



## *Desglaciación inducida y cambio local: Nevado Barroso*

**Induced deglaciation and local change: Nevado Barroso**

**Deglaciação induzida e mudança local: Nevado Barroso**

PhD Dani Eduardo Vargas Huanca, investigador del Centro Estratégico Transdisciplinario JHM del Perú.  
ORCID ID [0000-0001-9478-750X](https://orcid.org/0000-0001-9478-750X)

MSc.Lenny Araca Quispe, investigadora del Centro Global de Ciencia y Tecnología Estratégica de España.  
ORCID ID [0000-0001-6450-4564](https://orcid.org/0000-0001-6450-4564)

MSc.Wilber Vargas Huanca, investigador del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público de las Fuerzas Armadas (IESTPFFAA) del Perú. ORCID ID [0000-0003-4504-9820](https://orcid.org/0000-0003-4504-9820)

Lic. Roger Vargas Huanca Investigador del Instituto de Investigación Interdisciplinaria Pacha III y la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia. ORCID ID [0000-0003-1837-3051](https://orcid.org/0000-0003-1837-3051)

Mg. Jaime Huanca Quispe Investigador del IIRCI, Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Perú.  
ORCID ID [0000-0003-3323-7453](https://orcid.org/0000-0003-3323-7453)

Correo electrónico del equipo: [centroestrategico2010@gmail.com](mailto:centroestrategico2010@gmail.com)

### **Resumen**

La teoría de la irreversibilidad de la desglaciación provocado por el calentamiento global, sostenida por la comunidad científica internacional del IPCC es relativo, cuando la reversibilidad de la masa glaciar en nevados Antárticos (Sudamérica) y del Himalaya (Asia) es evidente. Mas que el cambio global es mas determinante el calentamiento local. El Perú en los últimos años ha excluido a nevados tropicales aun existentes del Inventario Nacional de Glaciares, pese a la necesidad de su protección al ser el país más vulnerable al estrés hídrico. Nuestro trabajo analiza uno de estos ecosistemas, el nevado Barroso. Se realizó un seguimiento y monitoreo continuo entre 2016 y 2018 de imágenes satelitales de la zona glaciar facilitado por satélites de la constelación Sentinel de Copernicus, la cual nos permitió comprobar que la superficie glaciar se mantiene sostenible superior a 40km<sup>2</sup> incluso durante el periodo seco, la misma que supera en superficie a varios glaciares del inventario oficial. Mediante visita in situ durante el 2019, validamos los hallazgos encontrados en el análisis previo de imágenes satelitales. Se constató la presencia de actividad minera sobre la superficie glaciar, lo cual nos obligó intersectar las imágenes satelitales y la cartografía del catastro minero del Estado, cuyos resultados nos ofrecen que el 75% de la superficie glaciar ha sido entregado para la explotación minera por el Ministerio de Energía y Minas. En conclusión, el cambio local es una amenaza más letal que el cambio global, el nevado tropical Barroso, durante el tiempo de seguimiento ha mantenido en aumento la superficie glaciar. En vez de la conservación los funcionarios públicos y el gobierno han preferido destinar para la explotación minera siendo esta un atentado contra todas las futuras generaciones de todas las regiones del sur peruano.

**Palabras clave:** Comunidades Indígenas, Imágenes satelitales, Sentinel de Copernicus, Glaciares, Nevados.

## Abstract

The irreversibility of deglaciation is a relative issue where, beyond global change, local changes are the determining factors. There are studies that demonstrate the reversibility of the glacial mass in Antarctic snow-capped mountains (South America) and the Himalayas (Asia). Peru in recent years has excluded some still existing peaks from the National Inventory of Glaciers, despite the need for their protection as it is the country most vulnerable to water stress. Our work analyzes one of these ecosystems, the Nevado Barroso, a continuous monitoring and monitoring between 2016 and 2018 of satellite images of the glacier zone was carried out provided by satellites of the Sentinels de Copernicus constellation, which allowed us to verify that the glacial surface was it maintains a sustainable level of over 40km<sup>2</sup> even during the dry period, the same surface that exceeds several glaciers in the official inventory. Through a visit to Si Tu during 2019, we validate the findings found in the previous analysis of satellite images. The presence of mining activity on the glacial surface was verified, which forced us to intersect the satellite images and the cartography of the State mining cadastre, whose results offer us that 75% of the glacier surface has been delivered for mining exploitation by the Ministry of Energy and Mines. In conclusion, local change is a more lethal threat than global change, the tropical snow-capped Barroso, during the follow-up time has kept the glacial surface increasing. Instead of conservation, public officials and the government have preferred to allocate for mining exploitation, this being an attack against all future generations in the southern Peruvian region.

**Keywords:** Indigenous communities, Satellite images, Sentinels of Copernicus, Glaciers, snow-capped Mountains.

## 1. Antecedentes

En contextos académico-científicos, las hipótesis que se muestran sobre la dinámica glaciar son diversas e incommensurables, desde la inevitabilidad y la irreversibilidad de la desglaciación por efecto del cambio global hasta teorías que afirman la renuente presencia de épocas de congelamiento en el planeta o la reversibilidad mediante pequeñas eras de hielo que han existido en la historia geológica. Estos escenarios ya sea por efecto antrópico o por alteraciones cósmico-planetario suelen ser hasta contradictorias, y muchas veces dependen del paradigma científico que los investigadores asumen previamente.

