

Cuantificación del retroceso glaciar del Nevado del Tolima, aplicando técnicas de teledetección

Quantification of Tolima Nevado glacium retrocess, applying teledetection techniques

Edier Fernando Ávila Vélez¹, Henry Carrillo Díaz², Javier Orlando Guzmán Rodríguez³ y Jhon Alexander Otálora Morales⁴

Para citar este artículo: Ávila, E.F., Carrillo, H., Guzmán, J.O. & Otálora, J.A. (2018). Cuantificación del retroceso glaciar del Nevado del Tolima, aplicando técnicas de teledetección. *Revista de Topografía Azimut*, (9), 37-45.

Recibido: 15-noviembre-2017 / **Aceptado:** 15-julio-2018

Resumen

La variación climática del periodo cuaternario está afectando los elementos que componen la superficie terrestre, entre ellos se observa el retroceso glaciar, fuente de las principales cuencas hidrográficas que vierten sus aguas al Río Magdalena uno de los más importantes de nuestro país. Este proceso de fusión (deglaciación de las masas de hielo), ha ido aumentando en las últimas décadas según datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), evidenciando la pérdida de la masa del Volcán Nevado del Tolima, que se encuentra en la parte superior del cono volcánico en la cordillera central colombiana y con un altitud aproximada de 5250 sobre el nivel del mar.

Esta dinámica se observó y cuantificó a través de la interpretación y procesamiento radiométrico de imágenes satelitales del programa espacial Copérnico con su misión Sentinel-2. La investigación se realizó

aplicando la siguiente metodología: 1- Selección y descarga de la imagen satelital que cubre la zona de estudio. 2- Corrección radiométrica de los datos satelitales. 3- Determinación de la masa glaciar mediante índices espectrales (NDSI y Ratio simple). 4- Segmentación de la imagen utilizando una clasificación no supervisada y por último la cuantificación de la masa glaciar. Como resultado de la presente investigación al aplicar el primer método NDSI (Normalised Difference Snow Index), se observa una pérdida aproximada de 16.71% con respecto a la información del IDEAM 74.84 ha, y aplicando el segundo método de Ratio simple (Rott H, 1994), un retroceso glaciar de 15.24% con respecto a la misma información oficial del país.

Palabras clave: Imágenes satelitales, Sentinel-2, Normalised Difference Snow Index.

- 1 Ingeniero Catastral y Geodesta, Magister en Tecnologías de la Información Geográfica; Docente asistente de la Universidad de Cundinamarca en el área de las geo ciencias, de la facultad de Agronomía, Perteneciente al grupo de investigación Geocartografía, de la Universidad de Cundinamarca. Domiciliado en la Kr 72 J 43-40 sur Bogotá Colombia, teléfono 3143907506, edier@hotmail.com
- 2 Estudiante investigador perteneciente al grupo de Geo cartografía de la universidad de Cundinamarca del programa de Ingeniería Agronómica, domiciliado en la Kr 94 #152-58 INT 7 APT 402 Bogotá, Colombia, teléfono 317664373, contacto carrillodiazhenry@gmail.com
- 3 Estudiante investigador perteneciente al grupo de Geo cartografía de la universidad de Cundinamarca del programa Tecnología en Cartografía, domiciliado en la calle 18 A # 11 A -55 Fusagasugá, Colombia, teléfono 3203381980 contacto jogr_92@hotmail.com.
- 4 Estudiante investigador perteneciente al grupo de Geo cartografía de la universidad de Cundinamarca del programa Tecnología en Cartografía, domiciliado en la Kr 10 A # 2-32 Fusagasugá, Colombia, teléfono 3114918026 contacto jhon_alekx@hotmail.com.

Abstract

The climate change of quaternary period is affecting the elements that make up the earth's surface, for example it is observed the setback glacial; which is the source of the main hydrographic basins that pour their waters to the Magdalena's river which is one the most important in our country. This process of fusion (deglaciation of ice masses), has been increasing the last decades according to the datum of IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales), evidencing the lost of dough of "volcán nevado del Tolima" that is found on the top of the volcanic cone in the Colombian central mountain range and with altitude approximate of 5250 above sea level. This dynamic was observed and quantified through the radiometric interpretation and prosecution of satellite images of the program copernic space program with his Sentinel-2 mission. The investigation was realized

to applying this methodology: 1 Selection and download of satellite images that cover the studio zone. 2. Radiometric correction of the satellite data. 3. Determination of the glacier mass through spectral indexes (NDSI y Ratio Simple) 4. Segmentation of the image using a calcification that isn't s supervised and finally the quantification of the glacial mass. As a result of the current investigation when we apply the first method NDSI (Normalized difference snow Index), is observed approximate loss of 16.71% with respect the information from IDEAM, and applying the second method of Ratio simple (Rott H, 19994), a glacier setback of 15.24% with respect of the same official information by the country.

