

UPISCOCHA

EVIDENCIA CIENTÍFICA PARA LA ACCIÓN



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Infobrief
Upiscocha, evidencia científica para la acción

1a. edición - Febrero 2025

© 2025 Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Autores:

- **Oscar Vilca Gómez**
Especialista en hidrología y glaciología
- **Ricardo Vila Garrafa**
Especialista en gestión de riesgos y geotecnia
- **Wilfredo Chávez Huamán**
Especialista en gestión del conocimiento

Diseño gráfico: Mozaiku SAC

Fotografía: Oscar Vilca Gómez, Ricardo Vila Garrafa

Tiraje 1000 ejemplares

Depósito Legal N° 2025-02160

Se terminó de imprimir en:

GRUPO NYF S.A.C

AV. REPUBLICA DE ARGENTINA
NRO. 144 INT. 1180 URB. LIMA
INDUSTRIAL

Todos los derechos reservados.

El crecimiento acelerado de la laguna glaciar Upiscocha exige una respuesta coordinada de las autoridades para mitigar los riesgos y proteger a las comunidades.

La laguna Upiscocha, ubicada en la Cordillera del Vilcanota, en el distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco, Perú, es un caso alarmante de los efectos del cambio climático en los Andes. Con un crecimiento acelerado del 14.9% anual entre 2016 y 2023, Upiscocha al año 2024 ha alcanzado un volumen de 19,179,571.77 m³. Este rápido crecimiento, combinado con su reciente desconexión del frente glaciar, ha creado un escenario de elevado riesgo para las poblaciones aguas abajo.

La situación se agrava por la presencia de 15 sitios críticos identificados alrededor de la laguna, propensos a deslizamientos, avalanchas de hielo y caídas de roca. Estos factores, junto con un historial de desbordes como los ocurridos en mayo y agosto de 2022, subrayan la inestabilidad y el peligro latente que representa Upiscocha. La combinación de su gran volumen, profundidad considerable y ubicación en un terreno inestable aumenta dramáticamente el potencial de desbordes catastróficos.

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) desempeña un papel crucial en la identificación de lagunas peligrosas, el monitoreo y evaluación de Upiscocha desde el año 2020, realizando inspecciones, estudios topográficos, batimétricos y geológicos, emitiendo alertas sobre el crecimiento acelerado.

Es crucial establecer un plan de acción conjunto que priorice acciones para la reducción del peligro y consecuentemente para la mitigación del riesgo, a través de medidas estructurales y no estructurales, en donde es vital el fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo y la implementación de protocolos de emergencia específicos para la zona. El Gobierno Regional Cusco debe liderar la asignación de recursos técnicos y financieros, mientras que el gobierno local debe fortalecer su papel en la organización comunitaria y la ejecución de planes de contingencia.

