

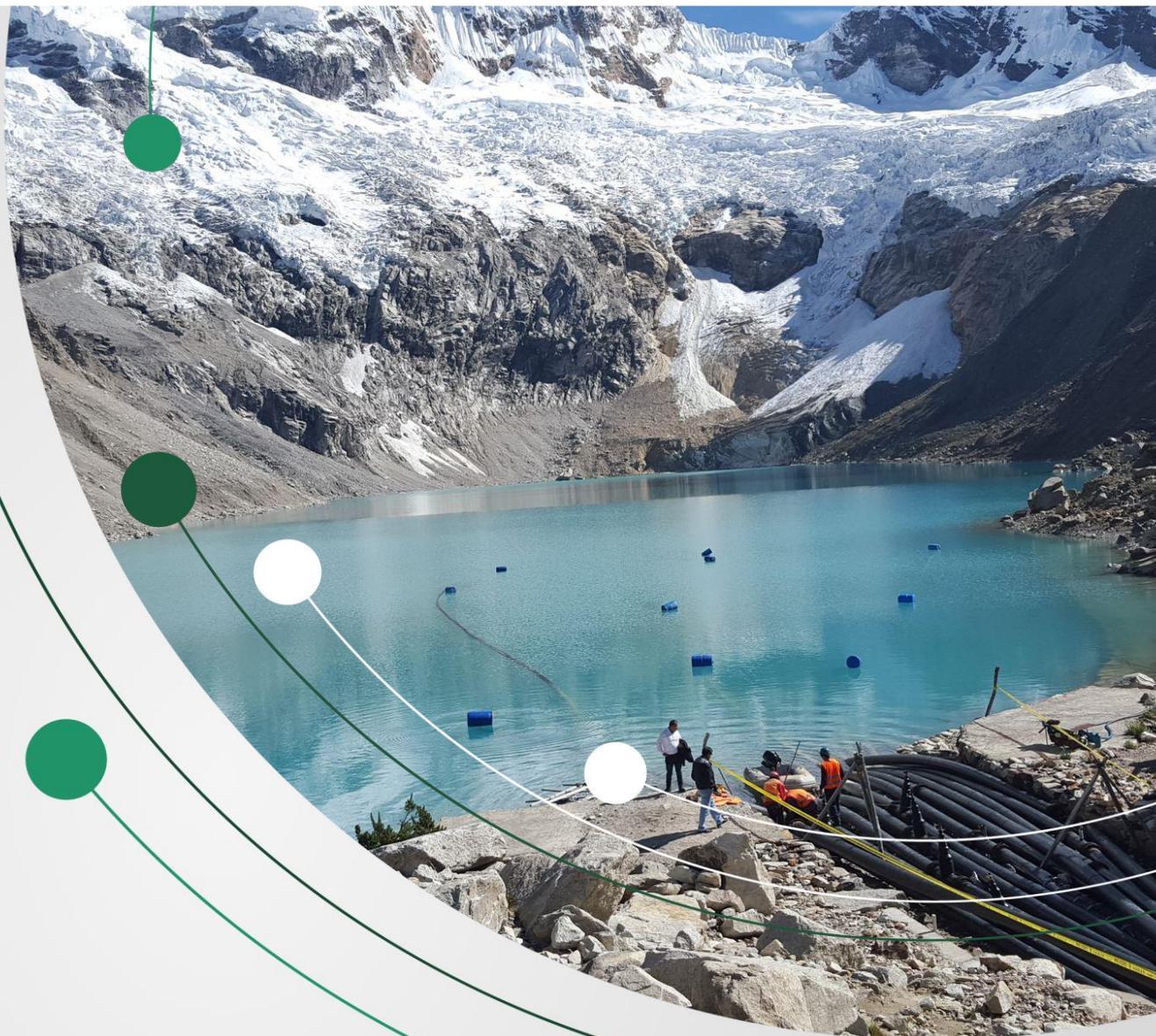


PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ
2024



¿NUESTRAS LAGUNAS EN PELIGRO?, CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO EN LA VARIABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

