

LA TELEDETECCIÓN COMO INSTRUMENTO PARA EL ANÁLISIS GLACIAR EN AMBIENTES DE ALTA MONTAÑA TROPICAL ECUATORIANA

Artículo

**Autores:**

Argenis de Jesús Montilla Pacheco
Docente Investigador Facultad de Hotelería y Turismo
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador
Email: argenismontilla@hotmail.com

Félix Reinaldo Pastrán Calles
Profesor adscrito al Departamento de Ciencias Sociales
Universidad Pedagógica Experimental Libertador
Instituto Pedagógico experimental Libertador (UPEL)
Barquisimeto. Edo. Lara. Venezuela
Email: felix_pastran@hotmail.com

Héctor Eduardo Rodríguez Piñero
Profesor adscrito al Departamento de Ciencias Sociales
Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL)
Barquisimeto. Edo. Lara. Venezuela
Email: hectorrodriguez@gmail.com

RESUMEN

El calentamiento global es un fenómeno climático con afectaciones de distinta naturaleza a escala mundial. Uno de sus efectos es el aumento de la temperatura atmosférica, el cual incide de manera directa en el derretimiento de las masas de hielo que conforman los glaciares, especialmente en la alta montaña tropical. En ese contexto, el presente estudio tiene como objetivo identificar y analizar los cambios temporales que han presentado tres glaciares ubicados en los Andes Ecuatorianos. Para desarrollar el estudio se utilizó un software de Sistemas de Información Geográfica y un conjunto de imágenes satelitales de diferentes fechas que permitieron obtener datos a través de la aplicación del Índice de Nieve de Diferencia Normalizada (NDSI). Como resultado se encontró que los glaciares presentaron un importante retroceso y disminución en términos de superficie, contrayéndose de manera significativa hacia sectores de mayor elevación.

Palabras clave: Calentamiento global, Cambio climático, Glaciares.

TELEDETECTION AS AN INSTRUMENT FOR THE GLACIER ANALYSIS IN HIGH-MOUNTAIN ECUATORIAN HIGHLAND ENVIRONMENTS

ABSTRACT

Global warming is a climatic phenomenon with affects of different nature on a global scale. One of its effects is the increase in the atmospheric temperature, which directly affects the melting of the ice masses that make up the glaciers, especially in the high tropical mountain. In this context, the present study aims to identify and analyze the temporal changes that have presented three glaciers located in the Ecuadorian Andes. To develop the study, Geographic Information Systems software and a set of satellite images of different dates were used to obtain data through the application of the Normalized Difference Snow Index (NDSI). As a result it was found that the glaciers presented a significant decline and decrease in surface area, contracting significantly towards sectors of higher elevation.

Keywords: Global warming, Climate change, Glaciers.

INTRODUCCIÓN

La problemática concerniente a temas medioambientales impulsa cada vez, dentro del campo científico, un cúmulo de investigaciones cuyo propósito es analizar el espacio geográfico para comprender las condiciones y posibles consecuencias que en él se generan, despertando interés en la conservación y preservación del ambiente ante agentes que modifican o alteran su naturaleza.

Caso específico es el daño producido por el calentamiento global, fenómeno ocasionado por la emisión de gases de efecto invernadero que conduce al aumento de la temperatura atmosférica, siendo el principal agente modificador el dióxido de carbono, que junto al aumento de la evaporación alteran los patrones de precipitación y afectan directamente a especies de plantas y animales, e incluso al ser humano, principal actor responsable de esta realidad.

Un ejemplo de esta realidad se puede apreciar en ambientes de la alta montaña tropical ecuatoriana, donde es posible localizar formaciones glaciarias producto de las bajas temperaturas imperantes en esos ambientes (Monasterio y Molinillo, 2003) a partir de los 4.500 msnm, pero que debido al calentamiento global acusan procesos de regresión.