Keywords: Satellite imagery, Sentinel-2, Normalised Difference Snow Index.

INTRODUCCIÓN

En la alta montaña, en especial lo que se refiere a glaciares (Acumulación natural de hielo en tierra firme)⁵, se ven altamente afectados por el cambio climático, se trata de una realidad que afecta a todos los glaciares de montaña del mundo, según investigaciones como (Poveda y Pineda, 2009), presenta un estudio de la estimación de los glaciares en Colombia 1987-2007. A nivel internacional se han realizado estudios de cuantificación de masa glaciar, uno de ellos fue el inventario realizado por el Instituto Geográfico Militar de Chile, basados en imágenes satelitales ASTER e imagen de satélite Landsat ETM y MSS, esta investigación realizada en el 2001, calcula un área de glaciar de 3953 km², observando una disminución del 15% con respecto al área inventariada en 1979.(Rivera, Benham, Casassa, Bamber, y Dowdeswell, 2007). Sin embargo, la variación climática en el nevado

del Tolima tiene particularidades regionales marcadas, como es el fenómeno del niño (fenómeno climático relacionado con el calentamiento del pacifico oriental ecuatorial).

Este fenómeno ha generado cambios en todos los servicios eco sistémicos de los páramos inclusive en las prácticas agrícolas desarrolladas en torno al recurso agua (Turbay et al., 2014).

De todos los cambios atribuibles a la variación climática, el encogimiento del glaciar tropical es, quizás, entre los más dramáticos; en efecto, las líneas de equilibrio en estos glaciares son muy sensitivas al cambio de la temperatura (Mark, 2008; Kaser and Georges, 1999). Los glaciares tropicales son una rareza y Colombia es afortunada, al tener seis remanentes con área glaciar total calculada al 2003, en cerca de 55 km² (Ceballos et al., 2006).

Las imágenes de satélite, se pueden utilizar para monitorear la extensión de los glaciares, que es un buen sustituto para el estudio de los cambios de balance de masa para mucho tiempo (Silverio y

⁵ Strahler, A.n. Y Strahler, A.h. (1989). Geografía Física. Barcelona, Omega.

Jaquet, 2005). Desde este contexto, la presente investigación, abordo la aplicación de una metodología, para cuantificar el proceso de fusión glaciar en el nevado del Tolima, para así disponer de información actualizada con el fin de difundir y generar las respectivas alertas en el campo ambiental, social y económico.

Partiendo de los datos obtenidos por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), que ha realizado un seguimiento al retroceso glaciar del nevado del Tolima, desde el

año 1850 hasta el año 2010, se realizó esta investigación, con el objetivo de cuantificar el área glaciar desde el año 2010 hasta el año 2017, mediante imágenes satelitales del programa copernicus, Sentinel-2, con una resolución espacial de 10 y 20 metros, utilizando las bandas espectrales 2, 3 y 11, (496.6 nm, 560 nm, 1613.7 nm) respectivamente.

Se determinó la cobertura glaciar, empleando los algoritmos espectrales:

$$NDSI \text{ (normalised difference snow index), } NDSI = \left(\frac{Banda2 - Banda11}{Banda2 + Banda11} \right) \quad (1)$$

$$\text{Ratio Simple } RatioSimple = \left(\frac{Banda3}{Banda11} \right) \quad (2)$$

Área de Estudio

La zona de estudio, es el nevado del Tolima, que se encuentra en el Volcán Nevado Del Tolima, (República De Colombia) donde sus coordenadas geográficas aproximadamente son: 4°39' latitud norte y 75°22' longitud oeste, con una altura de 5250 metros sobre el nivel del mar. El área

glaciar se encuentra en los municipios de Ibagué y Anzoátegui del departamento de Tolima; A un costado del volcán nevado Santa Isabel y del volcán nevado del Ruiz, estos hacen parte del área protegida del Parque Nacional Natural Los Nevados, decreto 2372 de 2010, (Colombia Ministerio De Ambiente, 2010).