1. INTRODUCCIÓN

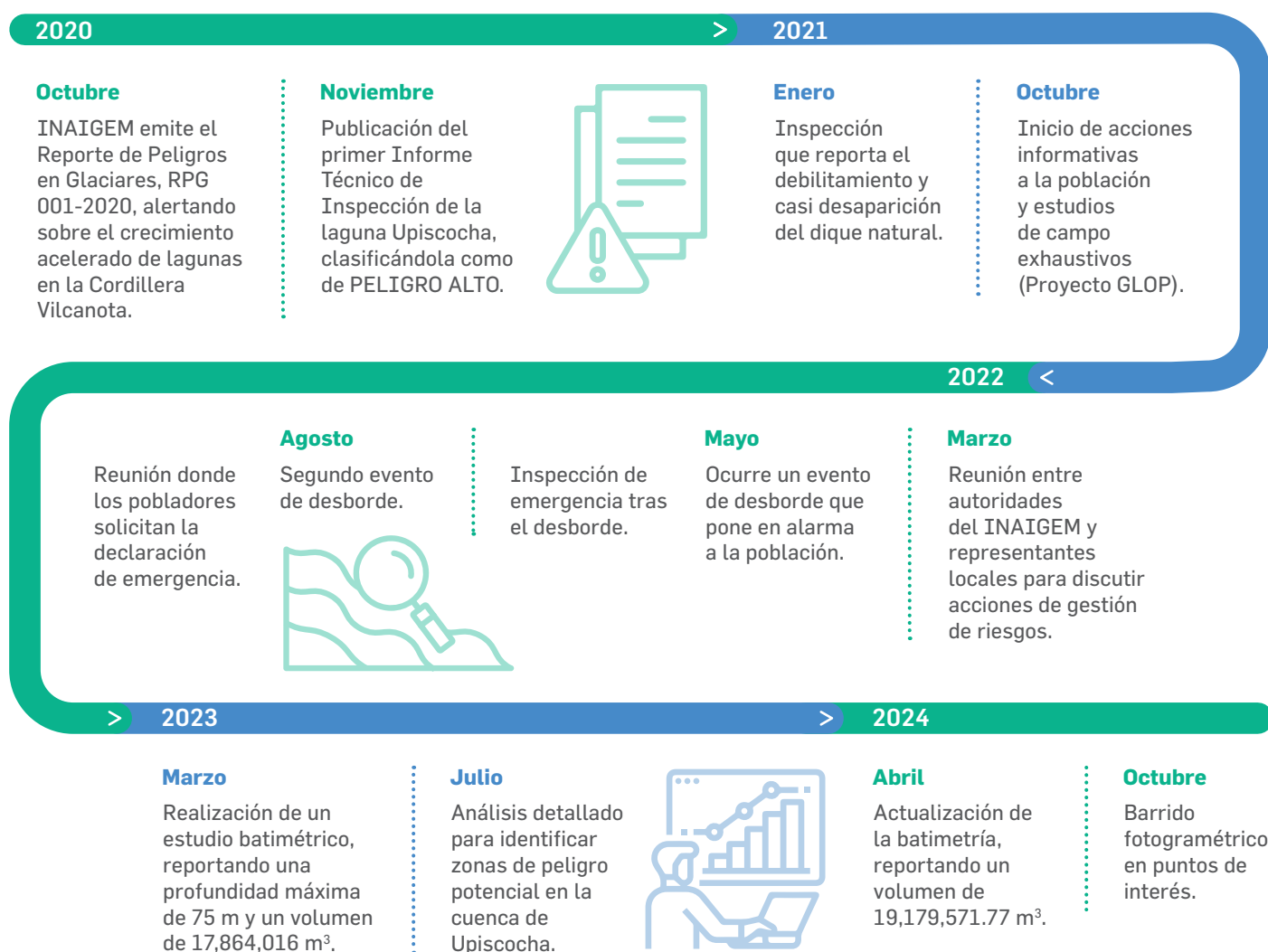
El progresivo derretimiento de los glaciares que conforman la Cordillera Vilcanota como consecuencia del calentamiento global, origina la aparición y crecimiento constante de lagunas rodeadas de empinadas morrenas inestables, tal es el caso de la laguna Upischocha, ubicada al pie del Nevado Ausangante a 4,547 metros de altitud.

La combinación de diversos factores, como el incremento del volumen de agua en la laguna, desagüe por rebose, fuertes pendientes con glaciares colgantes, estructuras morrénicas inestables y sensibles a deslizamientos, son características de una geomorfología propicia para generar flujos de detritos de alta

velocidad, elementos que configuran una amenaza creciente de alto poder destructivo aguas abajo.

Este documento, tiene por objetivo presentar de forma resumida y simplificada la caracterización del peligro que representa esta laguna, determinado en base a mediciones topográficas, batimetría y dinámica glaciar realizadas por los especialistas del INAI-GEM desde el año 2020 (ver figura 1). Asimismo, se busca proyectar escenarios prospectivos de peligro considerando que la laguna Upischocha alcanzó su máxima extensión al desconectarse del frente glaciar, producto del incremento de la temperatura global.