Cabe recordar que los glaciares son grandes masas de hielo que se mantienen en constante evolución a través del tiempo, y su comportamiento está relacionado históricamente con las condiciones climáticas imperantes (Tarazona, 2012). Por ejemplo, el área que ocupa actualmente los glaciares andinos es marcadamente menor a la que existió hace unos 11.000 años, es decir, a finales del episodio frío conocido como Dryas Reciente o pequeña edad de hielo (Jöris y Álvarez, 2002), cuando las tierras localizadas en el cinturón tropical, tanto las montañosas como las de mediana altitud, fueron afectadas sensiblemente por las fluctuaciones ambientales Holocenas (Van der Hammen, 1995), de forma tal, que las lenguas glaciares

descendieron en algunos sectores hasta la cota de los 2.600 metros sobre el nivel del mar (Strahler, 1970).

Una de las causas a las que se atribuye el retroceso de los glaciares en los tiempos actuales es el cambio climático, pues según Villegas y Aliaga (2009) y Peñaloza (2001), el calentamiento global en los últimos 50 años, muy probablemente ha sido mayor que el de cualquier otro período durante los últimos 1.300 años, por tanto, los efectos observados en el clima incluyen cambios importantes en las temperaturas, especialmente en las superficies cubiertas por hielos perpetuos, que están sufriendo una regresión hacia mayores altitudes, disminuyendo simultáneamente la superficie ocupada.

Así pues, Peña (2015), señala que en décadas recientes, las regiones glaciares del sistema de cordilleras pertenecientes a Colombia, han visto un retroceso en las masas de hielo debido al cambio climático, situación que pudiera acentuarse en los próximos años ya que los escenarios futuros proyectan para los próximos veinte años un aumento de la temperatura en aproximadamente 0,4°C, y para el año 2100, ésta pudiera incrementarse entre 1,8 y 4,0°C por encima del promedio actual (Peñuelas y Boada, 2002; Villegas y Aliaga, 2009).

Por la problemática antes planteada y por la importancia de conocer en mayor detalle el comportamiento de las masas de hielo en la alta montaña tropical, es objetivo de esta investigación identificar a través de un estudio multitemporal (1974-2013) los cambios que presentan en términos de superficie ocupada tres glaciares ubicados en el Ecuador; asimismo, es importante porque al conocer la dinámica glaciaria se hace posible la toma de decisiones respecto al uso y aprovechamiento del recurso hídrico, en el entendido de que los glaciares aportan significativas cantidades de agua que es aprovechada por los grupos humanos para distintos usos (Alva y Meléndez, 2010), pero además forma parte vital y permite el funcionamiento de

ecosistemas localizados no sólo en ambientes de alta montaña (Josse *et al.*, 2009), sino también en el piedemonte.

DESARROLLO TEÓRICO

Las tecnologías de información y comunicación cada vez están aportando información en el campo científico, social y ambiental, por ello, la geografía no escapa del uso de éstas herramientas, al contrario, las aplica a través del uso de ordenadores, sistemas de comunicación, imágenes remotas y software, de tal forma que hace posible la generación, almacenamiento, manipulación e interpretación de datos para diagnosticar, comprender y aportar soluciones a problemas ambientales (Castells, 1999).

Una de las plataformas tecnológicas de vanguardia en la geografía es la teledetección, pues permite agrupar un conjunto de técnicas para producir imágenes de la superficie terrestre desde dispositivos instalados en plataformas espaciales (Pacheco, 2002), cuya finalidad es la observación de objetos desde grandes distancias por medio de instrumentos que actúan ante la presencia de diversos elementos, tales como fuentes de energía, tipos de cobertura de la tierra, sensores y otros (González, 1981; Chuvieco, 2006). En tal sentido esta herramienta hace posible que los usuarios reciban e interpreten información de imágenes, permitiendo realizar estudios a menor costo económico y en poco tiempo.

De esta manera, se reconocen como Sistema de Información Geográfica (SIG) a todos los equipos, instrumentos, programas o dispositivos que generen, procesen y/o representen información geográfica (Chuvieco, 2006), y que faciliten información de datos georeferenciados de tipo cartográfico, alfanuméricos, vectoriales y raster; que en conjunto ayudan en la elaboración de mapas topográficos, de cobertura vegetal, hidrográficos, viales y de cobertura de masas de hielo entre muchos otros.