Según los grupos de investigación liderados por el Panel Intergubernamental de expertos para el Cambio Climático IPCC, la irreversibilidad de la desglaciación debido al calentamiento global es inevitable (IPCC, 2013). Sin embargo, existen investigaciones respecto a los glaciares del continente Antártico (ubicados al sur de Chile y Argentina) y en los Himalayas del continente asiático, demuestran que las ganancias masivas de la capa de hielo superan las pérdidas. Empleando datos satelitales de elevación de hielo, nubes y entre nubes (ICESat)

## Resumo

A teoria da irreversibilidade do degelo causado pelo aquecimento global, apoiada pela comunidade científica internacional do IPCC, é relativa, quando a reversibilidade da massa glacial nas montanhas nevadas da Antártida (América do Sul) e no Himalaia (Ásia) é evidente. Mais do que uma mudança global, o aquecimento local é mais determinante. O Peru, nos últimos anos, excluiu do Inventário Nacional de Geleiras os picos de neve tropical que ainda existem, apesar da necessidade de sua proteção, por ser o país mais vulnerável ao estresse hídrico. Nosso trabalho analisa um desses ecossistemas, o Nevado Barroso. O monitoramento e monitoramento contínuo foi realizado entre 2016 e 2018 de imagens de satélite da área glaciar fornecidas por satélites da constelação Sentinels de Copernicus, o que nos permitiu verificar que a superfície glaciar se mantém sustentável acima de 40km<sup>2</sup> mesmo durante o período seco, o mesmo que supere em superfície a várias geleiras do inventário oficial. Por meio de uma visita in loco durante 2019, validamos os achados encontrados nas análises anteriores de imagens de satélite. Foi constatada a presença de atividade mineradora na superfície glacial, o que nos obrigou a cruzar as imagens de satélite e a cartografia do cadastro mineiro do Estado, cujos resultados nos indicam que 75% da superfície glacial foi entregue para exploração mineira pelo Ministério de Energia e Minas. Em conclusão, a mudança local é uma ameaça mais letal do que a mudança global, o Barroso coberto de neve tropical, durante o tempo de acompanhamento manteve a superfície glacial aumentando. Em vez da conservação, os funcionários públicos e o governo preferiram alocar para a exploração de mineração, sendo um ataque contra todas as gerações futuras em todas as regiões do sul do Peru.

**Palavras-chave:** comunidades indígenas, imagens de satélite, Copernicus Sentinels, geleiras, montanhas cobertas de neve.

muestran que las ganancias de masa de la acumulación de nieve superaron las pérdidas de descarga, reduciendo el aumento del nivel del mar (Zwally, Li, Robbins, Saba, Yi & Brenner, 2015). También hay numerosos estudios que confirman el incremento y la concentración de las masas de hielo en el Karakoram Himalaya, cuenca del Indo alto (Hewitt, 2011 & Racoviteanu, Rittger y Armstrong, 2019). Esta tendencia glaciaria estaría favorecida por estrategias de conservación de glaciares emprendidas en Chile como Argentina, países que han adoptado sistemas de protección y conservación de glaciares desde la década pasada.

Respecto a los glaciares tropicales no existen estudios que demuestren ganancia de masa glaciaria y se dan por hecho que estos ecosistemas están ya en extinción, debido a su alta vulnerabilidad y por su posición perpendicular ante la radiación solar (sin estaciones de invierno que favorecería el enfriamiento del glacial alejándolo del Sol). La hipótesis de irreversibilidad e inevitabilidad de la desglaciación en los nevados como consecuencia del calentamiento global, es sostenida oficialmente por la comunidad internacional, en los Informes para las Naciones Unidas del Panel Intergubernamental de expertos para el Cambio Climático (2013) que afirma *“la desaparición de los glaciares es inevitable. Incluso si la temperatura global no continuase aumentando, muchos glaciares desaparecerán. Y es muy probable, también, que desaparezcan todos los glaciares de ciertos territorios”*. Desde entonces, esta hipótesis se replica en diversos espacios científicos, económicos, políticos y sociales del planeta. Las plataformas intergubernamentales como las Cumbres del Clima, Conferencia de Partes para el Cambio Climático COPs desde las versiones 16 al 22 han sido espacios de legitimación y expansión de la hipótesis de irreversibilidad de sistemas glaciares.

En Latinoamérica, desde hace más de una década, países como Chile y Argentina basándose en estudios de expertos y centros de investigación nacionales, al considerarlos a los glaciares como reservas estratégicas de agua dulce (Larraín, 2007) y en base a estudios interdisciplinarios lograron crear plataformas legales y científicas para mejorar la probabilidad de reducir el índice de desglaciación, por lo que crearon sistemas de protección de glaciares, que consiste en normas nacionales que prohíben actividades antrópicas, económicas (especialmente mineras) sobre los glaciares con las que actualmente han recuperado y reducido el nivel de pérdida de la masa glaciaria en la regiones polares y además han influido en la recuperación de la masa glaciaria que demuestra Zwally, et al., (2015). Tanto en Chile, Argentina y otros países de Europa y Asia con glaciares en sus territorios han promovido importantes programas de investigación científica y han adoptado estrategias locales y medidas legales que buscan al menos evitar el nivel de pérdida de la masa glaciaria, cuyas consecuencias serían la recuperación de la masa glaciaria demostrado por (Zwally, et al 2015) para glaciares polares y Hewitt, K. (2011) y Racoviteanu, et al (2019) para los glaciares polares del himalaya.

El Perú con el 71% de glaciares tropicales del mundo (ANA, 2014), no ha adoptado ninguna medida de protección. En el país, este tipo de reservas de agua dulce al estar ubicados en posición perpendicular al sol son las más vulnerables a la radiación solar y al fenómeno de calentamiento global a diferencia de los glaciares polares que están más alejados del sol. La comunidad científica peruana vinculados al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONCYTEC), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMET) y otros centros de investigación de universidades, solo enfocan su atención en las consecuencias de la desglaciación siguiendo la tendencia del IPCC (2013) y ninguna para controlar los impactos locales.

