



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 12 n.º 04 abril 2025

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

"Reducción de la vulnerabilidad y
atención de emergencias por desastres"

En este boletín

- Dinámica temporal del retroceso glaciar y su relación con el clima local en la Cordillera Apolobamba, Perú | **Pág. 4**
- Incertidumbre en acciones para mitigar los impactos de las sequías asociadas al cambio climático en la región Puno | **Pág. 11**
- Resumen del informe técnico de El Niño | **Pág. 18**
- Resumen de comunicado ENFEN | **Pág. 19**



Créditos

Juan Castro Vargas
Ministro del Ambiente

Hernando Tavera
Jefe institucional

James Apaéstegui Campos
Director de Ciencias de la Atmósfera, Hidrósfera y Cambio Climático

Lina Godoy Encarnación
Coordinadora de la Unidad Funcional de Comunicaciones

Ricardo Zubieta Barragan
Ken Takahashi Guevara
Editores

Erick Manuel Dávalos Cucchi
Diseño y diagramación

Fotografía de glaciar de la cordillera Apolobamba y zona alta del centro poblado La Rinconada (2019).
Fuente: Wilber Laqui

El boletín científico "El Niño" es generado en el marco del Programa Presupuestal n.º 068 "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres
Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño
Instituto Geofísico del Perú

** Los textos referidos a la contribución de cada investigación son aportes del equipo editorial del presente boletín*

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012

Teléfono: +51-1-3172300

Lima, agosto de 2025

Puedes acceder a la colección completa de los boletines científicos El Niño escaneando el siguiente código QR.



Introducción

Los eventos El Niño y La Niña corresponden, a grandes rasgos, a situaciones en las que la temperatura de la superficie del mar está por encima o por debajo del promedio en el océano Pacífico ecuatorial. Estas fluctuaciones están fuertemente influenciadas por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es uno de los modos de variabilidad climática más importantes en el océano Pacífico que ejerce una gran influencia sobre el clima a nivel global y regional. La fase cálida de ENOS se puede denominar El Niño “global”.

En el Perú, los impactos de El Niño y La Niña son particularmente complejos debido a que recibimos influencias tanto costeras, asociadas a las fluctuaciones en el mar peruano en el Pacífico oriental, así como influencias remotas a través de teleconexiones atmosféricas desde el Pacífico central. En particular, El Niño en el Pacífico oriental o Costero puede producir lluvias y altas temperaturas en la costa y alterar el ecosistema marino-costero, mientras que El Niño en el Pacífico central o global puede reducir las precipitaciones e incrementar la temperatura en los Andes y en la Amazonía. Por el contrario, La Niña tendría efectos aproximadamente opuestos. Así, El Niño en el Pacífico oriental es el que causa mayores impactos para el Perú, ya que tiene el potencial de provocar grandes daños a infraestructuras, actividades económicas y, más importante, la seguridad y bienestar de las personas, además de sus medios de vida.

El Perú, como parte de la estrategia de gestión pública para enfrentar los peligros naturales, especialmente respecto a El Niño, establece el Programa Presupuestal por Resultados (PPR) 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir de 2014, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), al igual que otras instituciones que conforman la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), participa en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”. Este consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceánico-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permita la toma de decisiones de las autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El

Niño”, la cual incluye la síntesis y evaluación de los modelos de pronóstico de El Niño generados internacionalmente, como es el caso de los modelos climáticos globales, así como de aquellos obtenidos a partir de modelos propios como el de predicción de ondas oceánicas ecuatoriales, el modelo de inteligencia artificial y el recientemente desarrollado modelo de Sistema Tierra regional de pronóstico para el territorio peruano y el océano Pacífico (IGP RESM-COW v1). Asimismo, incluye el desarrollo de investigaciones y estudios científicos que permiten entender la variabilidad climática y los procesos asociados al cambio climático, a fin de fortalecer, en forma continua, las capacidades para el pronóstico de El Niño.

En esta línea, el IGP ha estructurado y desarrollado el Boletín Científico El Niño, un producto que contiene, en gran medida, los aportes científicos en el estudio y vigilancia del ENOS, con énfasis en El Niño. El Boletín, que se publica mensualmente desde 2014, cuenta con aportes nacionales e internacionales en diversos temas asociados a El Niño, sus impactos, procesos vinculados, temas asociados y otros igual de relevantes, que se presentan en las secciones de “Divulgación Científica” y “Avances Científicos”. De igual forma, se comparte en el Boletín una versión resumida del informe técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068 (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5356>). Dicho informe contiene información actualizada operativamente que el IGP proporciona como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será entregada a los usuarios. Finalmente, el Boletín presenta los comunicados ENFEN publicados durante el periodo correspondiente.

El IGP busca consolidar al Boletín Científico El Niño como una publicación técnica-científica de referencia, tanto para la comunidad científica y académica, así como para instituciones y autoridades vinculadas a la gestión del riesgo de desastres ávidas de conocimientos e información actualizada sobre El Niño, sus impactos y procesos asociados. Puede consultar la colección completa de Boletines Científicos El Niño en este enlace: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4974>

DINÁMICA TEMPORAL DEL RETROCESO GLACIAR Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA LOCAL EN LA CORDILLERA APOLOBAMBA, PERÚ

Wilber Laqui¹, Ricardo Zubieta²,
Yony Laqui-Vilca¹, Elmer Calizaya³,
César Laqui-Vilca⁴

¹ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Puno, Perú.

² Instituto Geofísico del Perú (IGP), Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera (SCAH), Lima, Perú.

³ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, Puno, Perú.

⁴ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Puno, Perú.



Es Ingeniero Agrícola, Magister Scientiae y Doctoris Philosophiae en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Desde 2019, se desempeña como docente asociado en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano (UNAP). Ha publicado diversos artículos científicos relacionados a los recursos hídricos en el Altiplano.

Palabras clave: Puno, Cambio climático, Retroceso glaciar, Apolobamba, Perú

Citar como: Laqui, W., Zubieta, R., Laqui-Vilca, Y., Calizaya, E., Laqui-Vilca, C. (2025) Dinámica temporal del retroceso glaciar y su relación con el clima local en la Cordillera Apolobamba, Perú. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, vol. 12 n.o 04, págs. 4-11

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?*

Este estudio dispone de información acerca la dinámica del retroceso glaciar en la Cordillera Apolobamba ubicada en Puno. El estudio evidencia que el retroceso glaciar estaría principalmente impulsado por el calentamiento global. Ante posibles cambios futuros en el régimen de precipitación y la cobertura glaciar en contexto de periodos de sequía prolongada, se resalta la importancia de implementar medidas en la planificación regional, este es el caso de incrementar la disponibilidad hídrica estacional para la sostenibilidad de las actividades agrícolas y ganaderas.

Resumen

Los glaciares cumplen un papel fundamental como fuentes de agua para la población en zona alto-andinas, y el monitoreo de su dinámica resulta esencial para comprender los efectos del cambio climático. Este artículo es una adaptación del paper "Temporal dynamics of glacier retreat and its

relationship with local climate in Cordillera Apolobamba, Peru" (Laqui et al., 2023), el cual presenta una evaluación integral de la dinámica temporal del retroceso glaciar y su relación con el clima local en la Cordillera Apolobamba (CA), ubicada en Perú, entre 1986-2015. A partir de imágenes satelitales Landsat y el uso del Índice de Diferencia Normalizada de Nieve (NDSI, por sus

siglas en inglés), se cuantificaron los cambios en la cobertura glaciar en intervalos de cinco años, y se analizó su relación con variables climáticas. Los resultados evidencian una tendencia notable y alarmante en la evolución temporal de las áreas glaciares en la CA. Para 2015, el retroceso glaciar alcanzó una pérdida acumulada de 51.84% con respecto a la superficie glaciar estimada en 1986, con una tasa media de pérdida anual de 0,79 km² por año. Asimismo, se identificaron relaciones directas e inversas entre la precipitación, la temperatura y la tasa de retroceso glaciar. Nuestros resultados sugieren que la temperatura es el factor predominante en la reducción del área glaciar, mientras que la tasa de retroceso está condicionada por la precipitación. Estos hallazgos ofrecen evidencia clave para los responsables de la formulación de políticas, actores involucrados y la comunidad científica. Dada las posibles implicaciones futuras a la población ante la disminución del recurso hídrico.

1. Introducción

Los glaciares almacenan aproximadamente el 70 % del agua dulce del planeta, estimadas en unos 24 millones de km³ (Liu et al., 2013), y constituyen una fuente hídrica fundamental para cerca del 20 % de la población mundial (Rittger et al., 2013). Su retroceso continuo está generando impactos significativos en la disponibilidad de agua dulce, afectando ecosistemas, poblaciones humanas, agricultura e industria, especialmente en regiones dependientes del deshielo glaciar (Kaser et al., 2003; Liu et al., 2013; Rittger et al., 2013; Satir, 2016; Vuille, Francou, et al., 2008). Además, la disminución de la escorrentía proveniente del glaciar puede provocar pérdidas económicas y procesos de migración de la población (Petraikov et al., 2016; Takeuchi et al., 2014).