Ambiente en estudio.

El ámbito geográfico objeto de la presente investigación está ubicado en los Andes centrales y norte del Ecuador. Los glaciares estudiados son tres, el Cotopaxi, el Antisana y el Cayambe, enclavados en ambientes de alta montaña tropical, sometidos a bajas condiciones térmicas durante todo el año. El Cotopaxi se asienta sobre la geografía de la provincia del mismo nombre, mientras que el Antisana está entre las provincias de Pichincha y Napo, y el Cayambe en la provincia de Pichincha (Gráfico 1).

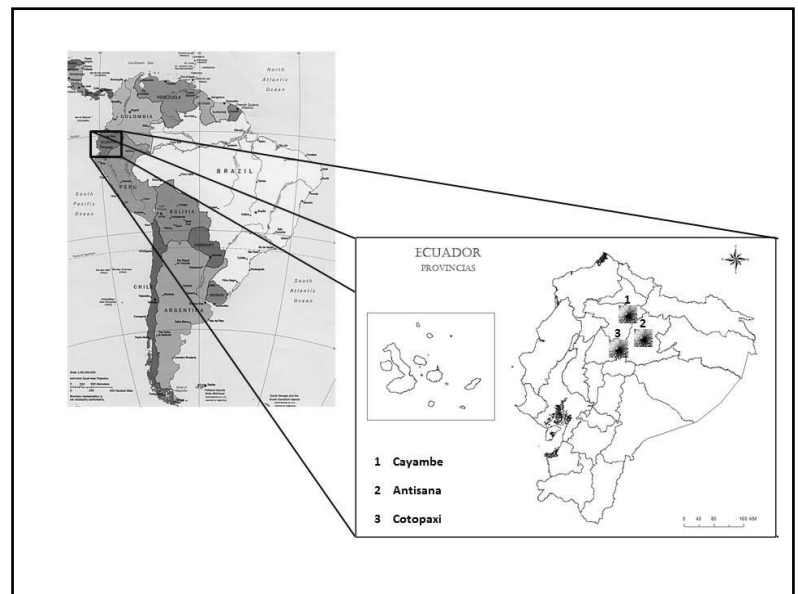


Gráfico 1. Ubicación geográfica de los glaciares en estudio.

Aplicación de SIG y selección de las imágenes de satélite

Para realizar el estudio, específicamente lo concerniente a cobertura y retroceso de los glaciares se aplicaron herramientas SIG e imágenes de satélites de los años 1974 y 2013, debido al interés de comparar la realidad en ambos años; por lo que se dispuso de un total de cuatro imágenes remotas; dos del año 1974 y dos del año 2013, de

forma tal que se cubrió entre el primero y el último año de análisis, un periodo de 39 años.

Las imágenes utilizadas para el análisis del año 1974 fueron Landsat 1 MSS (Multispectral Scanner), con resolución espacial de 80 metros producto del sensor MSS, que es un equipo óptico-electrónico cuyo campo visual es de 11.5°, el cual, de acuerdo a la altura orbital del satélite, puede hacer un barrido de 185 Km de la superficie terrestre (Dozier, 1989; Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, 2014). Igualmente, las imágenes empleadas para el año 2013 fueron Landsat 8 (OLI), cuya resolución espacial es de 15 metros en pancromático y 30 metros multiespectral, con un ancho de imagen de 185 kilómetros, cubriendo amplias zonas de la tierra y proporcionando de igual forma una resolución suficiente para distinguir tipos de cobertura del suelo (IGAC, 2013). Todas las imágenes fueron obtenidas a través del portal del Servicios Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica (USGS).

Corrección de las imágenes satelitales

Con el fin de obtener mejores resultados en el trabajo se procedió a reparar las distorsiones y desplazamientos del relieve en cada una de las imágenes satelitales utilizadas, por lo que se les efectuaron correcciones geométricas. Esta corrección geométrica se hizo aplicando herramientas de Sistemas de Información Geográfica con la finalidad de posicionar cada imagen en función a la base cartográfica del Instituto geográfico Militar de Ecuador (IGM), compuesta por mapas a escala 1:100 000.