Quinta Edición Diálogos Académicos: Aportes de la Ciencia a Nuestro Desafío Climático

Julio 2023 - Lima, Perú



GRUPO IMPULSOR DE
ACCIÓN CLIMÁTICA
DE LA ACADEMIA

¿NUESTRAS LAGUNAS EN PELIGRO?, CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO EN LA VARIABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

Gladis Celmi¹ , Yadira Curo Rosales¹ , Mayra Mejía Camones¹ , Juan de Dios Fernandez Vega² , Danny Robles Sánchez¹ 

¹ Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montaña-INAIGEM

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

En el Perú podemos encontrar grandes ciudades, tanto andinas y costeras, cuyo suministro de agua depende mayoritariamente de los ríos provenientes de los andes, tal es el caso de Lima Metropolitana y Arequipa, que en conjunto albergan a más de 12 millones de habitantes que dependen del aporte hídrico procedente de los glaciares y lagunas de origen glaciar (CONDESAN, 2022). Sin embargo, estos recursos se ven seriamente afectados por el cambio climático, el acelerado retroceso glaciar y la mayor intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos (lluvias intensas y sequías), que alteran el régimen hidrológico de las lagunas de origen glaciar y otros ecosistemas de montaña. En consecuencia, el suministro de agua en las principales ciudades se ve seriamente afectado.

Se estima que en 54 años el Perú ha perdido el 54% de su superficie glaciar. Este retroceso, naturalmente, involucra la pérdida del volumen de masa glaciar, influyendo en el régimen de escorrentía de los principales sistemas fluviales (Frey et al, 2014). Por otro lado, Mark & Seltzer (2003) y Vignon (2002) destacan que: “a mayor retracción glaciar aumentaría la variabilidad, en las descargas de los arroyos”. Una mayor variabilidad hidrológica de la cuenca también influye en una alta variabilidad de la superficie de lagunas de origen glaciar, originando consecuencias en la disponibilidad del recurso hídrico proveniente de estos sistemas.

El problema se acrecienta en zonas donde el retroceso glaciar es significativo (cordilleras del sur) (INAIGEM, 2018) y el riesgo de agua¹ es alto, como es el caso de la ciudad de Arequipa², donde el cambio climático y el incremento de la variabilidad climática, modifican la estacionalidad de las lagunas de origen glaciar y por consiguiente la variación de los volúmenes de agua (incremento del volumen en época de lluvias y disminución considerable en épocas de estiaje), llegando al punto de convertirse en lagunas temporales³, afectando así

¹ Riesgo de agua se calcula en base a los factores de: Estrés hídrico, variabilidad anual / estacional, disminución del nivel freático, riesgo de inundaciones, riesgo de sequías, calidad de agua, potencial de proliferación de alga, consumo de agua no tratada, falta de servicios sanitarios y problemas de gobernanza.

² Según la EPS SEDAPAR SA., la ciudad de Arequipa se abastece de las cuencas Camaná y Quilca-Vitor-Chili.

³ Son consideradas lagunas temporales, aquellas lagunas que cambian su área drásticamente por debajo del 5000 m² y/o se secan en un periodo o época del año a causa de eventos climáticos.

la cantidad de agua disponible durante el año para los diferentes usos, en particular en épocas de estiaje, limitando la capacidad de gestionar eficientemente el recurso hídrico.

2. HALLAZGOS

Las investigaciones sobre las consecuencias de los eventos el Niño (EFEN) nos muestran que no se presentan de manera uniforme en todas las regiones de los andes tropicales (Rabatel et al, 2013). En el caso del Perú, se presentan precipitaciones fuertes en la costa norte y déficit de precipitaciones en los Andes del Sur. En el sur donde el evento Niño global del año 1982/1983 ocasionó un déficit severo de precipitación y el evento Niño global 1997/1998 provocó un déficit de precipitación (SENAMHI, 2014), afectó la acumulación de agua de las lagunas y embalses, además de la colmatación de los embalses, limitando el abastecimiento para los diferentes usos, principalmente del uso poblacional. Asimismo, en los últimos años hemos tenido la presencia de eventos como el “Niño costero” que tiene características propias en cada zona.