Los trabajos de investigación sobre los glaciares en el país se concentran en los efectos como desastres naturales que pueden causar la desglaciación en las zonas pobladas (Carey, 2014), sin

una mínima atención a la necesidad de protección de estos ecosistemas de amenazas como la minería. En el Perú la inexistencia de pronóstico de escenarios alternativos al de IPCC, indujo a las instituciones públicas (cooptados por poderes facticos) a asumir la teoría de la inevitabilidad de la destrucción de los glaciares tropicales, descartando cualquier intento de conservación o protección como estrategia, esta hipótesis promovida por el poder factico asociado a la minería anula cualquier iniciativa científica con fines de buscar la protección de la sostenibilidad de los glaciares.

En los últimos años se han emprendido políticas públicas estatales que favorecen el posicionamiento de actividades extractivas como la minería con gran impacto térmico en las zonas glaciares (Sanchez, 2011, pp 41; IIRCI, 2018). El escaso interés en la sostenibilidad de ecosistemas de montaña en el Perú y la hipótesis de “inevitable e irreversibilidad de la desglaciación” es contraria a la tendencias asumidas por los países que cuentan con estos mismos ecosistemas glaciares como Chile y Argentina pese a que cuentan mayor volumen y superficie glaciario, estos países para reducir el índice de desglaciación han adoptado un conjunto de estrategias dentro de un sistema de protección de glaciares (Zúñiga, 2009; Navarro & Acuña, 2018).

Los estudios de las Naciones Unidas, en Latinoamérica durante las próximas décadas, el Perú será el país más afectado por desastres asociados al cambio climático, ubicándose como el tercer lugar a nivel mundial entre los países más vulnerables y uno de los países que cuentan con los efectos más peligrosos sobre la sostenibilidad hídrica (Vargas-Huanca; 2017b). En el Perú, actualmente la totalidad de sus glaciares han perdido más del 30% de superficie de masa glaciario (Montaña, 2018). Según estudios de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para el 2014 ya habían desaparecido numerosos glaciares, el último de ellos fue el nevado Barroso ubicado en la región de Tacna y se tenían además 5 nevados que estaban a punto de desaparecer, ya que poseían superficie con capas de hielo menor a 6 km, estas eran: Volcánica, Chila, La Raya, Huanzo y Chonta (PG+, PG, 2017). Las causas según expertos del Ministerio de Ambiente y la Autoridad Nacional del Agua sería el calentamiento global provocado por la emisión de gases de efecto invernadero cuya consecuencia conlleva a los cambios drásticos del clima que estarían provocando la desaparición de las cordilleras y que amenaza con extinguir a cinco más de las 19 que quedan en los siguientes 15 o 20 años. La Raya (entre Cusco y Puno), Volcánica (entre Arequipa, Tacna y Moquegua), Chila (Arequipa), Huanzo (entre Ayacucho y Apurímac) y Chonta (entre Huancavelica y Lima), son las que lideran la lista de las más vulnerables ante el calentamiento de la Tierra, por lo que su desaparición en un contexto climático altamente variable como el actual se torna inminente (PG+, PG, 2017).

En los últimos años las instituciones científicas del Estado han priorizado su trabajo solo en la búsqueda de efectos directos e indirectos de la desglaciación sobre la población humana y la explicación de cómo las acumulaciones del agua del deshielo al formar lagunas se convierten en diversos riesgos naturales que a futuro pueden provocar daños a la población (PG+, 2017). Durante el Coloquio sobre Riesgos Naturales y Desglaciación 2018 organizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el tema central fue los escenarios pos-desglaciación, temática ampliamente tratada en los últimos años en la investigación sobre glaciares. Uno de los expertos extranjeros sobre riesgos naturales y glaciares, el historiador Mark Carey, de la Universidad de Oregón, solo se enfocó en el inminente retroceso de glaciares en 18 cordilleras que generaría diversos riesgos naturales como avalanchas y deslizamientos y que en estos y próximos años lo más importante será, actuar sobre los efectos de la desglaciación y sus secuelas en los posibles riesgos de movimiento de tierras, ideas compartidos por otros expositores (CONCYTEC, 2018). Mark Carey (2018) afirma también que el proceso y la culminación de glaciares es crítico desde la segunda mitad del siglo XX, están formando

muchas lagunas en las partes altas de las cordilleras glaciares y amenazan a las poblaciones que ocupan las quebradas y los pies de monte hasta la terminación de los cursos de agua en el mar. Benjamín Morales Arnao, director del INAIGEM: frente a la desglaciación y la formación de fuentes de agua propuso desaguar estas lagunas (CONCYTEC, 2018), sin tomar en cuenta la demanda de sostenibilidad hídrica, poniéndose en grave riesgo la seguridad hídrica.

La población que vive muy cerca a estos ecosistemas son las poblaciones indígenas de los andes y los conocimientos locales indígenas difiere de la información sobre medios de vida indígena, que las instituciones públicas valoran insuficientemente (Vargas-Huanca, 2016). En el II Congreso Nacional de Derechos de los Pueblos Indígenas desarrollado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos organizado por el Instituto de Investigación y Revaloración de Culturas Indígenas (IIRCI) y la Organización Nacional de Bases Aymaras Amazónicas y Quechuas del Perú (OBAAQ), se presentó evidencias del impacto de las actividades antrópicas como la minería sobre los nevados y que acelerara su destrucción (IICNDPI, 2016), además, las comunidades indígenas tienen concepciones distintas, identifican como las causas principales de la desglaciación a las actividades locales como la minería formal e informal que genera calentamiento local promovidas por intereses privados a corto plazo (IIRCI, 2018).

Las poblaciones indígenas de los andes vienen sufriendo el efecto de la actividad minera que destruye las reservas de agua dulce y otros medios de supervivencia de la colectividad de la población nacional del futuro (IIRCI, 2016). Según experto de IIRCI y OBAAQ el número de glaciares referidos por las comunidades indígenas en todo el país llegó a ser casi el doble que las anunciadas en el inventario de la ANA, dentro de las que aun consideraban como glaciares se encontraban muchos de los glaciares que han sido calificados como extinguidos por la ANA.