METODOLOGÍA

Método

El método implementado para clasificar la superficie glaciaria se realizó aplicando el Normalized Difference Snow

Index (NDSI) con un umbral mayor a 0,4; este índice (NDSI) ha sido empleado con buenos resultados en distintos trabajos (Dozier, 1989; Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, 2014; Xiao-Yan *et al.*, 2015). De igual manera, para tener una identificación más clara de la cobertura de hielos se precisó de las capas auxiliares mediante las técnicas de realce espectral y la combinación de bandas 5-4-3 en los canales visibles (Red - Green - Blue). Sin embargo, es pertinente señalar que las imágenes usadas tienen una resolución espacial que no permite obtener toda la información de cobertura glaciaria a altos niveles de precisión, por lo que resultaría conveniente en futuras investigaciones, y en el caso de contar con los recursos financieros, la realización de múltiples actividades de campo y el empleo de fotografías aéreas y otras imágenes de satélite de mayor resolución espacial.

Procedimientos para el análisis del comportamiento de la superficie de los Glaciares

La información que se presenta a continuación permite en primer lugar, detallar el comportamiento en particular de cada glaciar estudiado, y en segundo lugar, analizar en conjunto y comparativamente la regresión de los mismos.

Glaciar Antisana

A partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación de tecnologías de Sistemas de Información Geográfica y sensores remotos, se tiene que para el año 1974 las masas de hielo en el Antisana cubrían 1.144 hectáreas; sin embargo, al hacer el mismo procedimiento con la imagen del año 2013 se encontró una gran diferencia, pues para este último, la cobertura era de 992 hectáreas, lo cual se traduce en una reducción de 152 hectáreas en un lapso de 39 años.

Si se calcula a nivel anual, esta reducción de hielo en la superficie, da como resultado una tasa de retroceso de las masas de hielo a razón de 3,8 hectáreas/año, siendo significativamente menor en comparación a la tasa de

deshielo encontrada por Peña (2015) para el sistema de glaciares de La Sierra Nevada de Cocuy en Colombia, donde reporta una pérdida de los hielos de 5,76 hectáreas/año. En este caso, la diferencia en la tasa regresiva entre los dos glaciares pudiera tener relación con la elevación, pues el Antisana se asienta sobre mayores alturas, lo cual, presume que el efecto del calentamiento global sea inferior respecto al primero.

En síntesis, desde el punto de vista porcentual, el glaciar Antisana ha perdido el 15% de su masa de hielo a lo largo del período de análisis, de modo que anualmente se reduce en 0,34%. Esta situación se puede observar en la Gráfico 2, allí se nota según la imagen de 1974, que las masas de hielo eran superiores en cobertura respecto al año 2013, por tanto permite hablar de una evidente regresión en términos temporales, disminuyendo 1974 y 2013 de 1.144 hasta 992 hectáreas.

399 hectáreas a una tasa de pérdida de 10,2 hectáreas/año. Si se compara, esta tasa resulta ser 36% más alta que la del Antisana, que como ya se apuntó, fue de 3,8 hectáreas/año, pero además, fue más elevada que la del sistema de glaciares de La Sierra Nevada de Cocuy en Colombia, reportada por Peña (2015) en 4% anual entre 1992 y 2003.

En síntesis, la regresión del Cayambe como de otros glaciares en la alta montaña tropical pudiera guardar relación con la dinámica de la atmósfera, pues según Peña (2015) en las últimas décadas el calentamiento térmico global, asociado a la acumulación de gases de efecto invernadero ha tenido una fuerte influencia en el derretimiento de las masas de hielo.

En el gráfico 3 se observa la disminución que en términos de cobertura ha registrado el glaciar Cayambe entre 1974 y 2013. La visualización de los cambios de las masas de hielo es clara durante ese periodo, lo que permite señalar una regresión glaciar de relevancia.