Figura 1. Línea de tiempo de acciones realizadas por el INAI GEM y eventos ocurridos en el periodo 2020-2024

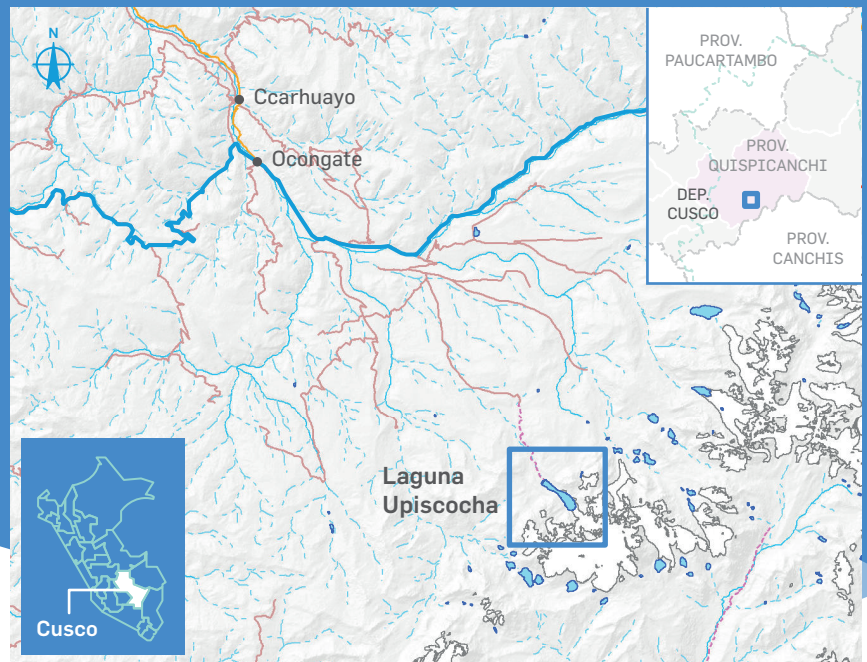


Nota: elaborado a partir del registro de reportes de la ODMRS-INAI GEM. 2024. Procesado por los autores.

2. UBICACIÓN DE LA LAGUNA

Upiscocha se sitúa en la cabecera de la cuenca del río Upismayo a 23 km al suroeste del distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi, en el departamento del Cusco. Se ubica al borde del círculo glaciar del nevado Ausangate confinada por morrenas. Geográficamente se ubica en la coordenada 13°46'26.44" S, 71°15'21.78" O.

Figura 2. Ubicación política de la laguna



3. EVOLUCIÓN DE LA LAGUNA GLACIAR: DESDE SU ORIGEN HASTA EL PANORAMA ACTUAL

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA LAGUNA

En la Cordillera Vilcanota, los estudios recientes revelan una pérdida alarmante de superficie glaciar. Según el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña¹, esta cordillera ha experimentado una reducción de más del 50% de la superficie glaciar en los últimos 58 años.

A medida que los glaciares se derriten, dejan tras de sí depresiones en el terreno, conocidas como cubetas de sobre excavación glaciar, que se llenan con el agua de deshielo². En el caso de la laguna Upiscocha, su formación se inicia con el retroceso y fusión del glaciar en el sector nor oeste del nevado del Ausangate a principios

de los años 90, lo que expuso depresiones morrénicas que actuaron como una presa natural, reteniendo el agua de deshielo y dando origen a la laguna³.

A medida que la laguna crecía en superficie y volumen, se estableció un ciclo de retroalimentación positiva con el glaciar adyacente. El contacto directo entre el agua y el frente glaciar intensificó la ablación, acelerando el derretimiento del hielo⁴. Simultáneamente, la fricción basal generó fracturas internas en el glaciar, creando una red de grietas que se extendieron tanto en el interior como en la superficie del hielo⁵.

1 INAI GEM. (2023c). Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/7029db53-5118-4e93-8b2a-71e6e26db5f6>

2 Cook, S. J., Kougkoulos, I., Edwards, L. A., Dortch, J., & Hoffmann, D. (2016). Glacier change and glacial lake outburst flood risk in the Bolivian Andes. *The Cryosphere*, 10(5), 2399-2413.

3 Emmer, A., Klimeš, J., Mergili, M., Vilímek, V., & Cochachin, A. (2016). 882 lakes of the Cordillera Blanca: An inventory, classification, evolution and assessment of susceptibility to outburst floods. *Catena*, 147, 269-279.

4 Benn, D. I., Bolch, T., Hands, K., Gulley, J., Luckman, A., Nicholson, L., Quincey, D., Thompson, S., Toumi, R., & Wiseman, S. (2012). Response of debris-covered glaciers in the Mount Everest region to recent warming, and implications for outburst flood hazards. *Earth-Science Reviews*, 114(1-2), 156-174.