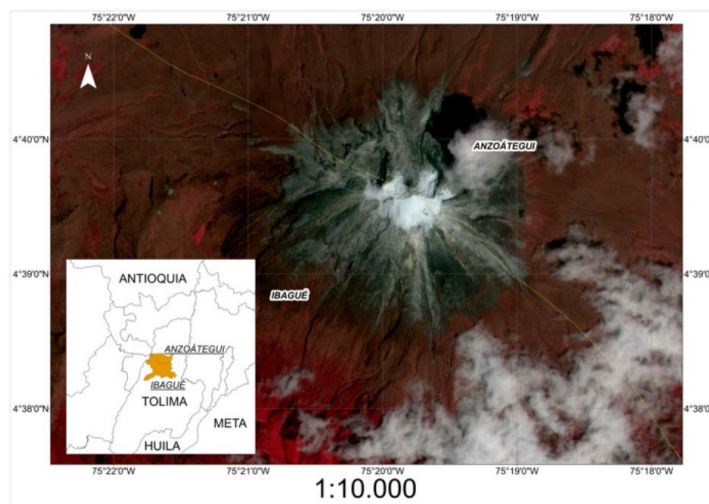


Figura 1. Imagen con y sin correcciones atmosféricas

MATERIALES

La imagen utilizada, pertenece programa espacial Copérnicus del satélite Sentinel-2, el cual contiene un escáner multi-espectral, que permite obtener información en la longitud de onda del visible (azul, verde y rojo), en cinco longitudes de onda del infrarrojo cercano, y en cuatro infrarrojos de onda corta. La imagen utilizada en el presente estudio es del 13 de febrero de 2017, las bandas utilizadas fueron, la banda 2 (496.6 nm), y la banda 3 (560 nm), del espectro visible, con una resolución espacial de 10 metros y la banda 11 (1613.7 nm), infrarrojo de onda corta, con una resolución espacial de 20 metros.

DESARROLLO METODOLÓGICO

A continuación, se presenta el modelo metodológico, con el cual se cuantificó el proceso de fusión de la masa glaciar del nevado del Tolima.

A partir de este modelo metodológico, se cuantificó el retroceso glaciar; como primera instancia se descargó de la plataforma Copernicus⁶, administrado por la Unión Europea, una escena satelital que

cumple con ciertos estándares de calidad, como mínima nubosidad en la zona del nevado, ser una imagen con Nivel-1C de procesamiento, es decir corregida radiométrica y geoméricamente⁷ y tener un sistema de referencia global.

Luego, se realizó un recorte de la imagen con la zona de estudio, lo cual garantiza un procesamiento más eficiente de los datos e inferencias estadísticas de mayor precisión; seguidamente se realizó una corrección radiométrica de los píxeles, llevando estos a magnitudes físicas que puedan ser medibles y comparables (Chuvienco 2002), este proceso se ejecutó mediante la aplicación Semi-Automatic Classification Plugin⁸, sobre el software libre Qgis⁹. Para la cuantificación de la masa glaciar, se utilizó dos índices espectrales según la figura 2, el primero de ellos fue el implementado por Dozier 1989, en el cual relaciona la variabilidad espectral con imágenes satelitales del programa Landsat TM; En la presente investigación se analizó las diferentes resoluciones espectrales del programa Sentinel-2, en total 13 longitudes de onda, con lo cual se llegó a la conclusión de utilizar, la longitud de onda del visible banda 2, con centro de longitud de onda en

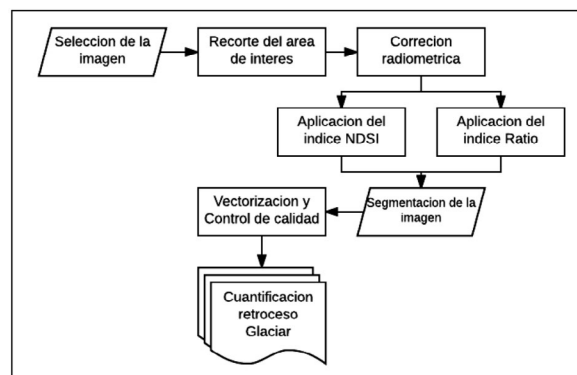


Figura 2. Modelo Metodológico.

Fuente: elaboración propia.