La relevancia del cambio local más allá del cambio global, y la escasa atención de las instituciones públicas para la protección de glaciares; nos permitió plantearnos el proyecto de investigación para realizar el seguimiento de la dinámica de masa glaciar de uno de los nevados excluidos del inventario nacional de glaciares, empleando imágenes satelitales de la constelación Sentinels de Copernicus. El nevado Barroso, ecosistema que se encuentra en una de las regiones del Perú, que tiene un alto nivel de vulnerabilidad al estrés hídrico (IIRCI, 2018), este nevado en el año 2014 fue declarado extinto y excluido del Inventario Nacional de Glaciares debido a la pérdida total de la superficie glaciar. Nuestro objetivo de investigación fue determinar la dinámica de la cobertura glaciar en el sistema glaciar Barroso en los últimos años, calcular la superficie en periodo seco y determinar el porcentaje de la superficie glaciar destinada para la explotación minera, a partir de la intersección de la cartografía del catastro minero sobre las imágenes satelitales que cubren los glaciares y finalmente analizar el impacto en la seguridad hídrica de las regiones del sur peruano.

## **2. Métodos y materiales**

Es una investigación hipotético deductivo. Se plantea el siguiente plan:

- I. Exploración de materiales de cartografía, imágenes satelitales y ortofotos, elección y descarga de 3 imágenes de satélite Sentinel 2A de los meses secos (julio, agosto y septiembre 2017).
- II. Procesamiento geomático y geoestadístico del material obtenido de las bases de datos mencionados:
  - a. Obtención y procesamiento de imágenes de satélite Sentinel 2A, capas que incluyan el sistema glaciar Barroso, a partir de lo referido por las comunidades indígenas de los andes.

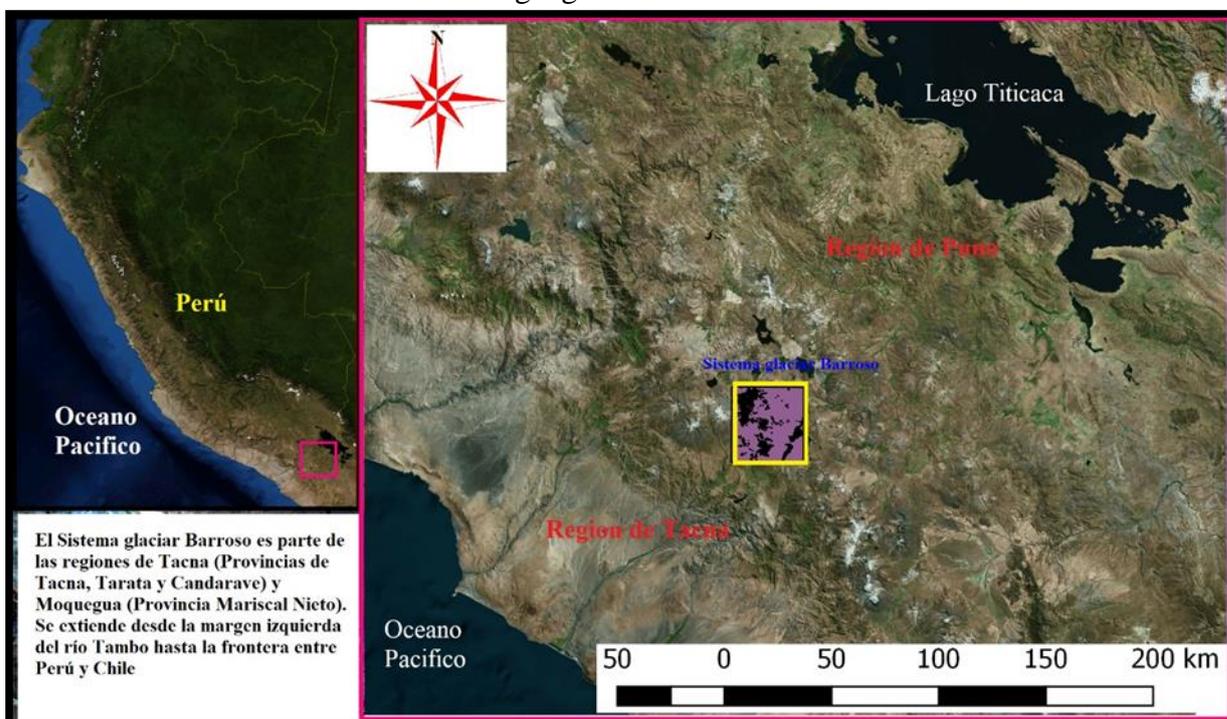
- b. Determinación de la superficie glaciaria del mes más crítico y seco (septiembre 2017), para confirmar la hipótesis indígena de reversibilidad del sistema glaciario descrito.
- III. Cálculo de la superficie glaciaria ganada del 2016 al 2018 durante los periodos secos. Determinación de la proporción de la superficie glaciaria sobre la cual aún se mantienen amenazas para su recuperación (derechos mineros).

Obtención de imágenes de satélite Sentinel 2 A de la zona o área glaciaria del nevado Barroso, el procesamiento geomático aplicando las técnicas de SIG, Teledetección y Fotointerpretación se hizo empleando Quantum GIS y el complemento de Clasificación Semiautomática (SCP), Corrección atmosférica de Substracción de Objeto Oscuro (DOS1) de las 4 imágenes. Clasificación por el método de máxima verosimilitud de la imagen correspondiente al mes más seco (según ANA) del año 2017. Vectorización de los resultados de la clasificación para determinar el área glaciaria resiliente en el mes más seco, magnitud medido en Km<sup>2</sup>. Elaboración de mapa en JPG con ubicación del área de estudio y todos los elementos necesarios que muestre el resultado del análisis para su correcta interpretación.