5 Colgan, W., Rajaram, H., Abdalati, W., McCutchan, C., Mottram, R., Moussavi, M. S., & Grigsby, S. (2016). Glacier crevasses: Observations, models, and mass balance implications. *Reviews of Geophysics*, 54(1), 119-161.

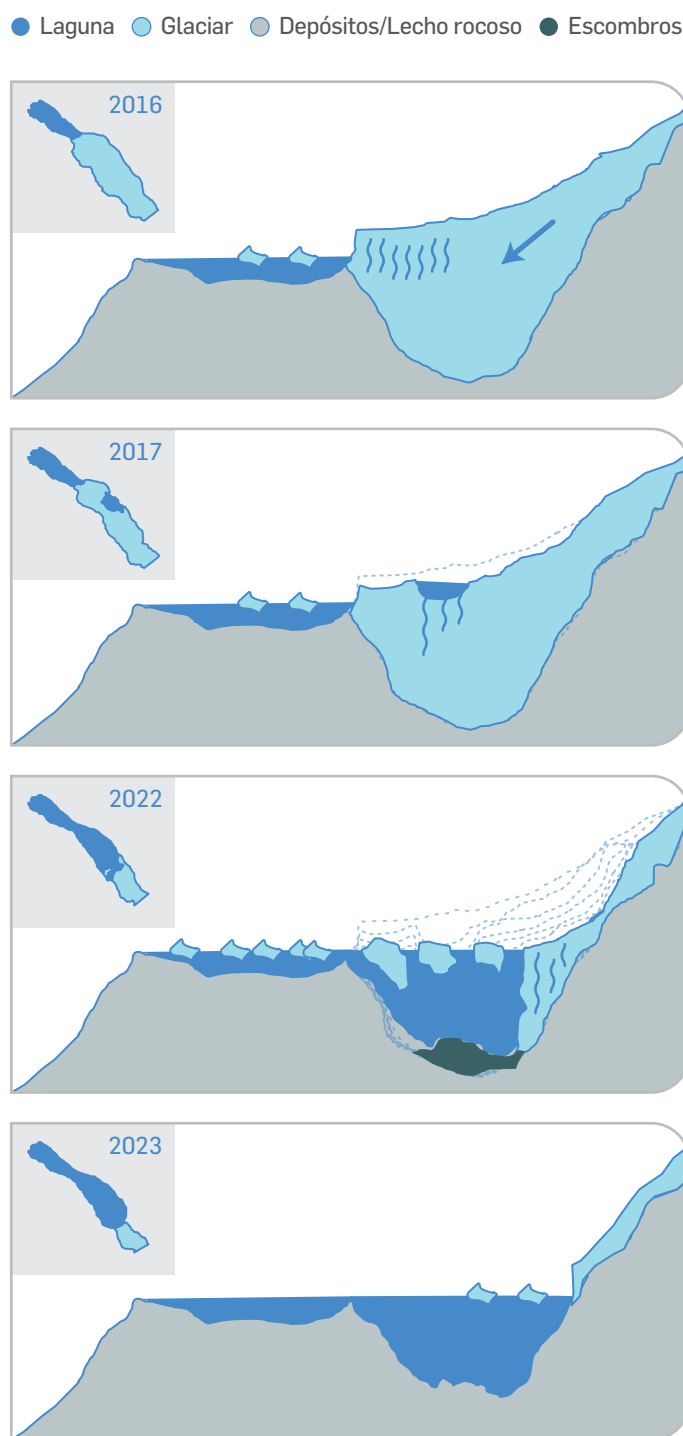
Estas grietas juegan un papel crucial en la evolución de la laguna y la degradación del glaciar. En el interior, al conectarse con el agua de la laguna, permiten que esta penetre más profundamente, acelerando el derretimiento desde dentro debido a los cambios térmicos. En la superficie, el agua que se acumula en las grietas amplifica el proceso de hidrofracturación, debilitando aún más la estructura del glaciar⁶.

Posteriormente, en la zona de contacto entre el glaciar y la laguna, se formó una muesca de erosión en el talud. Con el tiempo, esta entalladura creció y en combinación con las fracturas internas y externas, desestabilizó el frente glaciar. Como resultado, grandes bloques de hielo se desprendieron y cayeron a la laguna, un proceso conocido como "*calving*", proceso que contribuyó significativamente al crecimiento de la masa de agua⁷.