Siendo importante conocer cómo dichos eventos afectan a las lagunas de origen glaciar ubicadas en la cordillera Ampato - Departamento de Arequipa, cuyas lagunas aportan a las cuencas de Camaná y Quilca - Vitor – Chili. Se han considerado los datos reportados del mapeo de las lagunas de origen glaciar en el último inventario realizado en base a imágenes del año 2020, donde se identificó en total, 525 cuerpos de agua en la cordillera Ampato (sin ninguna restricción de tamaños).

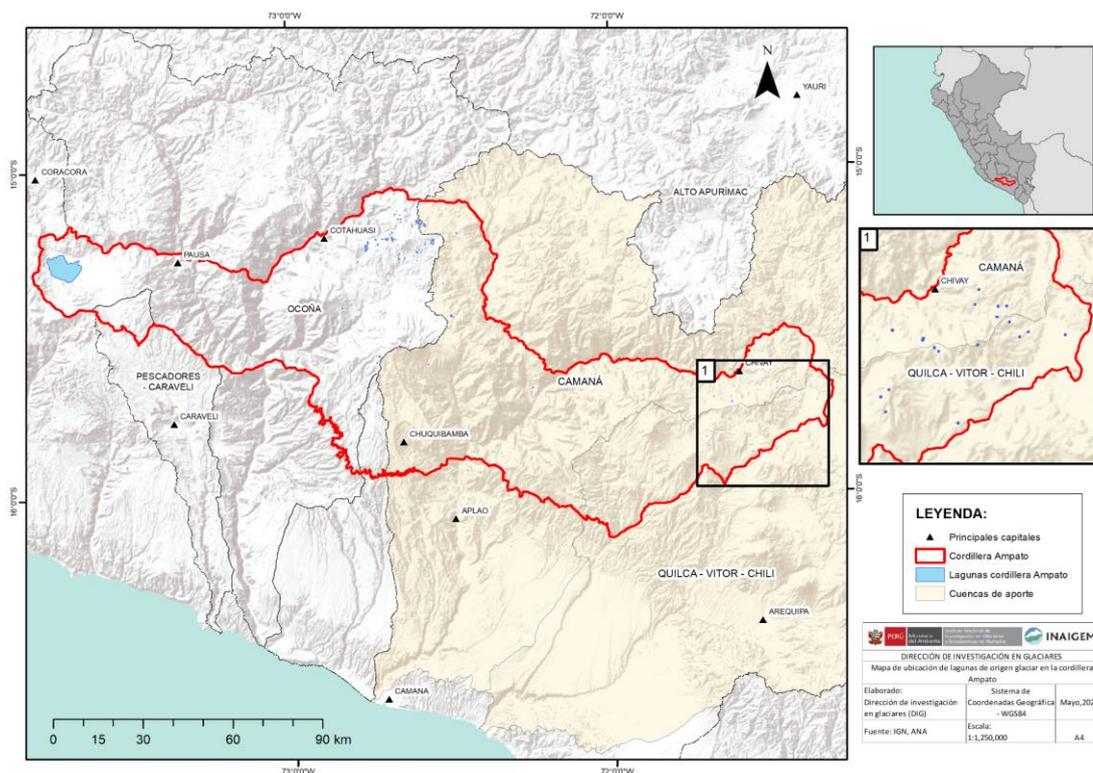


Figura 1: Lagunas de origen glaciar mapeadas en la cordillera Ampato- Arequipa al 2020