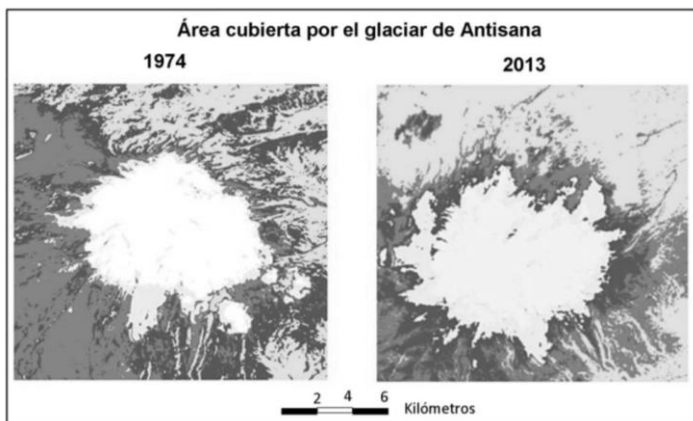


Gráfico 2. Área cubierta por el glaciar de Antisana. Se observan las masas de hielo para las dos fechas estudiadas (color blanco), donde se puede notar la diferencia de cobertura espacial entre 1974 y 2013 respectivamente.

Glaciar Cayambe

De acuerdo a los datos obtenidos al aplicar herramientas de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos, se encontró que el glaciar Cayambe, al igual que el Antisana, registró una regresión importante, pues de las 1.635 hectáreas cuantificadas para el año 1974, se redujo por deshielo a 1.236. Este cambio se traduce en

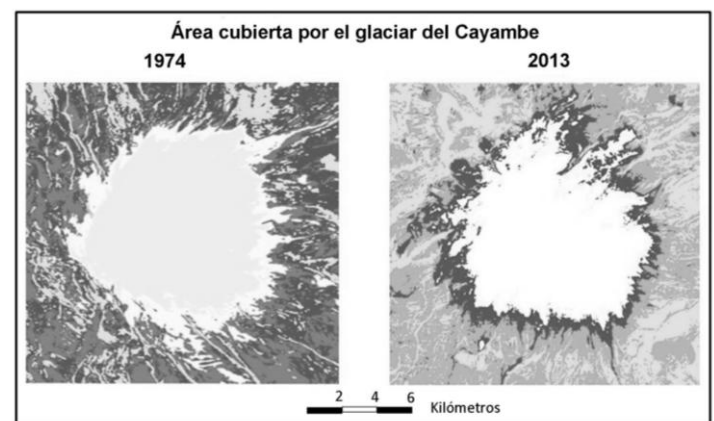


Gráfico 3. Área ocupada por las masas de hielo en el glaciar Cayambe para las dos fechas estudiadas (color blanco). Nótese la diferencia de cobertura espacial entre 1974 y 2013.

Glaciar Cotopaxi

Como en los dos casos anteriores, al aplicar herramientas de Sistemas de Información Geográfica se realizó el cálculo de la regresión de las masas de hielo

presentes en Cotopaxi entre los años 1974 y 2013. Como resultado se encontró para el mismo período, una pérdida de 659 hectáreas, que viene a representar cerca del 40% del glaciar. En términos anuales, la tasa de deshielo fue de 16,8 hectáreas/año, así, estos valores reflejan que con el transcurrir del tiempo continuará disminuyendo significativamente la cobertura del mismo; por lo tanto, el comportamiento regresivo del glaciar Cotopaxi corresponde a una tasa de deshielo de 16,8 hectáreas/año, lo que resulta mucho mayor respecto a la de los glaciares Cayambe y Antisana que fueron de 10,2 y 3,8 respectivamente.

Como consecuencia, debe señalarse, que si continúan desarrollándose los mismos procesos que influyen en el derretimiento de los hielos, al menos con las condiciones que se viven en el presente, es de esperar que las masas heladas de Cotopaxi desaparezcan en unos 80 años, mientras que las de Antisana y Cayambe lo harían en aproximadamente 280 y 130 años respectivamente, no obstante, dada las proyecciones que se tienen a futuro sobre el cambio climático y el calentamiento global (Vitousek, 1994; Chémery, 2003), probablemente la desaparición de los mismos se produzca en un tiempo mucha más corto.