La dinámica de este proceso puede llevar a eventos dramáticos, como el observado en 2017, cuando el aumento de la ablación en la lengua glaciar provocó la aparición de una laguna "*supraglacial*" (laguna formada sobre el hielo de un glaciar). Las filtraciones de esta laguna a través de fisuras alcanzaron el lecho rocoso, causando el colapso total de una sección de hielo, lo que ilustra la fragilidad y rapidez con la que estos sistemas pueden cambiar⁸.

Finalmente, el proceso de expansión de la laguna se vio amplificado por el deshielo del agua en los poros y grietas de la morrena circundante, así como por la erosión lateral. Estos factores contribuyeron a ampliar y profundizar la cubeta lacustre, consolidando la presencia de la laguna en el paisaje anteriormente dominado por el hielo⁹.

Figura 3. Proceso de formación de Upiscocha en función del retroceso glaciar



Nota: elaborado a partir de información topografía y batimétrica en el periodo 2020 - 2023. Procesadas por los autores.

6 Benn, D. I., Bolch, T., Hands, K., Gulley, J., Luckman, A., Nicholson, L., Quincey, D., Thompson, S., Toumi, R., & Wiseman, S. (2012). Response of debris-covered glaciers in the Mount Everest region to recent warming, and implications for outburst flood hazards. *Earth-Science Reviews*, 114(1-2), 156-174.

7 Sakai, A., Nishimura, K., Kadota, T., & Takeuchi, N. (2009). Onset of calving at supraglacial lakes on debris-covered glaciers of the Nepal Himalaya. *Journal of Glaciology*, 55(193), 909-917.

8 Haeberli, W., Buetler, M., Huggel, C., Friedli, T. L., Schaub, Y., & Schleiss, A. J. (2016). New lakes in deglaciating high-mountain regions—opportunities and risks. *Climatic change*, 139, 201-214.

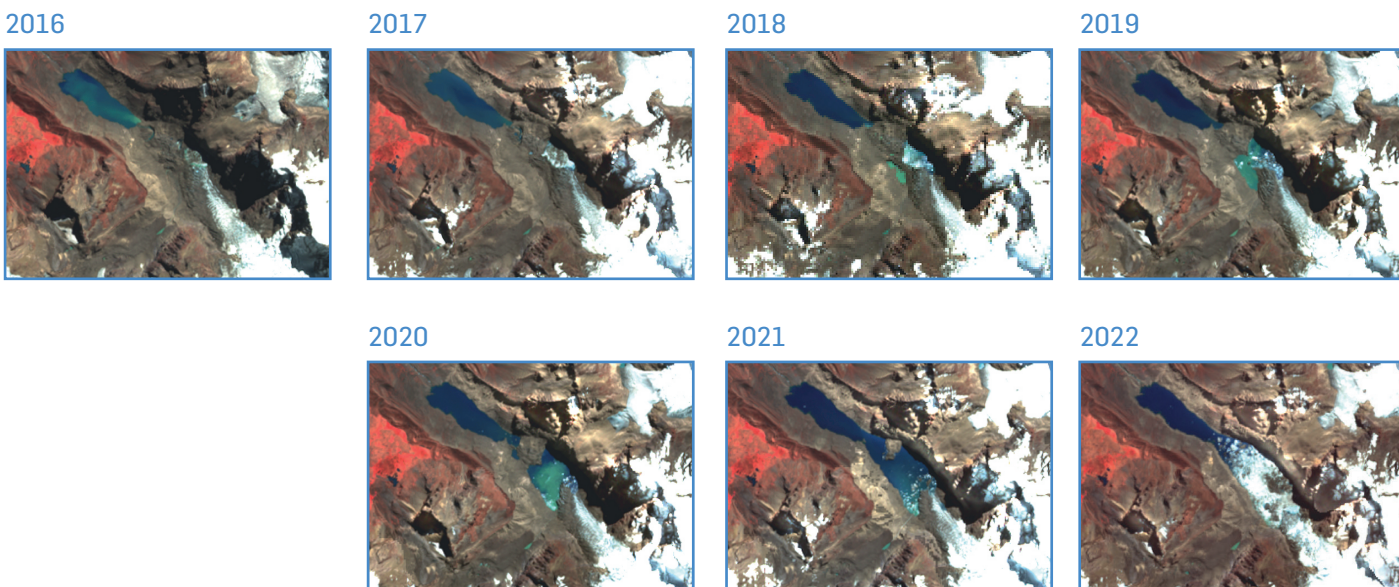
9 Haeberli, W., Buetler, M., Huggel, C., Friedli, T. L., Schaub, Y., & Schleiss, A. J. (2016). New lakes in deglaciating high-mountain regions—opportunities and risks. *Climatic change*, 139, 201-214.