### 3. Resultados

Constatamos que el nevado Barroso es un sistema glaciario formado por una cadena montañosa de origen volcánico (volcanes del Plioceno y Cuaternario), situada en el suroeste del Perú. Está integrada en la cordillera Occidental de los Andes, extendiéndose a lo largo de 110 km, con una disposición norte-sur, entre los departamentos de Moquegua y Tacna. Forma parte del Arco volcánico del Perú encierra montañas bastante altas, con 5.815 msnm el volcán Tutupaca representa la máxima elevación, seguido de la montaña Barroso, con 5.741 metros (Gráf. N° 1).

**Gráfico N° 1** Ubicación geográfica del Sistema Glaciario Barroso



*La Cordillera del Barroso se encuentra a 49 kilómetros al noreste de la ciudad de Tacna.*

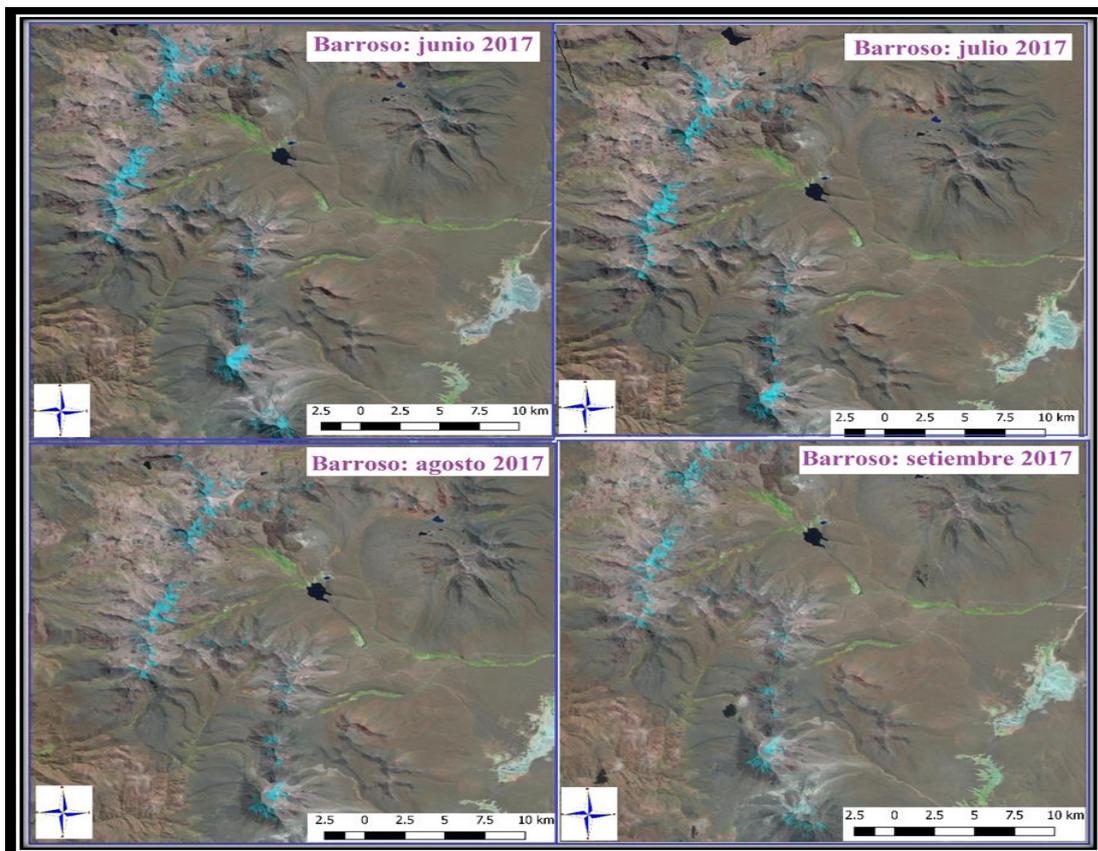
Está comprendido entre los 16° 41' y 17° 37' de latitud sur, y los 69° 45' y 70° 40' de latitud oeste, atravesando los departamentos de Tacna (Provincias de Tacna, Tarata y Candarave) y

Moquegua (Provincia Mariscal Nieto). Se extiende desde la margen izquierda del río Tambo en Perú hasta la frontera con Chile.

El modelado del paisaje actual a lo largo de la cordillera se ha venido dando por efecto de la erosión glacial formando grandes valles en U, circos glaciares, formas aborregadas, colinas de depósitos morrénicos (Arellano & Villalta, 2016). Esta cordillera se distingue por su clima muy seco caracterizado por temperaturas bajas con amplias variaciones entre el día y la noche, no cuenta con estación meteorológica en un radio de 20 km. Tiene un régimen de lluvias casi nulo, se presentan precipitaciones en forma sólida que dan lugar a las acumulaciones de nieve en las cimas de las montañas.

Se obtuvo imágenes satelitales con 13 bandas espectrales con resolución espectral de 10m de los meses junio, julio, agosto y septiembre del año 2017 del Satélite *Sentinel-2A*. La resolución espectral de las 4 imágenes que disponemos es mejor que las imágenes satelitales empleados por la ANA para el inventariado de glaciares publicado en el año 2014, ya que en los años en la que se realizaron este trabajo aún no se había lanzado el Satélite Sentinel 2A. Para una primera vista comparativa presentamos en el (Gráfico N° 2), el corte de la zona glacial de 4 imágenes satelitales de los meses secos (junio, julio, agosto y septiembre) las que muestran claramente la persistencia de la cobertura de masa glacial en dichos meses, lo que indica que la hipótesis indígena de reversibilidad de nevados Barroso entre 2014 a 2017, debe permitir su inclusión en el catálogo de la ANA.

**Gráfico N° 2.** Presentación de imágenes de la zona glacial Barroso del Satelite Sentinel 2A de junio a septiembre meses o secos del año 2017 según ANA.