En la figura 4 y en el gráfico 3 la apreciación en la reducción de tamaño del glaciar es evidente, y es particularmente clara la diferencia en términos de ocupación espacial entre las fechas de estudio.

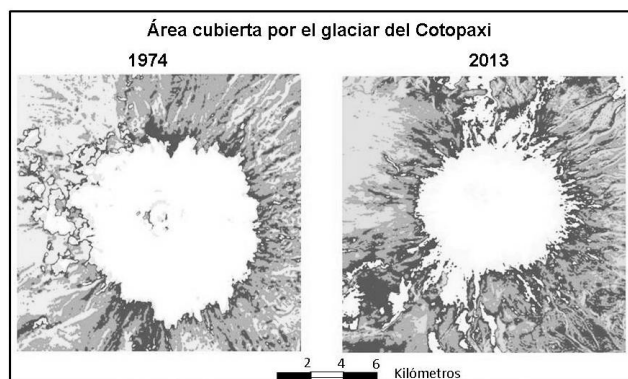


Gráfico 4. Área cubierta por el glaciar Cotopaxi. Se observan las masas de hielo para las dos fechas estudiadas (color

blanco), donde se puede notar la diferencia en cobertura espacial entre 1974 y 2013.

RESULTADOS

En cuanto a los hallazgos, en el gráfico 4 se puede apreciar el comportamiento regresivo de los tres glaciares estudiados, así como el comportamiento regresivo promedio entre las dos fechas. De ellos el de mayor regresión y con tendencia a desaparecer en menor tiempo es el Cotopaxi, mientras que el Antisana es el que se muestra más estable y con menor regresión. Desde el punto de vista comparativo, puede afirmarse que el comportamiento de los glaciares estudiados es similar al reportado por Santiago, *et al.*, (2004) para los glaciares de la Sierra Nevada del Cocuy en Colombia, pero también a los que reportan Walter y Jaquet (s/f), y la Intendencia de Recursos Naturales (2007) para algunos glaciares de la Cordillera Andina en Perú.

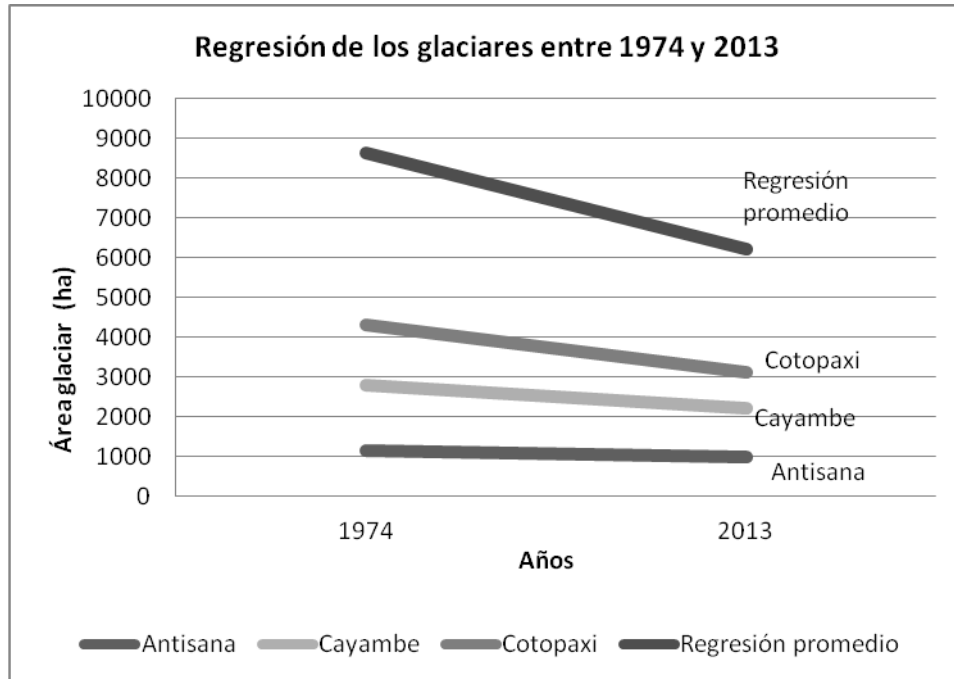


Gráfico 5. Regresión de los glaciares entre 1974 y 2013 y regresión promedio de los tres glaciares entre los años 1974 y 2013.