En los Andes tropicales, el retroceso de los glaciares constituye un claro indicador del cambio climático (Turpo et al., 2022). Esta región alberga el 99 % de los glaciares tropicales del mundo, particularmente en su zona central (Liu et al., 2013), mientras que el 71 % se encuentra en Perú (López-Moreno et al., 2014), donde estos glaciares cumplen un rol clave en la provisión de recursos hídrico durante la estación seca (Vuille, Kaser, et al., 2008). Desde la década de 1970, el retroceso de los glaciares andinos se ha acelerado, impulsado por el aumento de la temperatura del aire (Mark & Seltzer, 2005; Petraikov et al., 2016; Schauwecker et al., 2014; Vuille, Francou, et al.,

2008; Wang et al., 2015). Entre 1970 y 1997, Perú perdió más del 20 % de su superficie glaciar (Fraser, 2012).

Dado que los glaciares son indicadores altamente sensibles del cambio climático (Burns & Nolin, 2014; Carey et al., 2014; Emmer et al., 2015; Liu et al., 2013), su monitoreo es esencial. La teledetección se ha consolidado como una herramienta eficaz para estimar la extensión y evolución de los glaciares (Durán-Alarcón et al., 2015), permitiendo análisis regionales integrales de la dinámica glaciar y del balance de masa (Bamber & Rivera, 2007). Diversos estudios han empleado la teledetección para analizar la pérdida de cobertura glaciar (Burns & Nolin, 2014; Dobrevá & Klein, 2011; Gupta et al., 2005; Immerzeel et al., 2009; Nijhawan et al., 2016; y Silverio & Jaquet, 2005).

En Perú, diversos estudios han documentado la pérdida de la cobertura glaciar en distintas cordilleras, como la Blanca, para la cual Silverio & Jaquet (2005) determinaron que la Cordillera Blanca perdió 43 km² entre 1987 y 1996 (6.7 %) y 121 km² entre 1970 y 1996 (15%). En otro estudio, realizado por Zubieta and Lagos (2010) determinaron que entre 1976 y 2006, la Cordillera Huaytapallana perdió el 59.4 % de su superficie glaciar. En otro trabajo de investigación sobre el el glaciar Quisoquipina, los autores determinaron que se redujo el área glaciar en 10.9% entre 1990 y 2010 (Suarez et al., 2015).

La Cordillera Apolobamba (CA) entre 1986 y 2014 ha perdido 43.1% de su cobertura glaciar (Cook et al., 2016). El acelerado retroceso de los glaciares tropicales y los cambios proyectados en la hidrología regional requieren mayor investigación para comprender su interacción con el clima y la hidrología. Este estudio tiene como objetivo cuantificar la superficie glaciar en la Cordillera Apolobamba para el periodo 1986 y 2015, analizar su dinámica de su retroceso y evaluar su relación con la temperatura y la precipitación, principales impulsores climáticos para el retroceso glaciar.

2. Datos y metodología

2.1 Área de estudio

La Cordillera Apolobamba (CA) se ubica en el sureste de los Andes peruanos, dentro del departamento de Puno, entre las coordenadas 14°25'–14°44' S y 69°13'–69°32' O (Fig. 1). Su pico más alto es el monte Ananea, con una altitud de 5 800 m s. n. m. La región norte de la cordillera alimenta los ríos Huari Huari e Inambari, que son afluentes de la Región Hidrográfica del Atlántico, mientras que la vertiente sur drena hacia los ríos Carabaya y Trapiche, dentro de la Región Hidrográfica del Titicaca.

Según la Autoridad Nacional del Agua (2014), en esta cordillera se identificaron 69 glaciares en la región, cubriendo 45.25 km² en 2014, lo que representa una reducción del 45.43% desde 1970. La mayoría de los glaciares están orientados hacia el sur-sureste (42.65 %). El clima de la zona se caracteriza por una marcada temporada de lluvias entre octubre-abril, y un periodo seco o de mínimas precipitaciones entre mayo y septiembre. La precipitación media anual es de 606 mm, de los cuales solo el 8.5 % ocurre en la estación seca, mientras que la temperatura media anual es de 5.8°C.

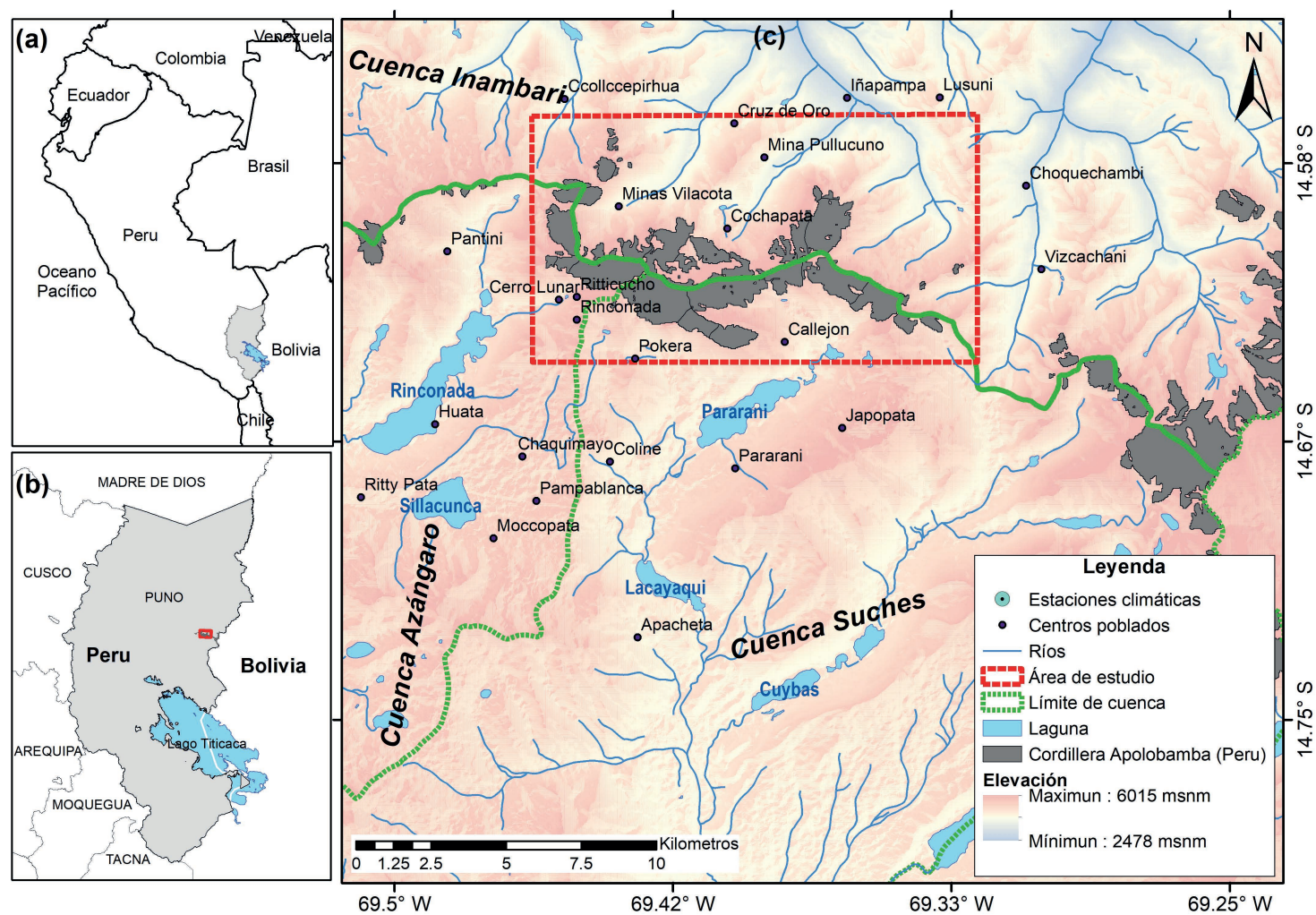


Figura 1. a) Ubicación de la región Puno en América del Sur, b) Ubicación de la Cordillera Apolobamba en la región Puno, y c) Área de estudio en la Cordillera Apolobamba.

2.2 Datos satelitales

Se utilizaron imágenes de los sensores Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, obtenidas del USGS (<http://glovis.usgs.gov>), correspondientes a los años 1986, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015. Las imágenes tienen una resolución espacial de 30 m y bandas espectrales en el visible e infrarrojo (Satir, 2016). Se priorizaron imágenes satelitales registradas durante la estación seca (junio-agosto) con una cobertura nubosa menor al 10% (López-Moreno et al.,

2014; Paul et al., 2002). Imágenes de la estación húmeda de 1990, 1995 y 2015 se seleccionaron imágenes por presentar mejores condiciones de visibilidad. Las imágenes corregidas geoméricamente (Burns & Nolin, 2014; Satir, 2016), fueron proyectadas al sistema WGS 84 zona 19 S en QGIS. Posteriormente, se realizó la combinación de bandas en ERDAS Imagine 2014 para generar imágenes con niveles de reflectividad (ERDAS, 2014; Nijhawan et al., 2016).