La cantidad de lagunas identificadas varían de acuerdo a los inventarios anteriores del INAIGEM y la ANA, por esa razón, se ha desarrollado el análisis de persistencia de lagunas; buscando comprender la dinámica de las lagunas, mediante la implementación de una metodología que consistió en la generación de una herramienta en *Google Earth Engine (GEE)* que pueda estimar el porcentaje de persistencia de lagunas en función a la variabilidad de su área. Este porcentaje es resultado de la cantidad de veces que aparece una laguna entre el total de imágenes disponibles en un periodo de 21 años. El periodo de análisis fue del año 2000 al 2020 y se emplearon 252 imágenes Landsat, aplicadas en todo el ámbito de la cordillera Ampato, ámbito que fue empleado como piloto para su posterior replicación en las otras cordilleras glaciares. Es así que, en el año 2020 se han identificado lagunas denominadas permanentes, estacionales y temporales.

Los resultados obtenidos en el análisis de persistencia para la cordillera Ampato se pueden interpretar de la siguiente manera: si el porcentaje es mayor al 60%, indican que es una laguna permanente, es decir, que su área no varía drásticamente en el periodo de estudio. Si la persistencia se encuentra entre 60% y el 15% se considera que las lagunas son estacionales, lo que implica que su área varía según el régimen de las precipitaciones. Por último, si los valores son inferiores al 15%, estas se denominan lagunas temporales. Los resultados para la cordillera Ampato muestran que el 47.5 % corresponden a lagunas consideradas como permanentes, el 49.2 % a lagunas estacionales y el 3.3 % a lagunas temporales⁴.

Según Martínez & Takahashi (2017), existen dos tipos de eventos Niño (global y costero) que afectan de manera diferente incluso en una misma zona, se presenta en la figura 2 la historia de la variación superficial de una laguna⁵ de la cordillera Ampato. En esta figura se evidencia que el fenómeno del Niño global (moderado) produjo la reducción significativa del área de la laguna durante los meses secos. Mientras que, en el niño costero, la reducción del área no fue considerable durante todo el año, a causa de las precipitaciones que se dieron en esa zona. Asimismo, las herramientas nos permiten identificar los meses húmedos (enero a julio) donde las lagunas cuentan con volumen suficiente de recurso hídrico para su aprovechamiento y a su vez nos muestra el periodo seco (agosto a noviembre) donde a causa de la reducción significativa del volumen, habría limitaciones para cubrir la demanda de agua de los diferentes usos. Esta herramienta también nos ayuda a identificar meses y años anómalos (con exceso o escasez de precipitaciones según el periodo) con el comportamiento de la superficie de una laguna.

⁴ Los porcentajes corresponden al total de cuerpos de agua registrados (mayores y menores a 5000 m²).

⁵ Laguna Incamisa (E:771117, N:8317665, zona 18s WGS84).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total general	Anomalia de aparición mensual	
2000	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11	3	
2001	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	8	0	
2002	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	10	2	
2003	1	1	1	1	1		1	0	0	0	0	1	7	-1	
2004	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	6	-2	
2005	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	6	-2	
2006	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0		6	-2	
2007		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	6	-2	Niño Moderado
2008	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	8	0	
2009		1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	8	0	
2010	1	1	1	1	0	1	1	0	0		0	1	7	-1	Niño Moderado
2011	1	1			1	1	1	1	0	0	0	1	7	-1	
2012	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11	3	
2013	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	9	1	
2014	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	8	0	
2015	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	10	2	
2016	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	10	2	
2017	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	4	Niño Costero
2018	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	11	3	
2019	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	9	1	
2020	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	7	-1	
Total general	19	18	15	18	19	19	20	11	16	7	8	17	177		
	p	p	p	p	p	p	p	n	n	n	n	p	8		

Figura 2. Análisis de la persistencia con el evento Niño costero versus Niño Moderado Global⁶. Donde los “0” indican que hay variación drástica del área de lagunas y el “1” que hay variación mínima del área de lagunas, la línea roja vertical muestra los meses secos, y la horizontal los eventos niños durante el periodo de análisis.

Finalmente, se puede mencionar que la herramienta de análisis de persistencia nos permite: 1) disminuir la subjetividad del profesional que define una laguna en permanente, estacional o temporal, y 2) comprender cómo varía multitemporalmente la superficie de agua en las lagunas.