⁶ <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

⁷ <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-1>

⁸ <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin>

⁹ <https://www.qgis.org/es/site/>

490 nm (nanómetros), y la banda 11, con centro de longitud de onda en 1610 nm, dada las características de reflexión de la energía electromagnética de la banda 2 y la absorción de la energía de la banda 11 infrarrojo medio, en la cubierta nival. Se procede a aplicar el algoritmo o índice NDSI (Normalized Difference Snow Index).

Con la aplicación de la ecuación (1), se obtiene el índice de masa glaciar NDSI (Normalized

Difference Snow Index), este índice, muestra la distribución espacial de la masa glaciar según la figura 4.

En la figura 5, se observa el índice ratio simple, calculado a partir de una longitud de onda del visible, banda 3, con centro de longitud de onda en 560 nm (nanómetros), y la banda 11 de la misma escena satelital, formula (2).

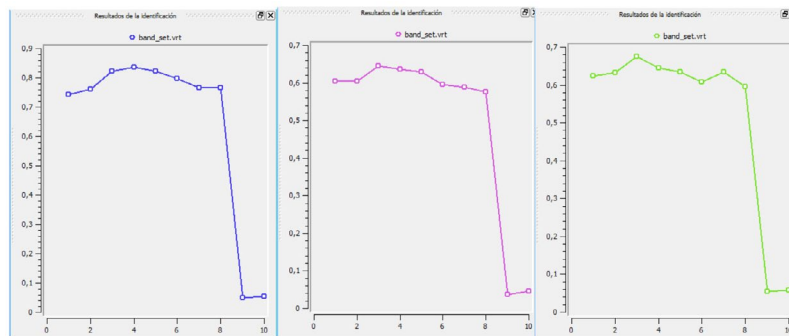


Figura 3. Visualización de la reflectividad espectral (Banda 2, Banda 3) y absortividad (Banda 11) imágenes satelitales Sentinel-2, cubierta hielo glaciar.

Fuente: Elaboración propia. Software Qgis.

$$NDSI = \left(\frac{Banda2 - Banda11}{Banda2 + Banda11} \right) \quad (1)$$

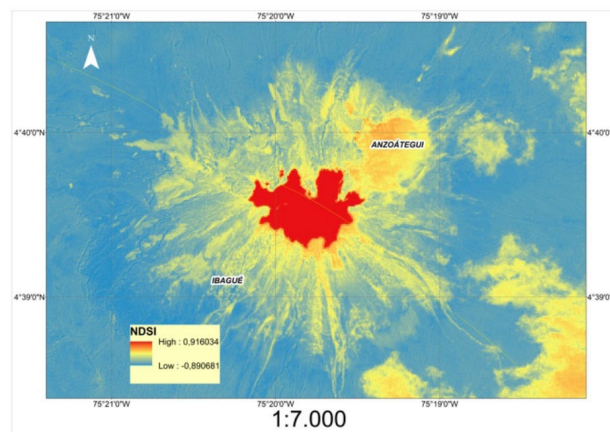


Figura 4. Mapa de índice NDSI (Los pixeles de color rojo representan reflectividad alta, pixeles pertenecientes a la masa glaciar).

Fuente: Elaboración propia. ⁶

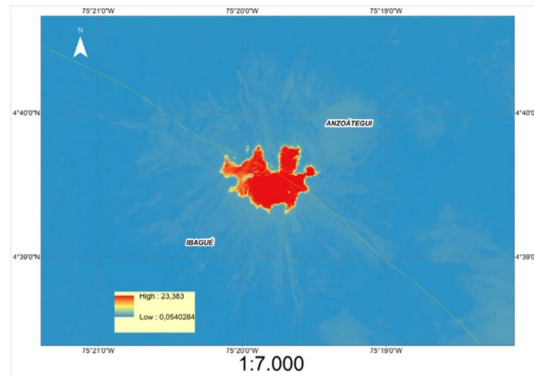


Figura 5. Mapa de índice Ratio Simple (Los valores de color rojo representan reflectividad alta, de la cubierta masa glaciar).

Fuente: elaboración propia.

Una vez, generado los mapas de masa glaciar por los dos algoritmos, se aplicó una segmentación, la cual consiste en clasificar un grupo de pixeles que tienen cierto grado de comportamiento espectral homogéneo (Chuvieco, 1995), y que está en función de la cobertura observada, en una imagen satelital.