CONCLUSIONES

El uso y aplicación de técnicas de evaluación multicriterio así como de herramientas de sistemas de información geográfica vienen a constituir estrategias realmente innovadoras para estudios del paisaje geográfico, y particularmente para el análisis del comportamiento de grandes masas de hielo, especialmente porque los resultados que se obtienen a partir de las mismas resultan muy completos y de enorme utilidad en el campo científico, pero además en todo lo que tiene que ver con gestión y manejo de recursos naturales.

Adicionalmente el empleo de imágenes de satélite Landsat en el análisis multitemporal permitió determinar, como en este caso, los cambios que ocurrieron en los tres glaciares a lo largo de los cortes cronológicos estudiados, por lo que se evidencia una disminución significativa de las masas de hielo, lo cual hace presumir cambios a nivel del comportamiento hidrológico de los cursos de agua que de ellas se alimentan. Sin embargo, para precisar otros efectos, por ejemplo el impacto que este hecho tendría sobre los ecosistemas, sería recomendable desarrollar otras investigaciones que permitan profundizar los conocimientos al respecto.

Otros temas como la productividad en actividades agrícolas en pisos altos y medios de la cordillera andina de Ecuador, así como posibles riesgos en la salud pública por cambios de temperatura y el surgimiento de ciertas enfermedades con afectación a plantas, animales y al propio ser humano se pudieran conocer con nuevas investigaciones.

Todo lo anterior certifica que en las últimas décadas las masas de hielo que constituyen los glaciares antes mencionados, han experimentado significativos cambios y procesos de regresión que se enrumban hacia la extinción de los mismos, concretamente desde 1974 hasta el 2013.

La regresión en conjunto de los glaciares estudiados ha sido de casi 3.000 hectáreas, al pasar de aproximadamente 9.000 a más o menos 6.000 hectáreas. Ésta reducción, obviamente los hace cada vez más vulnerables a los efectos que impone el calentamiento global, por lo que se recomienda profundizar el conocimiento en función a una base de datos de temperatura mucho más amplia.

Debido a la falta de una sólida base de datos de temperatura se requiere trabajar enfáticamente en la generación de los mismos con la ampliación de la red de estaciones meteorológicas, pues así pudiera conocerse con más rigurosidad la variabilidad térmica temporal y asociarla con el comportamiento de los glaciares.

Finalmente, es oportuno señalar que la dinámica de los glaciares en análisis expresa una importante regresión hacia mayores altitudes en la medida en que transcurre el tiempo, por tal razón, se debe tomar especial atención a esa dinámica, pues es conocida la relación que existe entre los glaciares y la producción de agua que alimenta redes de drenaje de la que se surten numerosas poblaciones y asentamientos agrícolas, ya que, de seguir ocurriendo lo ya verificado, pareciera ser eminente la desaparición de las masas de hielo con serias consecuencias sobre los ecosistemas y la población, sobre todo por la disminución que pudiera tener la disponibilidad del recurso hídrico para distintos usos, entre ellos, riego, uso doméstico, industrial y naturalmente para consumo humano.

REFERENCIAS

Alva, M. y Meléndez, J. (2010). Aplicación de la Teledetección de la regresión glaciar en la

Cordillera Blanca. *Investigaciones Sociales*, 22: 71-83.

Castells, M. (1999). La Era de la Información: Economía, Sociedad y Cultura. Editorial Alianza. Volumen I. Madrid – España.

Chémery, L. (2003). *Los climas. Cambios en la atmósfera*. Editorial Larousse. Barcelona, España.

Chuvieco, E. (2006). Fundamentos de Teledetección Espacial, editorial Rialp, 1º ed., Madrid – España.