La herramienta puede seguir mejorando, con la implementación del análisis a las lagunas de las otras cordilleras que presentan condiciones geográficas y climáticas diferentes, e incluir datos de campo que nos permitan la validación, además el uso de otros repositorios de imágenes satelitales con mejor resolución y la selección de imágenes de buena calidad (sin nubosidad y sin huecos); insumos importantes junto con la cobertura de lagunas. También podría ser necesario ajustar el porcentaje que representa cada tipo de laguna (permanente, temporal y estacional) por las diferentes condiciones que presentan las cordilleras, y complementar el análisis para lagunas desaparecidas, ya que no se han podido definir como tal, debido a la incertidumbre que presenta su identificación y la limitada disponibilidad de imágenes en algunas zonas.

⁶ p: meses con presencia de lagunas y n: meses sin presencia de lagunas.

3. OPCIONES DE ACCIÓN

La variabilidad de lagunas de origen glaciar frente al cambio climático plantea nuevos retos para los planificadores y tomadores de decisiones en los tres niveles de gobierno (nacional, regional y local). En el nivel sectorial y multisectorial, la herramienta contribuye en acotar los problemas públicos relacionados con el recurso hídrico, de tal manera que debe ser considerada para el seguimiento y evaluación de las políticas nacionales. A nivel local y regional la aplicación de la herramienta de persistencia permite realizar una evaluación de la multitemporalidad y disponibilidad en los recursos hídricos, que almacenan las lagunas glaciares. En ese sentido un diagnóstico detallado de la realidad permite focalizar las intervenciones y servicios públicos que ofrece un gobierno local o regional en marco de los Planes de Desarrollo Concertado (PDC) y Planes urbanos⁷. Aportando de esta manera a las medidas de adaptación AGU 29 propuesto por MINAM en 2021.

Es importante que los planificadores del recurso hídrico puedan hacer uso de la información generada por institutos de investigación y universidades, tales como los inventarios nacionales, en este caso el de glaciares y lagunas de origen glaciar y publicaciones relacionadas que genera el INAIGEM, ya que brindan información especializada y detallada sobre los niveles del retroceso glaciar y la formación de nuevas lagunas que podrían representar por un lado una mayor oferta de agua y por otro representar peligro para la población. Asimismo, teniendo en cuenta los impactos diferenciados que pueden ocasionar dos eventos aparentemente similares (Niño costero vs Niño global) en las lagunas de origen glaciar se pueden plantear alternativas de aprovechamiento del recurso o medidas de mitigación ante la escasez, dependiendo del caso. Implementando de manera concreta estas consideraciones en el desarrollo de los planes de gestión del recurso hídrico y gestión de riesgos, por parte del MIDAGRI y CENEPRED respectivamente, con lo cual se aporta al AGU 30.

Es importante resaltar que el Perú cuenta con glaciares y lagunas de origen glaciar que son consideradas como recursos claves que requieren intervenciones mediante estrategias de conservación y protección, ya que muchos están siendo sometidos a presión por actividades económicas como la minería, ganadería, turismo, etc. Esto se puede lograr estableciendo zonas de protección, parques nacionales, etc. con apoyo del SERNANP. En ese sentido, iniciativas como el Geoparque del Glaciar Quelccaya en Cusco deben ser replicadas y apoyadas por la región Arequipa, preservando así los glaciares de la cordillera Ampato que abastecen de agua las lagunas y cuencas de las cuencas Camaná y Quilca - Vitor - Chili, con ello fomentamos la implementación del AGU 24.