Tabla 1. Cambios en la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba para el periodo 1986–2015.

| Año | Periodo | Área de cobertura glaciar (km ²) | Cambio de área (km ²) | Tasa de cambio de área (%) | Tasa de retroceso (km ² /año) |
|------|-----------|--|-----------------------------------|----------------------------|--|
| 1986 | 1986-1990 | 45.97 | -8.21 | -17.86 | -2.05 |
| 1990 | 1990-1995 | 37.76 | -4.59 | -12.16 | -0.92 |
| 1995 | 1995-2000 | 33.17 | -2.17 | -6.54 | -0.43 |
| 2000 | 2000-2005 | 31.00 | -3.88 | -12.52 | -0.78 |
| 2005 | 2005-2010 | 27.12 | -4.39 | -16.19 | -0.88 |
| 2010 | 2010-2015 | 22.73 | -0.59 | -2.60 | -0.12 |
| 2015 | 1986-2015 | 22.14 | -23.83 | -51.84 | -0.79 |

Nota: El cambio de área se obtiene restando el área total de dos periodos vecinos.

2.3 Área de cobertura de nieve

La detección de nieve y hielo se realizó mediante el Índice Normalizado de Diferencia de Nieve (NDSI) (Dozier, 1989) en ERDAS Imagine 2014. Se establecieron límites de NDSI entre 0.40 y 0.55, en concordancia con estudios previos (Burns & Nolin, 2014; Crawford et al., 2013; Durán-Alarcón et al., 2015; Silverio & Jaquet, 2005). Asimismo, se descartaron polígonos menores a 0.005 km² y aquellos por debajo de 4 000 m s. n. para evitar errores de clasificación (Burns y Nolin, 2014; Autoridad Nacional del Agua, 2014). La ecuación del NDSI se define en la relación entre la banda visible (TM2) y el infrarrojo medio (TM5), según la ecuación de Landsat (Thapliyal et al., 2023).

$$NDSI = \frac{(TM2 - TM5)}{(TM2 + TM5)}$$

3. Resultados y discusión

3.1 Variación en la cobertura glaciar

Entre 1986 y 2015, la superficie glaciar en la CA se redujo de manera significativa, pasando de 45.97 km² a 22.14 km², lo que representa una pérdida de 23.83 km²; es decir, el 51.84 % de la superficie glaciar en un lapso de 30 años (Tabla 1, Fig. 2). La tasa de retroceso no fue uniforme en todos

los periodos analizados, destacándose una correlación inversa significativa ($r^2 = 0.94$) entre la tendencia lineal y la superficie de cobertura glaciar en la CA (Fig. 3).

La mayor pérdida de cobertura glaciar ocurrió en la cuenca del Azángaro, donde el frente del glaciar La Rinconada retrocedió aproximadamente 328 m y se observó la fragmentación del glaciar Ananea (Fig. 2). Asimismo, se evidenció un retroceso significativo en los glaciares de las cuencas del Inambari y Suches, con una disminución de cobertura y desaparición de masas de hielo.

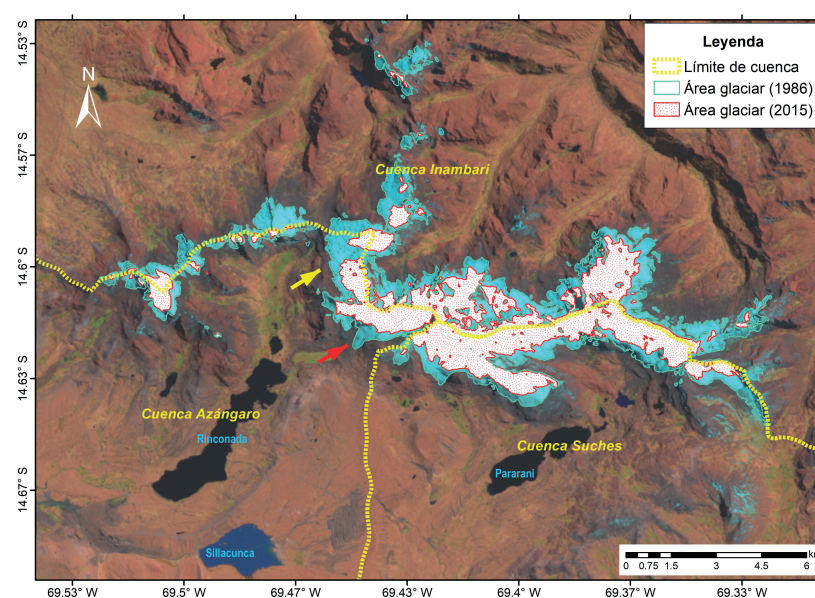


Figura 2. Cambios en la cobertura glaciar de la cordillera Apolobamba para el periodo 1986-2015. La imagen satelital (al fondo) corresponde al área glaciar en 1986 (las fechas en amarillo y rojo indican la ubicación de los glaciares Ananea y Rinconada, respectivamente).

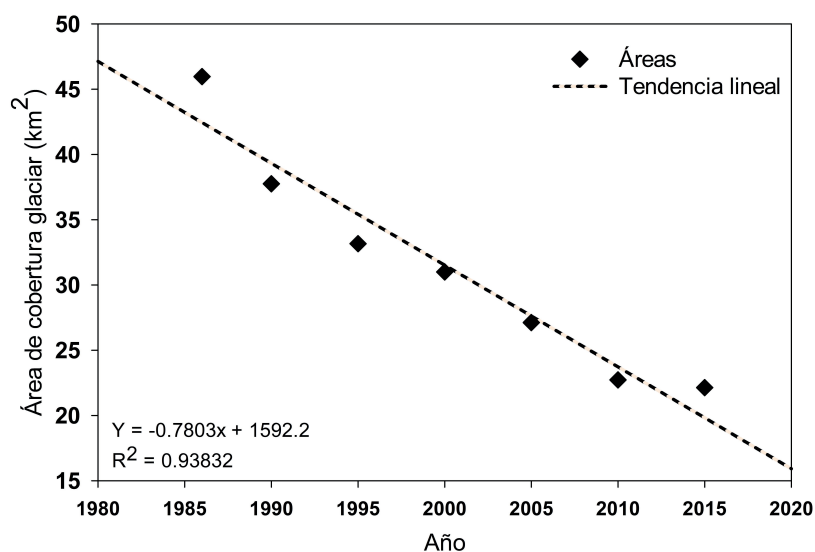


Figura 3. Retroceso de cobertura glaciar en la cordillera Apolobamba entre 1986 y 2015 y su tendencia lineal.

El análisis de la relación entre la cobertura glaciar y las variables climáticas locales se realizó utilizando datos de precipitación y temperatura registrados en la estación meteorológica de Ananea entre 1981 y 2015 (Fig. 4). Se observó una reducción gradual en la precipitación anual y un aumento progresivo de la temperatura media anual, mostrando una relación inversa con la dinámica de la cobertura glaciar. El análisis de la tasa de retroceso glaciar y la precipitación revela dos patrones distintos (Fig. 5). Entre 1986 y 2005, se identificó una relación directa, donde mayores precipitaciones coincidieron con tasas de retroceso glaciar más elevadas. En contraste, entre 2005 y 2015, se presentó una relación inversa, con tasas de retroceso más altas en años de menor precipitación. Si bien no se encontró una relación directa entre la tasa de retroceso glaciar y la temperatura media anual en cada periodo, en general, se identificó una relación inversa entre las tendencias de ambas variables, sin condicionar las tasas de pérdida de cobertura glaciar. Estos resultados sugieren que el retroceso glaciar está principalmente influenciado por el incremento de la temperatura y el calentamiento global, lo cual ha sido documentado en varias investigaciones (Lopez et al., 2010; López-Moreno et al., 2014; Mark & Seltzer, 2005; Petrakov et al., 2016; Schauwecker et al., 2014; Wang et al., 2015), mientras que la precipitación condiciona la tasa de retroceso glaciar. Este fenómeno es también registrado en el Qinghai-Tibet Plateau (Pan et al., 2012) y en los glaciares del Himalaya (Zhao et al., 2020) debido al efecto del albedo sobre el balance de radiación de onda corta (Azam et al., 2018). Además, las tasas de pérdida de cobertura glaciar también estarían asociadas a la geometría de los glaciares, como la elevación, orientación y pendiente (Ganjoo & Koul, 2025), factores que no fueron abordados en esta investigación.

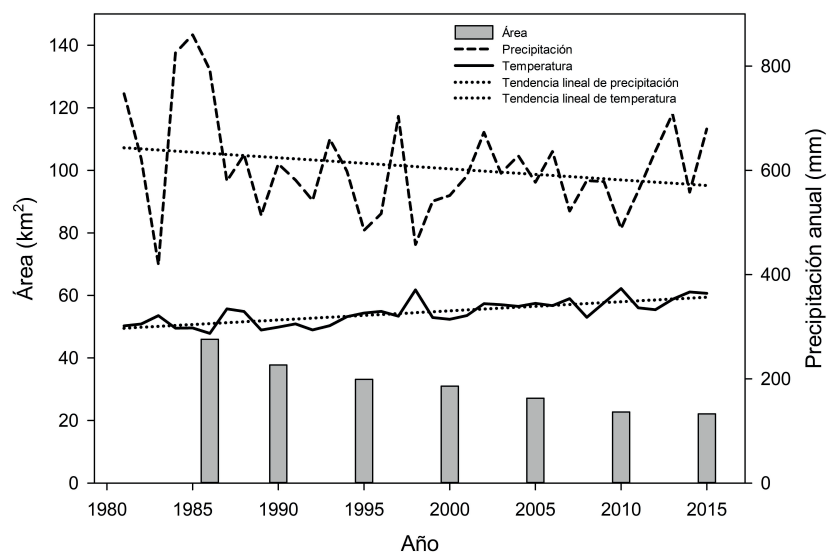


Figura 4. Superficie glaciar y datos meteorológicos para el período 1981-2015.

