAC. (2021). *Datos Abiertos Cartografía y Geografía | GEOPORTAL*. <https://geoportel.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- INGEOEXPERT. (2020). *¿Qué es la teledetección y qué sistemas existen? - Ingeoexpert*. <https://ingeoexpert.com/2018/07/06/que-es-la-teledeteccion/>
- Molano, S. M., Diana, ;, Cardenas, P., Snaider Gómez, ; Howard, Dayana, ;, Alvarado, M., Andrés, ;, Galindo, F., Jeisson, ;, Sanabria, F., Juan, ;, & Gómez-Neita, S. (2022). *Evaluación del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia a partir de la clasificación de imágenes multisensor*. 44. <https://doi.org/10.18273/revbol>
- Mora-Barrantes, J. C., Sibaja- Brenes, J. P., & Borbón- Alpizar, H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica en el agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>
- Pachauri, R. K., Meyer, L., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Jiang, K., Jiménez Cisneros México, B., Kattsov, V., Lee, H., Minx, J., Mulugetta, Y., Brinkman, S., van Kesteren, L., Leprince-Ringuet, N., & van Boxmeer, F. (2014). *Cambio climático 2014 Equipo principal de redacción Equipo principal de redacción Unidad de apoyo técnico para el Informe de síntesis*. <http://www.ipcc.ch>.
- PNNC. (2020). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP - Parques Nacionales Naturales de Colombia*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/>

- PNNC. (2022a). *Parque Nacional Natural Los Nevados - Parques Nacionales Naturales de Colombia*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/parques/region-andina/parque-nacional-natural-los-nevados/>
- PNNC. (2022b). *Parque Nacional Natural Los Nevados - Parques Nacionales Naturales de Colombia*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/parques/region-andina/parque-nacional-natural-los-nevados/>
- Pozo Rodríguez, Manuel., González Yélamos, J., & Giner Robles, J. (2004). *Geología práctica : introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas*. Prentice Hall / Pearson.
- RAMSAR. (2015). *Filipinas Sitio Ramsar Tubbataha Reefs Natural Marine Park*. [www.ramsar.org/about/the-scientific-technical-review-panel](http://www.ramsar.org/about/the-scientific-technical-review-panel)
- Bluemarkblegeo. (2019). *Raster Calculator*. [https://www.bluemarkblegeo.com/knowledgebase/global-mapper-19/Raster\\_Calculator.htm](https://www.bluemarkblegeo.com/knowledgebase/global-mapper-19/Raster_Calculator.htm)
- Rodríguez, E., & Luz Quintanilla, A. (2019). Relación ser humano-naturaleza: Desarrollo, adaptabilidad y posicionamiento hacia la búsqueda de bienestar subjetivo. *Avances en Investigación Agropecuaria*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Salcedo, A. P. (2011). *ESTIMACION DE AREA CUBIERTA DE NIEVE EN CUENCAS CON ELEVADO APORTE DE FUSION UTILIZANDO DATOS ERS-2*. [universidad de cordoba ]. [https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6925/2009\\_Salcedo-Ana.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6925/2009_Salcedo-Ana.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- servicio geologico colombiano. (2022). *Boletin\_extraordinario\_volcan\_Nevado\_del\_Ruiz\_-\_04\_de\_junio\_1000*. *servicio geologico colombiano*. [https://saeadmin.sgc.gov.co/media/bulletin/Boletin\\_extraordinario\\_volcan\\_Nevado\\_del\\_Ruiz\\_-\\_04\\_de\\_junio\\_1000.pdf](https://saeadmin.sgc.gov.co/media/bulletin/Boletin_extraordinario_volcan_Nevado_del_Ruiz_-_04_de_junio_1000.pdf)
- Strablar, A. N., & Strablar, A. H. (1975). *Geografía física Capítulo 21 - Morfología glacial* (EDICIONES OMEGA S.A).