Implementar y adecuar las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático a nivel nacional, regional y local que contribuyan en aminorar los impactos frente a la escasez del recurso hídrico. Para ello se pueden desarrollar medidas de adaptación tales como: (a) la

⁷ PDU para gobiernos distritales y PAT para gobiernos provinciales.

siembra y cosecha de agua en las cuencas como la del Camaná y Quilca-Chili-Vitor (AGU 02), (b) fortalecimiento de la institucionalidad de los sectores hidráulicos para la gestión del agua de uso agrario, considerando herramientas tecnológicas que permitan una toma informada de decisiones mediante la estimación de la variabilidad multitemporal de las lagunas glaciares (AGU 06) e Implementando programas de alerta temprana de escasez hídrica en zonas donde se evidencia una persistencia baja de lagunas de origen glaciar (AGU 25), así como adecuando las medidas de mitigación de tal manera que se promueva la protección de los bosques de queñuales y ecosistemas asociados, que se encuentran relacionados con la medida de mitigación USCUS 7, propuesto por el MINAM, 2019.

Finalmente, para la academia en general se presenta un nuevo reto evaluando nuevos algoritmos, distribución de porcentajes para estimar la temporalidad y el uso de otros índices como el MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) o el MSI (Moisture Stress Index) que pueden ser más sensibles a diferentes tipos de cuerpos de agua como aquellos que presentan alta turbidez o vegetación acuática densa, que pueden proporcionar una perspectiva más completa sobre la variabilidad de agua en la laguna, con lo cual fortaleceremos el AGU 30.

4. LITERATURA CITADA

- Ministerio de Agricultura - Autoridad Nacional del Agua, 2014, Inventario de glaciares y lagunas glaciares del Perú, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2021). Catálogo de 91 medidas de adaptación. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/462585-catalogo-de-91-medidas-de-adaptacion>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Catálogo de Medidas de Mitigación. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/catalogo-medidas-mitigacion>
- Guardamino, Lucía; Drenkhan, Fabian (2016). Evolución y potencial amenaza de lagunas glaciares en La Cordillera de Vilcabamba (Cusco y Apurímac, Perú) entre 1991-2014. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montana*, 1(1):21-36.
- Doña C, Morant D, Picazo A, Rochera C, Sánchez J y Camacho A, 2021, Estimation of Water Coverage in Permanent and Temporary Shallow Lakes and Wetlands by Combining Remote Sensing Techniques and Genetic Programming: Application to the Mediterranean Basin of the Iberian Peninsula, *Remote Sens.* 13(4), 652; <https://doi.org/10.3390/rs13040652>.
- INAIGEM, 2018, Inventario Nacional de Glaciares. Las cordilleras del Perú - Primera parte, Perú.
- Vignon, F. (2002). Glaciares y recursos hídricos en el valle alto del río Santa. *DED Report, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France*.
- Mark, B. G., & Seltzer, G. O. (2003). Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Perú. *Journal of glaciology*, 49(165), 271-281.
- Frey, H., Machguth, H., Huss, M., Huggel, C., Bajracharya, S., Bolch, T., ... & Stoffel, M. (2014). Estimating the volume of glaciers in the Himalayan–Karakoram region using different methods. *The Cryosphere*, 8(6), 2313-2333.
- SENAMHI, 2014, Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - PLANAGERD 2014 - 2021 (Objetivo Nacional y Objetivo Estratégico 1)., disponible en [El fenómeno EL NIÑO en el Perú](#).

- CONDESAN. (2022, agosto 23). *Gente de Los Andes*. <https://condesan.org/recursos/gente-de-los-andes-infografia/>.
- Martínez, F., & Takahashi, K. (2017). Dos tipos de eventos Niño y su influencia en diferentes zonas costeras. [Revista de Investigaciones Marinas, 35(2), 127-134].
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J. E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., ... Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1), 81–102. <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>
- Kaser, G., Juen, I., Georges, C., Gómez, J., & Tamayo, W. (2003). The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Perú. *Journal of Hydrology*, 282(1-4), 130-144.
- Pozo, J., Celmi, G., Fernandez, J., Curo, Y., Mejía, M., Robles, D., & Castañeda, A. (2023). *Estimation of persistence on glacial lakes in tropical Andes mountain-range with 2000-2020 period LANDSAT series images* (No. EGU23-16157). Copernicus Meetings.