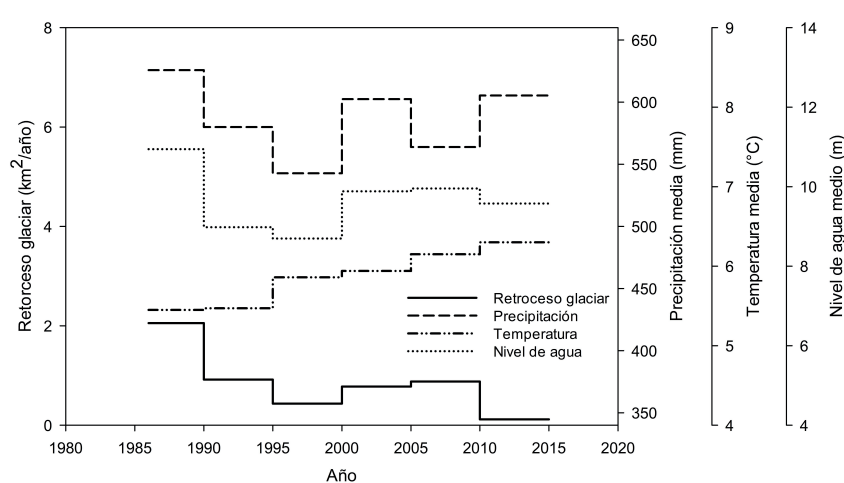


Figura 5. Relación entre la tasa de retroceso de los glaciares y las variables climáticas locales

Las respuestas de los glaciares a los cambios climáticos son complejas (Zhao et al., 2020). Por ello, los aumentos observados en la temperatura y las variaciones en la precipitación en la Cordillera Apolobamba no explican por sí solos el pronunciado retroceso glaciar registrado durante los últimos 30 años. Según Schauwecker et al. (2014), para que se produzca un retroceso sostenido como el observado, se requeriría un incremento térmico superior a 0.3°C por década, umbral que no fue alcanzado en ninguno de los periodos analizados. Esto sugiere que la influencia de otros factores, como el tamaño, la orientación y la altitud de los glaciares (Ahmad et al., 2022). Asimismo, presiones antropogénicas como las actividades como la minería en La Rinconada, incluida la extracción forzada de agua mediante la inducción del derretimiento del hielo por modificación del albedo para el abastecimiento de las operaciones mineras y de la población, podrían estar contribuyendo a la reducción de la cobertura glaciar (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

4. Conclusiones

Este estudio evaluó la dinámica del retroceso glaciar en la Cordillera Apolobamba (CA) utilizando imágenes satelitales Landsat y el Índice Normalizado de Diferencia de Nieve (NDSI). Se identificó una reducción significativa de la cobertura glaciar entre 1986 y 2015, equivalente a una pérdida total de 22.14 km² (51.84 %), a una tasa de 0.79 km²/año. Asimismo, se observó una disminución progresiva de la precipitación anual y un leve aumento de la temperatura del aire. El análisis evidenció una relación directa entre la precipitación y la tasa de retroceso glaciar en el periodo 1986–2005, y una relación inversa en 2005–2015. Estos resultados sugieren que, si bien el retroceso glaciar en la región analizada está principalmente impulsado por el calentamiento global, la magnitud de dicha pérdida está modulada por la disponibilidad de precipitación.

Referencias

- Ahmad, S. T., Ahmed, R., Wani, G. F., Sharma, P., & Ahmed, P. (2022). Glacier changes in Sind basin (1990–2018) of North-western Himalayas using earth observation data. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(2), 2567-2579. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01246-w>
- Autoridad Nacional del Agua - [ANA]. (2014). Inventario nacional de glaciares y lagunas. Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/199>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Informe del estado situacional del glaciar Riticucho. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.
- Azam, M. F., Wagon, P., Berthier, E., Vincent, C., Fujita, K., & Kargel, J. S. (2018). Review of the status and mass changes of Himalayan-Karakoram glaciers. *Journal of Glaciology*, 64(243), 61-74. <https://doi.org/10.1017/jog.2017.86>
- Bamber, J. L., & Rivera, A. (2007). A review of remote sensing methods for glacier mass balance determination. *Global and Planetary Change*, 59(1-4), 138-148. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.031>
- Cook, S. J., Kougkoulos, I., Edwards, L. A., Dortch, J., and Hoffmann, D. (2016). Glacier change and glacial lake outburst flood risk in the Bolivian Andes. *The Cryosphere*, 10, 2399–2413. <https://doi.org/10.5194/tc-10-2399-2016>
- Burns, P., & Nolin, A. (2014). Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010. *Remote Sensing of Environment*, 140, 165-178. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.026>
- Carey, M., Baraer, M., Mark, B. G., French, A., Bury, J., Young, K. R., & McKenzie, J. M. (2014). Toward hydro-social modeling: Merging human variables and the social sciences with climate-glacier runoff models (Santa River, Peru). *Journal of Hydrology*, 518, 6070. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.006>
- Crawford, C. J., Manson, S. M., Bauer, M. E., & Hall, D. K. (2013). Multitemporal snow cover mapping in mountainous terrain for Landsat climate data record development. *Remote Sensing of Environment*, 135, 224-233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.04.004>
- Dobreva, I. D., & Klein, A. G. (2011). Fractional snow cover mapping through artificial neural network analysis of MODIS surface reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3355-3366. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.018>
- 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)
- Durán-Alarcón, C., Gevaert, C. M., Mattar, C., Jiménez-Muñoz, J. C., Pasapera-Gonzales, J. J., Sobrino, J. A., Silvia-Vidal, Y., Fashé-Raymundo, O., Chavez-Espiritu, T. W., & Santillan-Portilla, N. (2015). Recent trends on glacier area retreat over the group of Nevados Caullaraju-Pastoruri (Cordillera Blanca, Peru) using Landsat imagery. *Journal of South American Earth Sciences*, 59, 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.01.006>
- Emmer, A., Loarte, E. C., Klimeš, J., & Vilímek, V. (2015). Recent evolution and degradation of the bent Jatunraju glacier (Cordillera Blanca, Peru). *Geomorphology (Amsterdam, Netherlands)*, 228, 345-355. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.09.018>
- ERDAS. (2014). ERDAS imagine 2014. Hexagon Geospatial, Peachtree Corners Circle Norcross.
- Fraser, B. (2012). Melting in the Andes: Goodbye glaciers. *Nature (London)*, 491(7423), 180–182. <https://doi.org/10.1038/491180a>
- Ganjoo, R. K., & Koul, M. N. (2025). Glacier Geometry and Dynamics. En R. K. Ganjoo & M. N. Koul, *The Himalayan Glaciers, Climate Change and Society* (pp. 65-101). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78283-1_4