Dozier, J. (1989). Spectral signature of Alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28: 9-22.

González, F. (1981). Ecología y Paisaje. Ediciones H. Blume. Madrid – España.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2013). *Descripción y corrección de productos Landsat*. Centro de Investigación y Desarrollo, Bogotá, Colombia.

Jöris, O. y Álvarez, E. (2002). Algunas precisiones sobre la terminología empleada en la segunda parte del Tardiglaciar en Europa Central y el problema de su aplicación en el SW de Europa. *Zephyrus*, 55: 313-322.

Josse C., Cuesta F., Navarro G., Barrena V., Cabrera E., Chacón-Moreno E., Ferreira W., Peralvo M., Saito J. y Tovar A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino. Lima, Perú.

Intendencia de Recursos Naturales, (2007). *Comportamiento y estado actual de Pastorruri*. Intendencia de Recursos Hídricos, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos. Huaraz, Perú.

Monasterio, M. y Molinillo, M. (2003). *El Paisaje y su diversidad. El ambiente páramo*. En: HOFSTEDÉ, R., P. SEGARRA y P. MENA V. (Eds.) 2003. Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global PeatlandInitiative /NC-IUCN/EcoCiencia. Quito, Ecuador.

Pacheco, H. (2002). La percepción remota como herramienta para los estudios ambientales. *Aula y Ambiente*. Año 2, número 3. Instituto Pedagógico de Caracas. Venezuela.

Peña, J. (2015). *Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años*

- 1992, 2003 y 2014. Trabajo de Especialización en Geomática. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Peñaloza, M. (2001). Ilustrando el calentamiento global terrestre: Introducción básica al “efecto invernadero” por la contaminación antropogénica del aire. *Geoenseñanza* 6 1: 257- 278.
- Peñuelas, J. y Boada, M. (2002). Biome shift in the Montseny mountains in response to climate change. *Global Change Biology*, 6: 131-140.
- Santiago, Y., Soria, M., Posada, E. y Guillén, J. (2004). *Estudio multitemporal del retroceso glaciar a través de imágenes de sensores remotos y SIG en la sierra Nevada del Cocuy, Cordillera Oriental de Colombia, período 1960-2003*. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas / Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica (USGS). (2017). Imágenes landsat. Recuperado de <http://earthexplorer.usgs.gov>
- Strahler, A. (1970). *Introduction to physical geography*. Second Edition. USA: Ediciones John Wiley y Sons, Inc.
- Tarazona, J. (2012). *Aplicación de la teledetección para el análisis multitemporal del retroceso glaciar en el nevado Pastoruri*. Recuperado de: <https://teledeteccionsigcartografia.files.wordpress.com/2012/11/retroceso-del-nevado-pastoruri1.pdf>
- Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (2014). *Inventario de Glaciares del Perú*. Recuperado de: http://ponce.sdsu.edu/inventario_GLACIARES_AN_A.pdf
- Van Der Hammen, T. (1995). The pleistocene changes of vegetation and climate in tropical south América. *Journal of Biogeography*, 74: 13-26.
- Villegas, H. y Aliaga, J. (2009). *Cambio Climático, Desarrollo Económico y Energías Renovables: Estudio exploratorio de América Latina. Proyecto Regional de Energía y Clima*. Recuperado de: http://www.fesecuador.org/media/pdf/Cambio_%20Climatico_%20Desarrollo_y_Energias_Renovables.pdf
- Vitousek, P. (1994). Beyond global warming – ecology and global change, *Ecology*, 75: 186 -187.
- Walter, S. y Jaquet, J. (s/f). *Aplicación de la Teledetección satelitaria para la estimación del retroceso glaciar en la Cordillera Blanca Perú, entre 1987 y 1996*. Suiza: Universidad de Ginebra.
- Xiao-Yan, W., Jian, W., Zhi-Yong, J., Hong-Yi, L. and Xiao-Hua, H. (2015). An Effective Method for Snow-Cover Mapping of Dense Coniferous Forests in the Upper Heihe River Basin Using Landsat Operational Land Imager Data. *Remote Sens*, 7: 246-257.