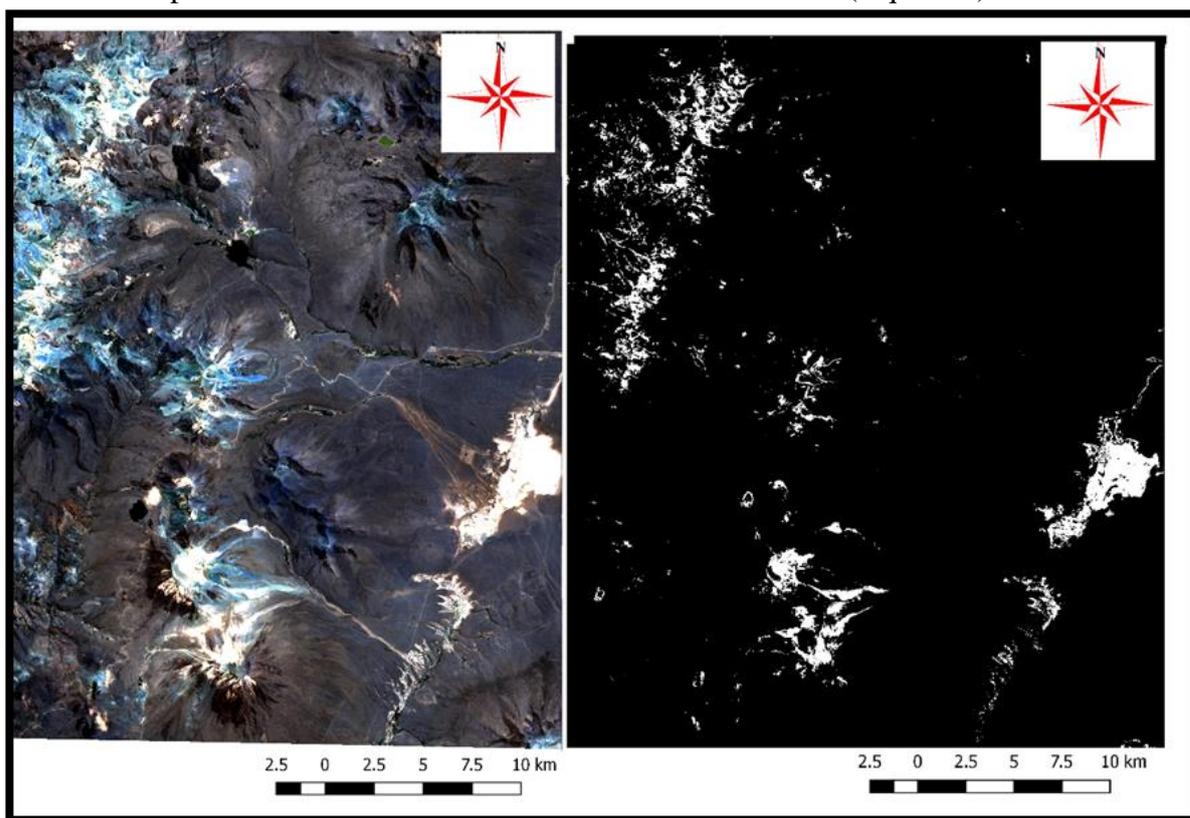


*Descripción: en las imágenes se observa que en los cuatro meses mantiene sostenible la superficie glaciaria (en color celeste), lo cual indica que el nevado Barroso ha recuperado la sostenibilidad de su superficie glaciaria, desde el año 2014 al 2017.*

Para precisar mejor la reversibilidad o la resiliencia del sistema glaciario Barroso se calculó la recuperación de la masa glaciaria con técnicas de sistemas de información geográfica, tomando el mes más crítico de las cuatro capas obtenidas, que es el mes de septiembre del 2017, con empleo de software libre QuantumGIS, la aplicación del complemento Semiautomatic Clasification Plugins, además de, técnicas de teledetección y fotointerpretación.

A partir de la imagen satelital del mes de septiembre en formato raster, recortamos la cuadrícula que contiene la zona glaciaria, para ello creamos antes la capa vectorial de un polígono del área de Barroso, con lo cual creamos otra capa raster de la zona de interés mediante la aplicación de Semiautomatic Clasification Plugins. Luego mediante el método de Clasificación Supervisada mediante el Complemento de Clasificación Semiautomática y la técnica de Máxima verosimilitud, procesando la capa raster Barroso, se obtuvo 426455 píxeles de la superficie glaciaria, considerando la resolución *espectral* de imágenes de Sentinel 2 A, obtenemos un área total de 42.64 km<sup>2</sup> de cobertura glaciaria.

**Gráfico N° 3.** Sistema glaciario Barroso representado en banda 1, 2 y 3 (derecha) y clasificación por método de máxima verosimilitud mediante SCP (izquierda)