DINÁMICA Y COMPORTAMIENTO

El proceso de formación de la laguna Upisocha se da en dos etapas, el primer cuerpo de agua inicia en 1990, como evidencia la imagen Landsat TM 4-5 del 18 de abril del respectivo año, siendo su crecimiento progresivo hasta mediados del 2015. Con la disponibilidad de imágenes satelitales seriadas Sentinel 2 L2A, se ha registrado el crecimiento acelerado de la laguna. La Figura 4, muestra los cambios en la extensión de la laguna sobre una base anual, desde el año 2016 hasta alcanzar su máxima superficie en el año 2023.

El comportamiento evolutivo de la laguna Upisocha ha sido rápido y preocupante desde su aparición. Su crecimiento superficial ha sido variable, mostrando periodos de rápida expansión seguidos por fases de crecimiento más lento. Entre 2016 y 2020, la laguna experimentó picos de expansión, reflejando un fuerte proceso de fusión del hielo en la lengua glaciar. En años recientes, a pesar de que el ritmo de crecimiento ha disminuido, la laguna alcanzó su máximo tamaño en superficie y volumen en agosto de 2023, cuando se desconectó del frente glaciar.

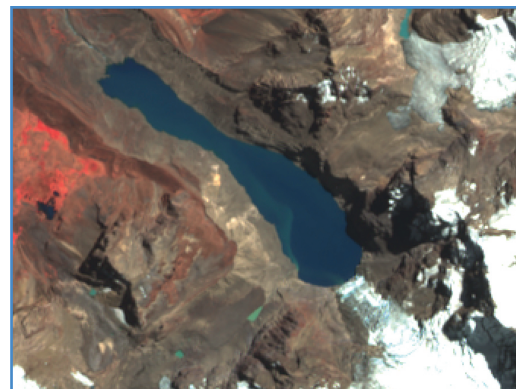
Figura 4. Análisis multitemporal de la dinámica del glaciar y laguna en el periodo 2016-2023



SITUACIÓN ACTUAL

Según los registros obtenidos en agosto de 2023, la laguna presenta dimensiones notables, con una longitud máxima de 2,093 m y un ancho máximo de 494 m, abarcando una superficie total de 618,311 m². Su volumen de agua asciende a 17,864,016 m³ y su perímetro alcanza los 5,794 m¹⁰. En los últimos registros del año 2024 da como resultado un volumen de 19,179,571.77 m³¹¹.

2023



Nota: elaborada a partir de composiciones multitemporales derivadas de los datos de Landsat 4 -5, United States Geological Survey (USGS) y Copernicus Sentinel-2 (2017-2020), Agencia Espacial Europea (ESA) procesada por los autores.

10 INAIGEM. (2022a). *Reporte de inspección 02-2022: Laguna de Upisocha*.

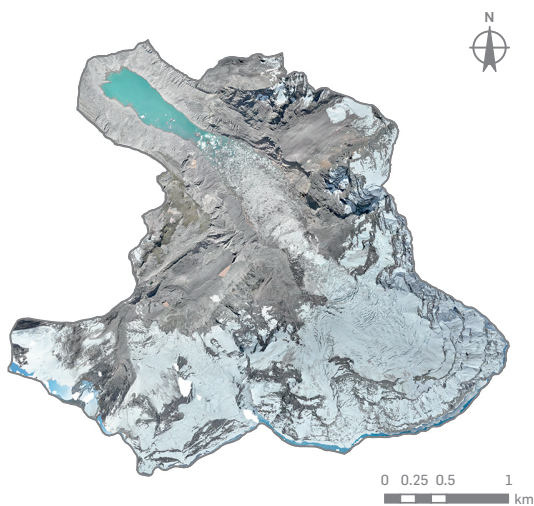
11 INAIGEM. (2024). *Informe Técnico de Batimetría Laguna Upisocha 2024*.