- Gupta, R. P., Haritashya, U. K., & Singh, P. (2005). Mapping dry/wet snow cover in the Indian Himalayas using IRS multispectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 97(4), 458-469.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.010>
- Immerzeel, W. W., Droogers, P., De Jong, S. M., & Bierkens, M. F. P. (2009). Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 113(1), 40-49.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.010>
- 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.
[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00259-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00259-2)
- Laqui, W., Zubieta, R., Laqui-Vilca, Y., Calizaya, E., & Laqui-Vilca, C. (2023). Temporal dynamics of glacier retreat and its relationship with local climate in Cordillera Apolobamba, Peru. *Modeling Earth Systems and Environment*. 10(2), 1647-1656.
<https://doi.org/10.1007/s40808-023-01865-5>
- Liu, T., Kinouchi, T., & Ledezma, F. (2013). Characterization of recent glacier decline in the Cordillera Real by LANDSAT, ALOS, and ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 137, 158-172.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.06.010>
- Lopez, P., Chevallier, P., Favier, V., Pouyaud, B., Ordenes, F., & Oerlemans, J. (2010). A regional view of fluctuations in glacier length in southern South America. *Global and Planetary Change*, 71(1-2), 85-108.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.12.009>
- López-Moreno, J. I., Fontaneda, S., Bazo, J., Revuelto, J., Azorin-Molina, C., Valero-Garcés, B., Morán-Tejeda, E., Vicente-Serrano, S. M., Zubieta, R., & Alejo-Cochachín, J. (2014). Recent glacier retreat and climate trends in Cordillera Huaytapallana, Peru. *Global and Planetary Change*, 112, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.10.010>
- Mark, B. G., & Seltzer, G. O. (2005). Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962-1999): Spatial distribution of mass loss and climatic forcing. *Quaternary Science Reviews*, 24(20-21), 2265-2280.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.003>
- Nijhawan, R., Garg, P. K., & Thakur, P. K. (2016). Monitoring of glacier in Alaknanda basin using remote sensing data. *Perspectives in Science*, 8, 381-383.
<https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.081>
- Pan, B. T., Zhang, G. L., Wang, J., Cao, B., Geng, H. P., Wang, J., Zhang, C., & Ji, Y. P. (2012). Glacier changes from 1966-2009 in the Gongga Mountains, on the south-eastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau and their climatic forcing. *The Cryosphere*, 6(5), 1087-1101.
<https://doi.org/10.5194/tc-6-1087-2012>
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T., & Haeberli, W. (2002). The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods. *Annals of Glaciology*, 34, 355-361.
<https://doi.org/10.3189/172756402781817941>
- Petrakov, D., Shpuntova, A., Aleinikov, A., Kääb, A., Kutuzov, S., Lavrentiev, I., Stoffel, M., Tutubalina, O., & Usabaliev, R. (2016). Accelerated glacier shrinkage in the Ak-Shyirak massif, Inner Tien Shan, during 2003-2013. *Science of The Total Environment*, 562, 364-378.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.162>
- Rittger, K., Painter, T. H., & Dozier, J. (2013). Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS. *Advances in Water Resources*, 51, 367-380.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.03.002>
- Satir, O. (2016). Comparing the satellite image transformation techniques for detecting and monitoring the continuous snow cover and glacier in Cilo mountain chain Turkey. *Ecological Indicators*, 69, 261-268.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.032>
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Acuña, D., Cochachin, A., Dávila, L., Frey, H., Giráldez, C., Gómez, J., Huggel, C., Jacques-Coper, M., Loarte, E., Salzmänn, N., & Vuille, M. (2014). Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. *Global and Planetary Change*, 119, 85-97.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.005>
- Silverio, W., & Jaquet, J.-M. (2005). Glacial cover mapping (1987-1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 95(3), 342-350.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.012>
- Suarez, W., Macedo, N., Montoya, N., Arias, S., Schauwecker, S., Huggel, C., & Condom, T. (2015). Balance energético neto (2012-2014) y evolución temporal del nevado quisoquipina en la región de Cusco (1990-2010). *Revista Peruana Geo-Atmosférica (RPGA)*, 4, 80-92.
<https://doi.org/10.5167/uzh-118200>
- Takeuchi, N., Fujita, K., Aizen, V. B., Narama, C., Yokoyama, Y., Okamoto, S., Naoki, K., & Kubota, J. (2014). The disappearance of glaciers in the Tien Shan Mountains in Central Asia at the end of Pleistocene.

Quaternary Science Reviews, 103, 26-33.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.006>

Thapliyal, A., Kimothi, S., Taloor, A. K., Bisht, M. P. S., Mehta, P., & Kothiyari, G. C. (2023). Glacier retreat analysis in the context of climate change impact over the Satopanth (SPG) and Bhagirathi-Kharak (BKG) glaciers in the Mana basin of the Central Himalaya, India: A geospatial approach. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(1), 100128.
<https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100128>

Turpo, E. Y., Borja, M. O., Espinoza-Villar, R., Moreno, N., Camargo, R., Almeida, C., Hopfgartner, K., Yarleque, C., & Souza, C. M. (2022). Mapping Three Decades of Changes in the Tropical Andean Glaciers Using Landsat Data Processed in the Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(9), 1974.
<https://doi.org/10.3390/rs14091974>

Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., & Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89(3-4), 79-96.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>

Vuille, M., Kaser, G., & Juen, I. (2008). Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *Global and Planetary Change*, 62(1-2), 14-28.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>

Wang, P., Li, Z., Zhou, P., Wang, W., Jin, S., Li, H., Wang, F., Yao, H., Zhang, H., & Wang, L. (2015). Recent changes of two selected glaciers in Hami Prefecture of eastern Xinjiang and their impact on water resources. *Quaternary International*, 358, 146-152.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.028>

Zhao, X., Wang, X., Wei, J., Jiang, Z., Zhang, Y., & Liu, S. (2020). Spatiotemporal variability of glacier changes and their controlling factors in the Kanchenjunga region, Himalaya based on multi-source remote sensing data from 1975 to 2015. *Science of The Total Environment*, 745, 140995.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140995>

Zubieta, R., & Lagos, P., 2010. Cambios de la superficie glaciar en la cordillera Huaytapallana: periodo 1976–2006. En: *Cambio climático en la cuenca del río Mantaro: Balance de 7 años de estudio en la cuenca del Mantaro* (pp. 59-67). Instituto Geofísico del Perú .
<http://hdl.handle.net/20.500.12816/710>

INCERTIDUMBRE EN ACCIONES PARA MITIGAR LOS IMPACTOS DE LAS SEQUÍAS ASOCIADAS AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN PUNO

Ricardo Zubieta ¹, Wilber Laqui ², Yerson Ccanchi ¹, Jose Sinticala ^{1,2}

¹ Instituto Geofísico del Perú

² Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano

Palabras clave: Sequías, Medidas de adaptación, Cambio climático, El Niño, Impacto.

Citar como: Zubieta, R., Laqui, W., Ccanchi, Y, Sinticala, J.M. (2025). Incertidumbre en acciones para mitigar los impactos de las sequías asociadas al cambio climático en la región Puno. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, vol. 12 n.o 04, págs. 12-17.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?*

El artículo ofrece una discusión de las principales iniciativas de entidades gubernamentales en la región Puno para incrementar la capacidad de almacenamiento hídrico con fines de uso poblacional y agrícola. Ante posibles sequías futuras en contexto de cambio climático, la construcción de reservorios representan intervenciones clave, para el desarrollo de la región Puno. Las intervenciones de proyectos de siembra y cosecha de agua también podrían ser valiosas para la adaptación al cambio climático, pero es importante reducir las incertidumbres sobre su efectividad. En este contexto, se resalta la importancia de estudios hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, exploración geofísica que reduzca la incertidumbre acerca de los impactos de estas intervenciones en los ecosistemas.

Resumen

Los cambios en la intensidad, duración y frecuencia de las sequías en contexto al cambio climático implica llevar a cabo una serie de estrategias para reducir los impactos a la población e incrementar su resiliencia.

Este artículo analiza una serie de documentos e investigaciones para caracterizar las posibles incertidumbres que acarrearán el implementar medidas de adaptación vinculadas al almacenamiento hídrico en zonas del Altiplano. El artículo brinda una discusión preliminar de las ventajas y posibles necesidades de información para contribuir con mejorar la gestión de los recursos hídricos.

1. Introducción

A diferencia de la costa norte del Perú, donde El Niño implica condiciones propicias para intensas lluvias, el sur del Perú puede presentar sequías (Lavado and Espinoza, 2014). Una sequía meteorológica puede ser definida como una reducción de la cantidad de lluvia que precipita en niveles por debajo de lo normal en un periodo de tiempo prolongado (Duan et al., 2014). En las últimas décadas, Sudamérica ha sido frecuentemente afectada por eventos de sequías debido a complejas características topográficas y la alta variabilidad hidroclimática (Marengo and Espinoza, 2015), el cual también ha sido el caso del Altiplano Peruano Boliviano (Vicente-Serrano et al.,

2014). La sequía en el Altiplano está asociada a eventos cálidos de El Niño (Garreaud y Aceituno, 2001; Gutierrez et al., 2024), ya que durante El Niño, las lluvias tienden a reducirse en el Altiplano (Lavado and Espinoza, 2014). Las sequías de 1940/41, 1956/57, 1965/67, 1982/83 pueden ser consideradas las más severas y prolongadas (Caviedes, 2001; SENAMHI, 2021) y sus impactos fueron diversos. Por ejemplo, afectó a 460,000 agricultores durante el periodo 1982/1983 (Rocha 2007). Estas sequías produjeron pérdida de cultivos, muerte de ganado, incremento de enfermedades que afectaron principalmente a pequeños productores agrícolas, necesidad de ayuda extranjera, desabastecimiento de alimentos en mercados, migración a otras regiones, entre otros (Noticias de El Comercio, La Prensa de la época).

Ante escenarios de cambio climático se proyectan cambios en la intensidad, duración y frecuencia de las sequías, para el periodo 2034-2064 en el Altiplano, se recomienda que la región adopte estrategias para incrementar la resiliencia de la población para contrarrestar los efectos durante el periodo de sequías o sin lluvias (Zubieta et al., 2021). En este artículo, la resiliencia es referida a la capacidad de los sistemas socio-económicos y ambientales para poder afrontar un suceso, tendencia o perturbación de clima (Ley 30754). Asimismo, el retroceso glaciar de alrededor del 51% estimado en la cordillera Apolobamba en los últimos 30 años en Puno (Laqui et al., 2023), evidencia aún más la importancia de estas estrategias de adaptación en las próximas décadas para reducir los impactos de las sequías en el Altiplano peruano.

En el Perú, la adaptación al cambio climático es referido al proceso de ajuste ante el clima real o proyectado y sus efectos en sistemas humanos o naturales, a fin de limitar los daños con finalidad de garantizar un territorio resiliente y sostenible (Ley, 30754). Conforme a lo establecido en 2020 ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El Ministerio del Ambiente ha propuesto 84 medidas de adaptación en las áreas prioritizadas como agua; agricultura; bosques; pesca y acuicultura; y salud (MINAM, 2023). En ese contexto, el área temática Agua, describe una serie de medidas prioritarias, tales como: (a) Mejoramiento y construcción de reservorios para la provisión del servicio de agua de uso agrario, y la (b) Implementación de intervenciones para la siembra y cosecha de agua, entre otros. La siembra y cosecha de agua se refiere a las intervenciones locales para retener, infiltrar, almacenar y regular aguas

provenientes directamente de la lluvia durante el periodo de lluvias y sean aprovechadas durante el periodo sin lluvias (MIDAGRI, 2022). El objetivo de este artículo es brindar una discusión preliminar acerca de acciones prioritarias propuestas como medidas de adaptación y su incertidumbre.