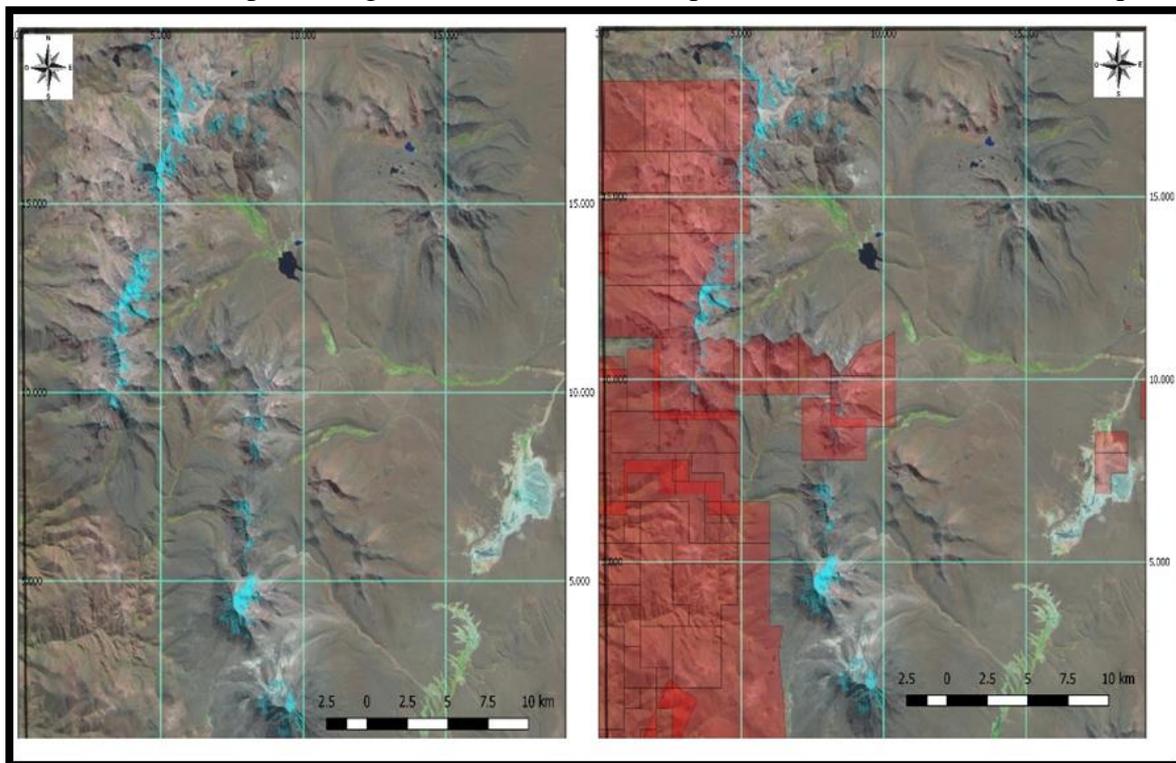


**Fuente:** Procesado de imagen satelital Sentinel 2 A (setiembre 2017)

El Ministerio de Energía y Minas en los últimos años, ha otorgado derechos mineros en las zonas glaciarias, incluyendo el área de cobertura glaciaria. En el nevado Barroso la sobre posición de los derechos mineros en la superficie glaciaria para apoyar nuestro análisis se determinó mediante el estudio espacial de este sistema glaciario, luego de la integración de capas ráster de

superficie glaciar en formato TIFF y la capa vectorial de la cartografía de catastro minero en formato shape, cuyos resultados observamos en la (Grafico N° 4).

**Gráfico N° 4** Superficie glaciar (derecha), sobreposición derechos mineros (izquierda)



*Se presenta dos mapas; la primera muestra la superficie del glaciar Barroso en formato Geo TIFF obtenido de Sentinel 2A MSI, el segundo muestra la cobertura de los derechos mineros sobre el glaciar Barroso otorgados por Ministerio de Energía y Minas a entes privados para su exploración y/o explotación.*

#### **4. Discusión de resultados**

Con seguimiento y monitoreo continuo de imágenes satelitales del nevado Barroso de los satélites de la constelación Sentinels de Copernicus entre 2016 y 2018 y en especial los meses secos, podemos observar la sostenibilidad y persistencia de la cobertura glaciar en el nevado Barroso previamente comunicado por las comunidades indígenas cercanas al ecosistema en mención. Los resultados del seguimiento nos muestran que desde fines del 2016 a 2018 los glaciares del nevado en estudio no solo han mantenido sostenible su superficie glaciar, también han incrementado su cobertura glaciar en 200% en periodos con precipitación sólida y en periodos secos en dos años supera los 40km<sup>2</sup> constatándose in situ, dichos resultados durante el año 2019. La capacidad de resiliencia del sistema glaciar barroso ha permitido la recuperación de la sostenibilidad de la masa glaciar, revertiendo todos los pronósticos en la tendencia de irreversibilidad de la desglaciación encabezado por expertos del IPCC que aducen al calentamiento global como causa principal de la desglaciación, sin embargo, viendo la evidencia de los resultados, además de los indicios e información indígena de los andes, debemos señalar que más que calentamiento global, es el calentamiento local provocado por la minería representa la mayor amenaza a los nevados y la causa principal de la desglaciación de los nevados tropicales. En l expedición realizada en 2019 en el sitio, comprobamos la presencia de la actividad minera en distintas etapas y en todas sus modalidades (informal e formal).

La destrucción de los glaciares por parte de los proyectos mineros privados, pese a los riesgos a la seguridad hídrica, es respaldado por el Ministerio de Energía y Minas. La extensión territorial de los derechos mineros otorgados en las zonas glaciares incluye el área de cobertura glaciar. En la (Gráfico N° 4) observamos la superficie que cubre los derechos mineros sobre el nevado Barroso. De una extensión total de 42.2 km<sup>2</sup> de hielo, el 75% de la superficie glaciar está en proceso de destrucción por la minería, con el aporte del flujo térmico minero, la cual provocará repercusiones catastróficas en las próximas décadas para la región de Tacna, una de las regiones que tiene un pronóstico alto riesgo de estrés hídrico según las Naciones Unidas.

Frente a la hipótesis de calentamiento global como causa de la acelerada desglaciación; el calentamiento local provocado por actividades mineras es la amenaza visible, medible y controlable mucho más drástica que el cambio global. Los resultados presentados indican que existe la probabilidad de evitar la pérdida de la masa glaciar mediante la prohibición de actividades antrópicas locales que generan efecto térmico en tiempo real sobre los glaciares (Gráfico N° 2 y 3).