Teniendo la información espacial de los pixeles donde hay masa glaciar, se aplicó una vectorización sistemática a los datos, al ser un método automatizado, genera errores como vacíos topológicos, conectividad y continuidad, siendo necesario aplicar algunas técnicas de control de calidad (Rocha L., 2012), basado en la norma Icontec 5043¹⁰ "Conceptos básicos de la calidad de los datos geográficos". Este proceso de vectorización se realizó después de implementar los dos índices espectrales NDSI y Ratio Simple, con el fin de darle consistencia lógica a la información espacial.

RESULTADOS

Con la aplicación de método propuesto en esta investigación, se cuantificó el retroceso glaciar del nevado del Tolima, utilizando dos índices radiométricos con imágenes multiespectrales Sentinel-2, NDSI y Ratio Simple, los cuales arrojaron

que la masa glaciar para el año 2017, es de 62.30 ha y 63.40 ha respectivamente, estos datos se compararon con los generados por el IDEAM en el año 2010, los cuales contenían un área de masa glaciar de 74.8 ha, esto nos lleva a una pérdida total de masa glaciar con promedio de los dos índices NDSI y ratio simple de 15.98% desde el 2010 al 2017.

En la figura 7, se observa la evolución del proceso de ablación de la masa glaciar desde el año 1850 hasta el año 2017, con la presente investigación se calculó una pérdida de 11.8 ha aproximadamente. Con respecto al año 1996 se observa una pérdida acelerada del 37% de la cobertura en estudio.

Utilizando imágenes satelitales se logró cuantificar los impactos generados en estos ecosistemas de paramo, estos cambios de cobertura, impactan negativamente los servicios ecosistémicos hídricos, los cuales dan bienestar a los residentes de municipios aledaños a la zona de estudio. Es importante [8] para futuras investigaciones, utilizar datos de temperatura, precipitación, radiación solar y variables biofísicas. Con el fin de modelar estos impactos y poder predecir con certeza dinámicas espaciales para su mitigación y adaptación. (Delgado, H.D. 1997).

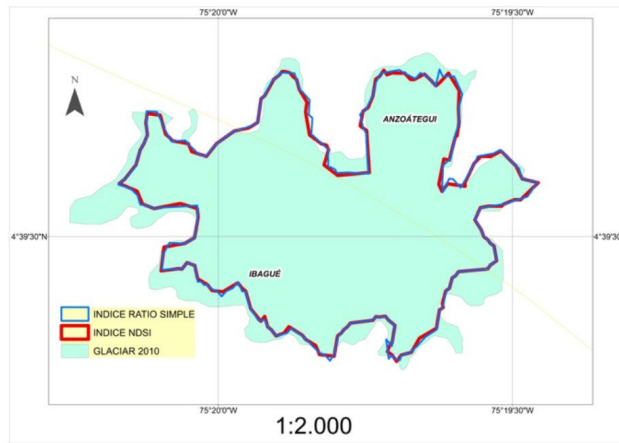


Figura 6. Mapa comparativo de la cuantificación de la masa glaciar (verde claro información IDEAM 2010, rojo método NDSI y azul índice Ratio Simple).

Fuente: elaboración propia

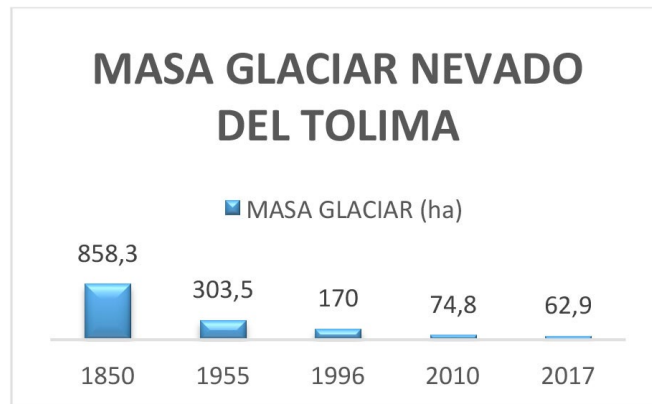


Figura 7. Comparación de la pérdida de masa glaciar

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados generados por la presente investigación, demuestran que los nevados de Colombia, y en este caso el nevado del Tolima, están siendo afectado drásticamente por el cambio climático, según Páez G. et al., 2016, expone en su estudio multitemporal, un proceso de fusión glaciar en la sierra nevada de Santa Marta para el periodo de 1986 al 2014, generando una alerta de desaparición de la masa glaciar entre el 2020 y el 2030.