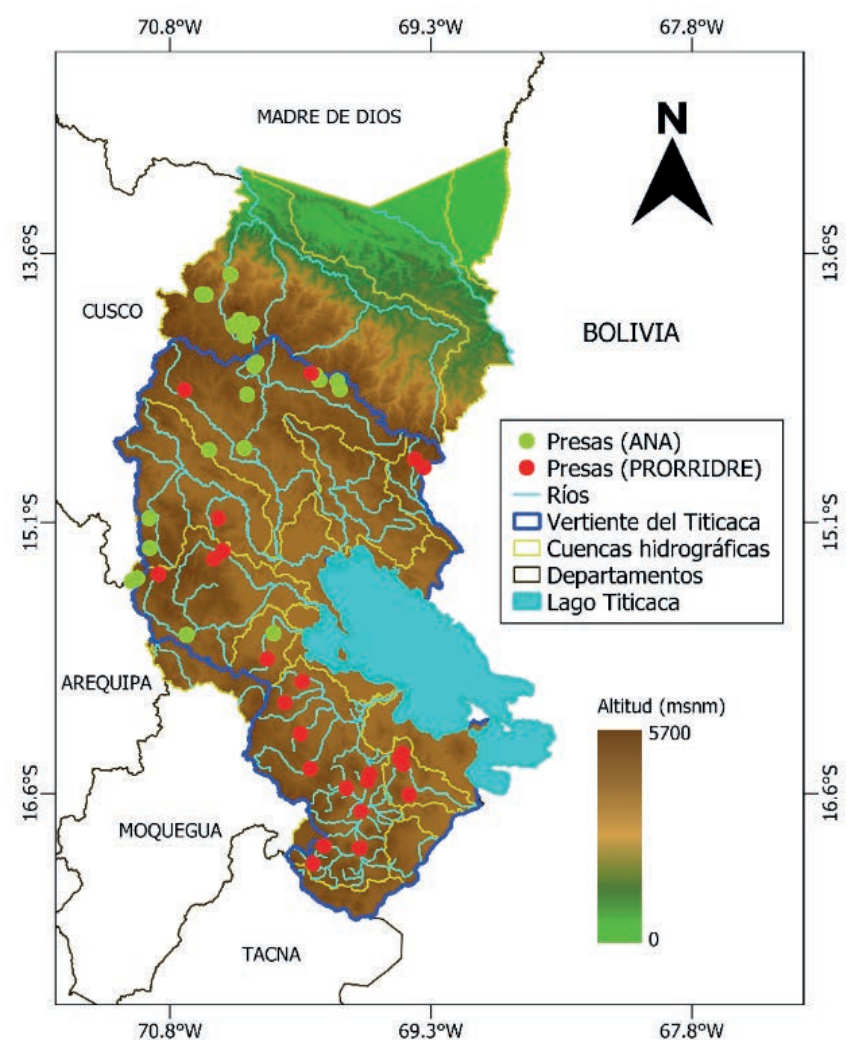


Figura 1. Ubicación de presas en Puno.

2. Área de estudio

El Departamento de Puno tiene una superficie aproximada de 71 949.00 km², que representa el 5.6% del territorio peruano, en el que habitan 1 172 697 (4% del total de la población) (INEI, 2018). Limita al norte con la región Madre de Dios, por el este con Bolivia, por el sur con la región Tacna, y por el oeste con las regiones de Moquegua, Arequipa y Cusco (13.0°–17.29° S; 71.11° – 68.81° O). La cuenca binacional del Lago Titicaca ubicada en Puno abarca territorios de Perú y Bolivia. Está constituida por aproximadamente 13 ríos principales que drenan al Lago Titicaca, el cual es considerado el más alto del mundo (Figura 1). Parte de la región Puno se localiza en el sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó, Salar de Coipasa) ubicada entre Perú y Bolivia. El sistema TDPS se caracteriza por un clima semiárido, con precipitación media anual que varía desde 1000 mm en el norte hasta 200 mm en la parte suroeste (Satgé et al., 2017). La lluvia en la cuenca del Titicaca

en Puno describe máximos valores entre diciembre y marzo, y mínimas entre mayo y agosto (Metzger, 2017). La evaporación media anual del Lago Titicaca es de aproximadamente 1700 mm/año (Pillco et al., 2019). Las principales actividades económicas que inciden en la producción de la región Puno son la agricultura y ganadería (17.5%) que implica una población económicamente activa del 42% en Puno (MINTRA, 2022). Del total de superficie cultivada en Puno (164 187 Ha) solo el 6,8 % es destinado a agricultura bajo sistema de riego (INEI, 2012).

Cabe resaltar que en la Convención Preliminar para el estudio del aprovechamiento de las aguas del Lago Titicaca, suscrito en 1955, y el Convenio Perú – Bolivia para el estudio económico preliminar de aprovechamiento de las aguas del Lago Titicaca, suscrito en 1957, que entraron en vigencia en 1987. Precisan que para mantener los recursos hidrobiológicos del lago Titicaca dentro de límites aceptables, no se puede extraer del lago Titicaca (o de sus afluentes) y río Desaguadero un caudal total superior a 20 y 5 m³/s , respectivamente.

Tabla 1. Principales proyectos relacionados a la siembra y cosecha de agua, e infraestructura para abastecimiento de agua para riego.

| Proyecto/Programa | Institución Ejecutora | Actividades Clave | Ámbito de acción |
|---|---------------------------|--|--|
| Construcción de Qochas y Zanjas de Infiltración | Sierra Azul (MIDAGRI) | Construcción de qochas y zanjas de infiltración | Puno (diversas provincias) |
| Mejoramiento del Servicio de Recarga Hídrica | Agro Rural (MIDAGRI) | Almacenamiento de agua para uso agrícola | Comunidades rurales de Puno |
| Restauración de ecosistemas altoandinos en cabeceras de cuenca para la seguridad hídrica y servicios ecosistémicos multiuso | SERFOR (MIDAGRI) | Gestión sostenible de la flora y fauna silvestre | Comunidad Picotani, de San Antonio de Putina |
| Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PELT) | MIDAGRI | Proyectos productivos, infraestructura de riego y medio ambiente | Cuenca del Lago Titicaca |
| Programa regional de riego y drenaje (PRORRIDRE) | Gobierno Regional de Puno | Infraestructura hidráulica para riego | Región Puno |
| Conservación del agua, canales y bofedales en Puno | Gobierno Regional de Puno | Optimización y rehabilitación de infraestructura hídrica | Comunidades campesinas Puno |

3. Discusión

La Figura 1 muestra la distribución espacial de represas en la región de Puno, aquellas inventariadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) como las propuestas por el Programa Regional de Riego y Drenaje (PRORRIDRE). Mientras que las presas de ANA corresponden a infraestructura existente (Gamarrá and Gil, 2015), las de PRORRIDRE buscan ampliar la capacidad de almacenamiento hídrico en la región. La ubicación de estas represas refleja una adecuada iniciativa gubernamental por mejorar la gestión del agua en distintas cuencas. No obstante, su implementación depende de factores como la disponibilidad hídrica, las condiciones geológicas, la demanda del recurso y la aceptación final de la población.

No obstante, Puno (41.6%), en conjunto con Cajamarca (44,5%), Loreto (43,5%) y Pasco (41,7%)

representan las regiones con mayor incidencia de pobreza en el Perú (INEI, 2024). La pobreza es uno de los principales impulsores del incremento de vulnerabilidad de la población a los desastres naturales, ya que los pobres se ven afectados desproporcionadamente por los peligros y desastres naturales (Hallegate et al., 2020). Este es el caso del peligro que puede implicar las posibles sequías futuras ante el cambio climático en el Altiplano (Zubieta et al., 2021). Dado el prolongado periodo sin lluvias o de mínimas cantidades de lluvia, el aprovechamiento limitado de las aguas del lago Titicaca por el tratado Perú-Bolivia y altas tasas de evaporación en la región del altiplano durante gran parte del año, la región Puno presenta también una alta demanda del recurso hídrico para la población y sectores económicos (agricultura y ganadería) durante gran parte del año (TDPS, 2022). Asimismo, el incremento de la actividad agrícola puede ejercer mayor demanda y por lo tanto escasez del recurso hídrico (Satgé et al., 2019).

Ante esto, muchas investigaciones sugieren que el almacenamiento de recurso hídrico es clave para la adaptación ante la sequía en contexto al cambio climático (De Loe and Kreutzwiser, 2000; Ciampittiello et al., 2024).