El calentamiento local provocado por la minería atenta contra la existencia del Estado cuyo fin es la conservación social (Libro Blanco, 2017), en el Perú la institucionalidad hídrica es cómplice de la destrucción glaciar y para evitar la prohibición de actividades con efecto térmico local en los glaciares, se evita en todos los niveles de investigación y generación de conocimiento conducidos por el CONCYTEC, para cualquier caso se emplea a menudo “el calentamiento global”, lo cual solo induce a la resignación social generalizada, que no visibiliza las causas de la radiación térmica local, que representa la mayor amenaza a los glaciares tropicales. El Ministerio de Energía y Minas cooptado por grupos de poder minero, aprovechando la debilidad y carencia de expertos de alto nivel en el Ministerio del Ambiente con propuestas de protección de ecosistemas vulnerables como las reservas estratégicas de agua dulce (glaciares), sigue emprendiendo la entrega de extensos territorios con reservas de agua dulce a empresas mineras privadas en todo el país. Pese a que la intersección de los derechos mineros en el nevado Barroso está por encima del 75% de 42.2 km<sup>2</sup> (Gráfico N° 4) la sostenibilidad de la superficie glaciar compatible con la versión de las comunidades indígenas de los andes quedo claro conforme al (Gráfico N° 2 y 3) que contradice el Inventario Nacional de Glaciares de la ANA.

El Estado como organización social política y jurídicamente organizada está obligado a conservar los nevados, ya que representa la dispensa para la seguridad hídrica, y tiene que eliminar por completo todos los derechos mineros vigentes sobre estos recursos vitales. La minería en el nevado Barroso, puede tener repercusiones catastróficas en las próximas décadas para la seguridad hídrica de la región de Tacna, siendo ya, una de las regiones que tiene un pronóstico de alto riesgo de estrés hídrico en los próximos años. La población tacneña para garantizar la sostenibilidad de su único nevado, y proteger esta reserva de agua dulce, conforma al mandato constitucional debe tomar de manera autónoma la protección de este ecosistema y prescindir de la pobre actuación de las instituciones oficiales que hasta la fecha han divulgado hipótesis en función a interés de grupos económicos con escaso interés por conservar uno de los recursos elementales de la nación.

La existencia de muchas reservas de agua dulce como glaciares, bofedales, humedales, cochas, manantiales, lagos y lagunas han sido infravalorados y en algunos casos incluso han sido negados su existencia por las instituciones del Estado peruano como fue el caso del nevado Barroso excluido del Inventario Nacional de Glaciares.

Se pudo comprobar que existen más glaciares excluidos del Inventario Nacional de Glaciares de la Autoridad Nacional del Agua del Perú, así mismo constatamos que el MINEM sigue promoviendo actividad minera sobre los glaciares. Los resultados, también confirman la criminalización de las comunidades indígenas por denunciar las irresponsabilidades ambientales de las instituciones públicas que compromete la seguridad nacional al afectar la conservación de un recurso vital para las futuras generaciones.

## 5. Agradecimientos

A las autoridades de la Agencia Ejecutiva de Educación Audiovisual y Cultura de la Comisión Europea - EACEA y los líderes de los países de la Unión Europea por el apoyo del proyecto. Así mismo a los investigadores del GEOFOREST de la Universidad de Córdoba en España.

## 6. Referencias bibliográficas

- ANA (2014) Inventario Nacional de Glaciares. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.
- Arellano Montañez, R. H., & Noé Villalta, W. A. (2016). *Evaluación preliminar de datos geológicos y geoquímicos del área geotérmica de Tutupaca, Región de Tacna en el sur de Perú* (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- Bastos, L. C. (1961). *Aspectos geológicos en el Departamento de Tacna*. Université de Paris, Institut des hautes études de l'Amérique latine, Centre d'études scientifiques et techniques pour la connaissance et la mise en valeur de l'Amérique latine.
- Carey, M. (2018) Desastres Naturales y Glaciares. CONCYTEC, Marco Institucional de Acción;
- CONCYTEC (2018) Coloquio sobre Riesgos Naturales 2018, organizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima, Perú.
- Defensoría del Pueblo (2017) Distribución de Conflictos Socioambientales por Sector 2017. Lima, Perú.
- IIRCI (2018) Aphas, Kuno Achachilas y sistemas ancestrales de gestión de nevados. Instituto de Investigación y de revaloración de Culturas Indígenas, Yunguyo. Perú.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014–Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press.
- IPCC (2013) CAMBIO CLIMÁTICO 2013 Bases físicas. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf)
- IPCC (2013) Informe para las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2016, del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Sánchez, E. P. (2011). Glaciares, cambio climático y actividades productivas: el caso de Perú. *FUNDACIÓN HEINRICH BÖLL*, 41.
- Van de Berg, W. J., & Medley, B. (2016). Brief Communication: Upper-air relaxation in RACMO2 significantly improves modelled interannual surface mass balance variability in Antarctica. *The Cryosphere*, 10(1), 459-463.

- Vargas, E. M. P., Villegas, P. T., Steenken, A., Ravello, L. A. A., Castro, A. P. V., Velarde, E. A. C., ... & Marcauzco, J. A. M. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(6), 77-99.
- Zwally, H. J., Li, J., Robbins, J. W., Saba, J. L., Yi, D., & Brenner, A. C. (2015). Mass gains of the Antarctic ice sheet exceed losses. *Journal of Glaciology*, 61(230), 1019-1036.
- Zwally, H. J., Robbins, J. W., & Luthcke, S. B. (2017, December). Mass Balance of East Antarctic Ice Sheet: Reconciling ICESat Altimetry with GRACE Gravimetry and Long-term Ice History. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- INGEMMET (2018), Mapa en web (WMS) del catastro minero segun estandares (Open Geoespatial Consortium Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. <https://www.ingemmet.gob.pe/catastro-minero-google-earth>.
- USGS (2019) Datos de teledetección, imágenes satelitales (GloVis). <https://glovis.usgs.gov/>
- MINDEF (2017) Libro blanco Perú [https://www.mindef.gob.pe/libro\\_blanco\\_mindef.php](https://www.mindef.gob.pe/libro_blanco_mindef.php)