La investigación realizada por Gómez J., 2016, demuestra, que la disminución de la masa glaciar en el nevado del Ruiz, está afectando a toda la cuenca hídrica, que abastece de agua a los municipios de Pereira, santa Rosa de Cabal y Manizales, generando impactos negativos en los procesos productivos agrícolas de la zona.

La aplicación de los índice radiométricos ND-SI y ratio simple, que combina la variabilidad espectral de las ondas del espectro electromagnético

visible e infrarrojo de onda corta, son muy acertados para identificar la cobertura de hielo, ya que al utilizarlos, arrojan una exactitud entre ellos de 98.2%. (Sankey et al., 2015), se recomienda para posibles estudio de distribución espacial de la masa glaciar, utilizar imágenes hiperespectrales con el propósito de analizar radiométricamente los mas mínimos cambio por longitud de onda.

CONCLUSIONES

El aporte académico y ambiental, que realiza la presente investigación, es una actualización de los recursos no renovables, en este caso, la actualización del casquete glaciar del nevado del Tolima para el año 2017. Se debe tener presente como conclusión de esta investigación que si las condiciones y variables físicas, ambientales y sociales, continúan con la misma intensidad, habrá una alta probabilidad de que para el año 2050 se carezca de un servicio eco sistémico hídrico del nevado del Tolima.

Se deben implementar inmediatamente, políticas ambientales como restauración de las coberturas de bosques, vegetación herbácea y áreas arbustivas, en los ecosistemas de alta montaña como el sub páramo, el páramo y el súper páramo, con el fin de activar las recargas de agua hacia en nivel freático y acuíferos.

BIBLIOGRAFÍA

- Chávez-Jiménez, A., y González-Zeas, D. (2015). El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. RIBAGUA - Revista Iberoamericana Del Agu, 2, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.04.001>.
- Chuvieco E. Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel S.A. Barcelona España. 2002.
- Dozier, J. (1989). Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper. Remote Sensing of Environment, 28, 9-22. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90101-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90101-6)
- Jensen, J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. New Jersey, 1996.
- Herrera, G., y Ruiz, J. (2009). Retroceso glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy, Boyaca-Colombia, 1986-2007. Colombia.
- Hoffman, D. (2008). Consecuencias del retroceso glaciar en la cordillera Boliviana. Instituto Boliviano de la Montaña Casilla .
- IDEAM: Los glaciares Colombianos, expresion del cambio climatico global, Bogota, recuperado de : <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009724/glaciares.pdf> , 2000.
- Poveda, G., y Pineda, K. (2009). Reassessment of Colombia's tropical glaciers retreat rates: are they bound to disappear during the 2010-2020 decade? Advances in Geosciences, 22, 107-116. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-107-2009>
- Real, Leonardo. (2011). Glaciares de Colombia más que montañas con hielo. Bogotá: IDEAM.
- Rivera, A., Benham, T., Casassa, G., Bamber, J., y Dowdeswell, J. A. (2007). Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia Icefield, Chile. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.037>
- Ruiz Pereira, S. F., Teixeira Valente, P., Bica Grondona, A. E., Becerra Rondon, A. C., Cristiane Rekowski, I., Bianchini, N., y otros. (2016). Un analisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando Teledeteccion. Chile.
- Sankey, T., Donald, J., McVay, J., Ashley, M., O'Donnell, F., Lopez, S. M., y Springer, A. (2015). Multi-scale analysis of snow dynamics at the southern margin of the North American continental snow distribution. Remote Sensing of Environment, 169, 307-319. <https://doi.org/10.1016/Zj.rse.2015.08.028>
- Suárez, J. C. (2015). Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la sierra nevada. Bogotá. Recuperado de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13551/1/AN%C3%81LI-SIS%20multitemporal%20del%20retroceso%20glaciar%20de%20la%20sierra%20nevada%20del%20cocuy.pdf>

Tarazona Coronel , Y. (2012). Aplicación de la Teledetección como una herramienta para el análisis Multitemporal del retroceso glaciar en el nevado Pastoruri debido al cambio climático. Lima- Peru: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez+, J. J., Ocampo++, O. L., Citar, C., Ocampo, O. L. (2014). Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. Investigaciones Geográficas: Boletín Del Instituto de Geografía, 2014, 95-112. <https://doi.org/10.14350/rig.42298>