La Tabla 1. muestra que una parte importante de los proyectos relacionados con la gestión hídrica y la adaptación a la sequía en Puno son promovidos por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) mediante entidades ejecutoras como Agro Rural, Sierra Azul y PEBLT, mientras que PRORRIDRE es promovida por el Gobierno Regional de Puno. Estas instituciones desempeñan un rol central en la ejecución de medidas como la construcción de reservorios, zanjas de infiltración y la restauración de ecosistemas altoandinos. Esto es congruente con las medidas de adaptación priorizadas por MINAM (2023) y los proyectos de infraestructura, siembra y cosecha del agua liderados por diversos programas de desarrollo del MIDAGRI. La construcción de reservorios contribuyen directamente a incrementar la frontera agropecuaria bajo riego aplicando una mejor tecnología de producción, que les permite incrementar la intensidad del uso del suelo y fortalecer su producción durante el periodo sin lluvias (Shabanzadeh et al., 2016).

Ante un posible escenario extremo de sequía severa, intensa y prolongada (meses u años), similar a lo acontecido en 1982-83 en el Altiplano durante El Niño, resulta de alta importancia asegurar la disponibilidad hídrica para la población y el requerimiento hídrico para la agricultura y ganadería. No obstante, existe incertidumbre acerca de la potencial representatividad técnica ante sequías extremas de los principales embalses en Puno, este es el caso del embalse Lagunillas con un volumen superior a 500 MMC y la necesidad de la construcción de nuevos grandes embalses en Puno.

En comparación a la iniciativa incrementar la disponibilidad hídrica mediante grandes reservorios, la siembra y cosecha de agua acarrea incertidumbre acerca del flujo hidrogeológico, capacidad de infiltración, conservación de nutrientes en el suelo, beneficios a cuenca vecinas (Abu-Zreig et al., 2020; Wang et al., 2020). Por lo tanto, se resalta la importancia de análisis hidrológicos, geológicos y geomorfológicos, exploración geofísica y la consecuente definición de estrategias de gestión hídrica para generar conocimiento de los efectos de estas medidas (Carrión-Mero et al., 2023). Reconocer cuantitativamente y cualitativamente cuáles son y dónde están (espacial y temporalmente) los efectos

locales y/o regionales de la siembra y cosecha del agua, como la recarga de acuíferos, contribuirá a reducir las barreras de políticas de adaptación. La clave para una política de adaptación eficiente, es ser consciente de las limitaciones de las barreras para la adaptación en la toma de decisiones (Knittel, 2016). Una barrera a superar implica, el concepto de licencia social la cual es una herramienta cada vez más popular para que las entidades gestionen adecuadas relaciones con las comunidades locales (Lehtonen et al., 2020). Debido a que las intervenciones gubernamentales en Puno y otras regiones no son necesariamente del todo aceptadas por la población.

Para reducir la incertidumbre, una alternativa es el monitoreo constante de los beneficios alcanzados de la cosecha y siembra de agua. Por ejemplo, el monitoreo de la posible aparición de cuerpos de agua y/o analizar el posible reverdecimiento de algunas zonas en microcuencas y/o subcuencas vecinas en las que llevan siendo implementadas las medidas de siembra y cosecha de agua en las últimas décadas. En contraste, identificar también zonas que pudieran estar recibiendo menos humedad que antes debido a estas intervenciones. Para ello, como primera aproximación el uso de imágenes de satélite con resolución espacial y temporal adecuada puede ser considerado una alternativa factible de fuente de datos para generar conocimiento a corto plazo que pueda ser verificado en campo. Por otro lado, resulta altamente relevante la reducción de incertidumbre a partir de nuevas investigaciones que mejoren el entendimiento de barreras identificadas tales como recursos insuficientes, fragmentación local, falta de conciencia y comunicación en la población en la adaptación al cambio climático (Lee et al., 2022).

Referencias

- Abu-Zreig, M., Fujimaki, H., & Abd Elbasit, M. A. (2020). Enhancing Water Infiltration through Heavy Soils with Sand-Ditch Technique. *Water*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/w12051312>
- Ciampittiello, M., Marchetto, A., & Boggero, A. (2024). Water Resources Management under Climate Change: A Review. *Sustainability*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/su16093590>
- Carrión-Mero, P., Tiviano, I., Hervas, E., Jaya-Montalvo, M., Malavé-Hernández, J., Solórzano, J., Berrezueta, E., & Morante-Carballo, F. (2023). Water Sowing and harvesting application for water management on the slopes of a volcano. *Heliyon*, 9(5), e16029. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16029>

Caviedes, C. (2001). *El Niño in history : storming through the ages*. University of Florida Press.

De Loe, R.C.; Kreutzwiser, R.D. (2000) Climate variability, climate change and water resource management in the Great Lakes. *Clim. Chang.* 45, 163–179

Duan, K., & Mei, Y. (2014). Comparison of Meteorological, Hydrological and Agricultural Drought Responses to Climate Change and Uncertainty Assessment. *Water Resources Management*, 28(14), 5039–5054.

<https://doi.org/10.1007/s11269-014-0789-6>

Gamarra and Gil (2015). *Inventario de presas en el Perú. "Revista Aguas y Más"*.

<https://hdl.handle.net/20.500.12543/2424>

Garreaud, R; Aceituno P. (2001) Interannual rainfall variability over the South American Altiplano. *J. Clim.* 14(12): 2779–2789.

Gutierrez-Villarreal, R. A., Espinoza, J.-C., Lavado-Casimiro, W., Junquas, C., Molina-Carpio, J., Condom, T., & Marengo, J. A. (2024). The 2022-23 drought in the South American Altiplano: ENSO effects on moisture flux in the western Amazon during the pre-wet season. *Weather and Climate Extremes*, 45, 100710.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100710>

Hallegatte S, Vogt-Schilb A, Rozenberg J, Bangalore M, Beaudet C (2020) From Poverty to Disaster and Back: a Review of the Literature. *Economics of Disasters and Climate Change*, 4(1), 223–247.

<https://doi.org/10.1007/s41885-020-00060-5>

INEI (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1185/cap03.pdf

INEI (2018). *Resultados definitivos*. Instituto Nacional de Estadística e informática.

<https://censo2017.inei.gov.pe/censos-2017-departamento-de-puno-tiene-1-172-697-habitantes/>

INEI (2024). *Peru: Evolución de pobreza monetaria 2014-2023*. Instituto Nacional de Estadística e informática.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6469130/5558432-peru-evolucion-de-la-pobreza-monetaria-2014-2023.pdf?v=1718204242>

Knittel M. (2016) "Climate Change Adaptation: Needs, Barriers and Limits". *Climate Policy Info Hub*, 10 February 2016. Online available at: [http://climatepolicyinfohub.eu/climate-change-adaptatio](http://climatepolicyinfohub.eu/climate-change-adaptation-needs-barriers-and-limits)

n-needs-barriers-and-limits

Laqui, W., Zubieta, R., Laqui-Vilca, Y., Calizaya, E., & Laqui-Vilca, C. (2023). Temporal dynamics of glacier retreat and its relationship with local climate in Cordillera Apolobamba, Peru. *Modeling Earth Systems and Environment*.

<https://doi.org/10.1007/s40808-023-01865-5>

Lavado, W. and Espinoza, J.C. (2014) Impact of El Niño and La Niña events on Rainfall in Peru. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.29, 171-182.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>

Lee, S., Paavola, J., & Dessai, S. (2022). Towards a deeper understanding of barriers to national climate change adaptation policy: A systematic review. *Climate Risk Management*, 35, 100414.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100414>

Lehtonen, M., Kojo, M., Jartti, T., Litmanen, T., & Kari, M. (2020). The roles of the state and social licence to operate? Lessons from nuclear waste management in Finland, France, and Sweden. *Energy Research & Social Science*, 61, 101353.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101353>

Ley 30754. *Ley Marco sobre cambio climático*. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1638161-1>

Marengo, J.A.; and Espinoza, J.C. (2015) Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*. 36,3,1033-1050.

<https://doi.org/10.1002/joc.4420>

Metzger, J. (2017). *Modelamiento Hidrológico para Pronóstico estacional de caudales del río Ramis*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología. Diciembre.

https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/115/Estudio_Ramis.pdf?sequence=6&isAllowed=y

MIDAGRI (2022). *Lineamientos para la formulación y evaluación de proyectos de inversión de la tipología de siembra y cosecha de agua*. Elaborado en el marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones. Ministerio de Desarrollo Agrario.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3143796/Lineamientos%20para%20la%20formulaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20proyectos%20de%20inversi%C3%B3n%20de%20la%20tipolog%C3%ADa%20de%20Siembra%20y%20Cosecha%20de%20Agua.pdf>

MINAM (2023). Catálogo de Medidas de Adaptación. Ministerio del Ambiente Perú.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571780/462585-241202_catalogo-de-adaptacion-2024_vf.pdf?v=1733863639

MINTRA (2022). Estudio de la dinámica económico-laboral actual y tendencia en Puno. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4043168/Diagn%C3%B3stico%20de%20Puno.pdf>

Pillco Zolá, R., Bengtsson, L., Berndtsson, R., Martí-Carbona, B., Satgé, F., Timouk, F., Bonnet, M.-P., Mollericon, L., Gamarra, C., & Pasapera, J. (2019). Modelling Lake Titicaca's daily and monthly evaporation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2), 657–668.
<https://doi.org/10.5194/hess-23-657-2019>

Rocha, A. El Mega-Niño 1982-83. (2007). La Madre de todos los niños". Presentation at the Second International Congress on "Obras de Saneamiento, Hidráulica, Hidrología y Medio Ambiente." HIDRO 2007- ICG. Lima, June 2007.

Satgé, F.; Espinoza, R.; Zolá, R.; Roig, H.; Timouk, F.; Molina, J.; Garnier, J.; Calmant, S.; Seyler, F.; and Bonnet, M.P. Role of Climate Variability and Human Activity on Poopó Lake Droughts between 1990 and 2015 Assessed Using Remote Sensing Data, *Remote Sens.* 2017, 9(3), 218,
<https://doi.org/10.3390/rs9030218>

Satgé, F., Hussain, Y., Xavier, A., Zolá, R. P., Salles, L., Timouk, F., Seyler, F., Garnier, J., Frappart, F., & Bonnet, M.-P. (2019). Unraveling the impacts of droughts and agricultural intensification on the Altiplano water resources. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 107710.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107710>

SENAMHI. (2021). Caracterización de las sequías meteorológicas en el departamento de Puno. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Proyecto Pachayatiña/Pachayachay. SENAMHI - HELVETAS - PREDES.

Shabanzadeh-Khoshrody, M., Azadi, H., Khajooeipour, A., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2016). Analytical investigation of the effects of dam construction on the productivity and efficiency of farmers. *Journal of Cleaner Production*, 135, 549–557.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.145>

TDPS (2022). Estimación de demanda hídrica multisectorial del sistema del Lago Titicaca, Río desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (TDPS) - Sector Peruano. Proyecto: Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema Titicaca-Desaguadero –Poopó – salar de Coipasa (TDPS).
<https://observatorio.alt-perubolivia.org/storage/multi/skUAwjD1bhQGG0rEvlr1dl18uSqrBAPbJWlURiqD.pdf>

Wang, K., Zhang, X., Ma, J., Ma, Z., Li, G., & Zheng, J. (2020). Combining infiltration holes and level ditches to enhance the soil water and nutrient pools for semi-arid slope shrubland revegetation. *Science of The Total Environment*, 729, 138796.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138796>

Vicente-Serrano, S.; Chura, O.; López-Moreno, J.; Azorin-Molina, C.; Sanchez-Lorenzo, A.; Aguilar, E.; Moran-Tejeda, E.; Trujillo, F.; Martínez, R.; Nieto, J. (2014). Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955–2012. *Int. J. Climatol.* 35, 3024–3040.
<https://doi.org/10.1002/joc.4190>

Zubieta, R., Molina-Carpio, J., Laqui, W., Sulca, J., & Ilbay, M. (2021). Comparative Analysis of Climate Change Impacts on Meteorological, Hydrological, and Agricultural Droughts in the Lake Titicaca Basin. *Water*, 13(2), 175.
<https://doi.org/10.3390/w13020175>

RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2025-03

Publicado el 16 de abril de 2025

Para febrero, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se mantiene la categoría Neutra (0.45); mientras que los ICEN temporales (ICEN-tmp) de marzo (0.72) y abril de 2025 (0.71) se ubican en la categoría Cálida Débil.

Por otro lado, los pronósticos de los modelos climáticos de NMME indican que frente a la costa peruana se esperan anomalías positivas de la temperatura superficial del mar a inicios de otoño para luego normalizarse hasta, por lo pronto, mediados de primavera. En el Pacífico central, el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de febrero (-0.39), así como sus temporales de marzo (-0.26) y abril (-0.11), corresponden a la categoría Neutra.

Según el promedio de los pronósticos generados por los modelos climáticos de NMME se prevé condiciones dentro del rango normal hasta mediados de la primavera. Hay que tener en cuenta que los pronósticos de los modelos climáticos más allá de abril son menos confiables debido a la barrera de predictibilidad.

El informe técnico completo se encuentra disponible en:
<https://bit.ly/3HCAgsu>



"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

PP 068 "Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres"

Producto: "Estudios para la estimación de los riesgos de desastres"

Actividad: "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño"

Instituto Geofísico del Perú

INFORME TÉCNICO N° PPR/El Niño-IGP/2025-03

16/04/2025

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN). El pronunciamiento colegiado de la comisión multisectorial del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

Resumen

Para febrero, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se mantiene la categoría Neutra (0.45); mientras que los ICEN temporales (ICEN-tmp) de marzo (0.72) y abril de 2025 (0.71) se ubican en la categoría Cálida Débil. Por otro lado, los pronósticos de los modelos climáticos de NMME indican que frente a la costa peruana se esperan anomalías positivas de la temperatura superficial del mar a inicios de otoño para luego normalizarse hasta, por lo pronto, mediados de primavera.

En el Pacífico central, el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de febrero (-0.39), así como sus temporales de marzo (-0.26) y abril (-0.11), corresponden a la categoría Neutra. Según el promedio de los pronósticos generados por los modelos climáticos de NMME se prevé condiciones dentro del rango normal hasta mediados de la primavera.

Hay que tener en cuenta que los pronósticos de los modelos climáticos más allá de abril son menos confiables debido a la barrera de predictibilidad.

www.igp.gob.pe | Calle Badojoz N° 169
Urb. Mayorazgo IV Etapa
Ate, Lima 15012, Perú.
(51) 13172300



Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN). El pronunciamiento colegiado de la comisión multisectorial del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

COMUNICADO OFICIAL

EFEN n.º 05 - 2025



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO "EL NIÑO"

COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA
DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" – ENFEN
Decreto Supremo n.º 007-2017-PRODUCE

Estado del sistema de alerta: No activo¹

Publicado el 16 de abril de 2025

- La Comisión Multisectorial del ENFEN, en base al análisis de las condiciones oceánicas y atmosféricas observadas hasta la fecha, así como de los pronósticos de los modelos climáticos nacionales como internacionales, cambia el estado del "sistema de alerta ante El Niño costero" de "Vigilancia" a "No Activo" en la región Niño 1+2 (Figura 1), debido a que es más probable que las condiciones cálidas débiles² actuales se atenúen progresivamente, con una transición a la condición neutra durante mayo, manteniéndose así hasta diciembre de 2025 (Figura 2).
- Por otro lado, en el Pacífico central (región Niño 3.4, Figura 1) es más probable que la condición neutra continúe hasta diciembre de 2025 (Figura 2)². Es importante considerar que la fiabilidad de los modelos climáticos mejora, en general, a partir de mayo o junio, una vez superada la barrera de predictibilidad³.
- Para el trimestre abril – junio⁴ de 2025, hay una mayor probabilidad de lluvias normales y sobre lo normal en la costa norte y la sierra noroccidental. No se descartan lluvias de ligera a moderada intensidad en lo que resta de abril en Tumbes y Piura. Asimismo, según el pronóstico hidrológico⁵, se prevé que en la región hidrográfica del Pacífico predominen caudales muy sobre lo normal en abril, con una tendencia hacia condiciones normales en los meses siguientes. No se descarta la ocurrencia de crecidas repentinas, especialmente del río Tumbes. En cuanto a la región hidrográfica del Titicaca, se anticipan caudales muy sobre lo normal, principalmente en abril y mayo, con una progresiva tendencia a la normalización en los

¹ No activo: De acuerdo al sistema de alerta, esta condición corresponde a condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar (Nota Técnica ENFEN 02-2024; <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen-02-2024-sistema-de-alerta-ante-el-nino-y-la-nina-costera/>)

² Las condiciones mensuales se establecen en base al valor del ICEN. En el caso de la condición cálida débil, esta corresponde cuando el valor del ICEN es mayor a +0.5 (Nota Técnica ENFEN 01-2024; <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen-01-2024-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-costero-y-la-nina-costera-en-el-peru/>). Para el caso del Pacífico central, la condición neutra se considera cuando el valor del ONI es mayor que -0.5 y menor que +0.5 (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php).

³ <https://doi.org/10.1002/joc.3513>

⁴ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-58.pdf>

meses posteriores, conforme a la estacionalidad.

- En cuanto a los recursos pesqueros, se espera el inicio de la primera temporada de pesca de la anchoveta stock norte centro, al haber concluido el proceso de desove de verano. En el caso de las especies transzonales, se prevé la disponibilidad de los recursos jurel, caballa y bonito a lo largo del litoral peruano, de acuerdo con su estacionalidad. Con respecto al calamar gigante o pota, se prevé un incremento en los desembarques, manteniendo sus zonas de pesca.
- Se recomienda a los tomadores de decisiones adoptar medidas correspondientes a la prevención y reducción del riesgo de desastre, durante el periodo de condiciones neutras. Asimismo, hacer seguimiento de los avisos meteorológicos⁶ y pronósticos estacionales⁷, para las acciones correspondientes. Por otro lado, se exhorta a la población a mantenerse informada a través de las fuentes oficiales del ENFEN.
- La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará monitoreando la evolución de las condiciones oceánicas, atmosféricas y biológicas-pesqueras, y actualizando las perspectivas. La emisión del próximo Comunicado Oficial ordinario será el viernes 16 de mayo de 2025.

- Puede acceder a leer en comunicado en su totalidad a través del siguiente enlace:
<http://bit.ly/3J63JeG>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN



⁵ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-56.pdf>

⁶ <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=aviso-meteorologico>

⁷ <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=pronostico-climatico>



@igp.peru



@igp_peru



@igp.peru



@igp_videos



@institutogeofisicodelperu



@igp.peru