4. EVALUACIÓN MULTIDIMENSIONAL DEL PELIGRO: ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS, BATIMÉTRICOS Y DE SUPERFICIE

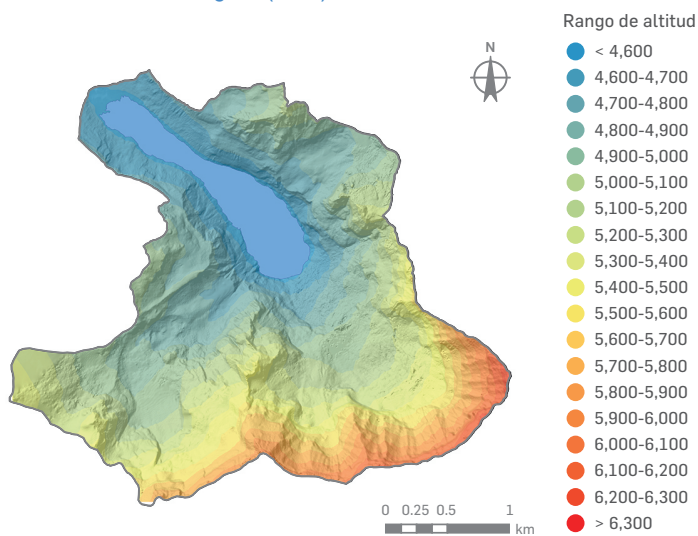
Para establecer con mayor precisión el nivel de peligro actual y futuro que representa la laguna sobre las poblaciones aguas abajo, el equipo técnico del INAIGEM viene desarrollando desde el 2020 una serie de mediciones *in situ* y el análisis en gabinete.

Figura 5. Análisis del relieve de la cuenca lacustre Upischocha mediante la aplicación de técnicas de fotogrametría aérea

Ortomosaico



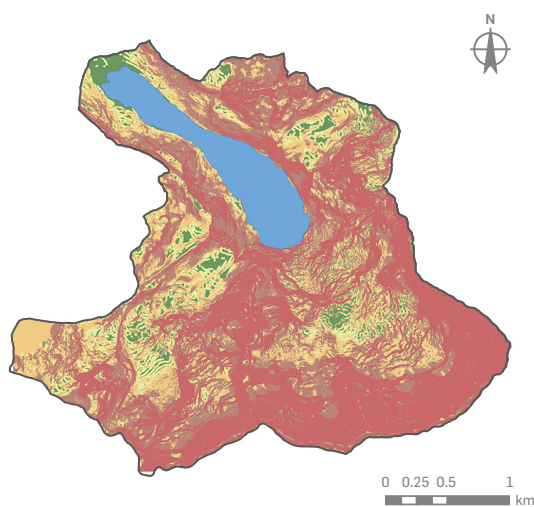
Modelo de Elevación Digital (DEM)



Topografía



Pendientes



Leyenda

○	Ámbito de estudio	—	Curva de nivel
●	Laguna	—	Maestra
		—	Secundaria

Leyenda

●	0°-10°	●	10°-20°	●	20°-30°
●	30°-45°	●	> 45°		

Nota: elaborado a partir de levantamiento cartográfico realizado en el periodo 2021-2023 mediante Levantamiento topográfico-geodésico convencional y Levantamiento fotogramétrico con UAV procesada por los autores.

TOPOGRAFÍA

Desde el año 2021 al 2024 se realizaron levantamientos topográficos de la laguna, circo glaciar y morrenas adyacentes, mediante el uso de drones y con la aplicación de técnicas de fotogrametría. Se obtuvieron, orto mosaicos, modelos de elevación digital del terreno y curvas de nivel cada 5 metros. El análisis topográfico reveló características críticas que influyen en el potencial peligro de desborde de la laguna Upiscocha. La laguna se encuentra a una altitud de 4547.25 m s.n.m. y se ubica al final de las líneas de flujo en la mayor parte de la red de drenajes de la cuenca, esto implica que el mayor porcentaje de caídas de roca, hielo o elementos

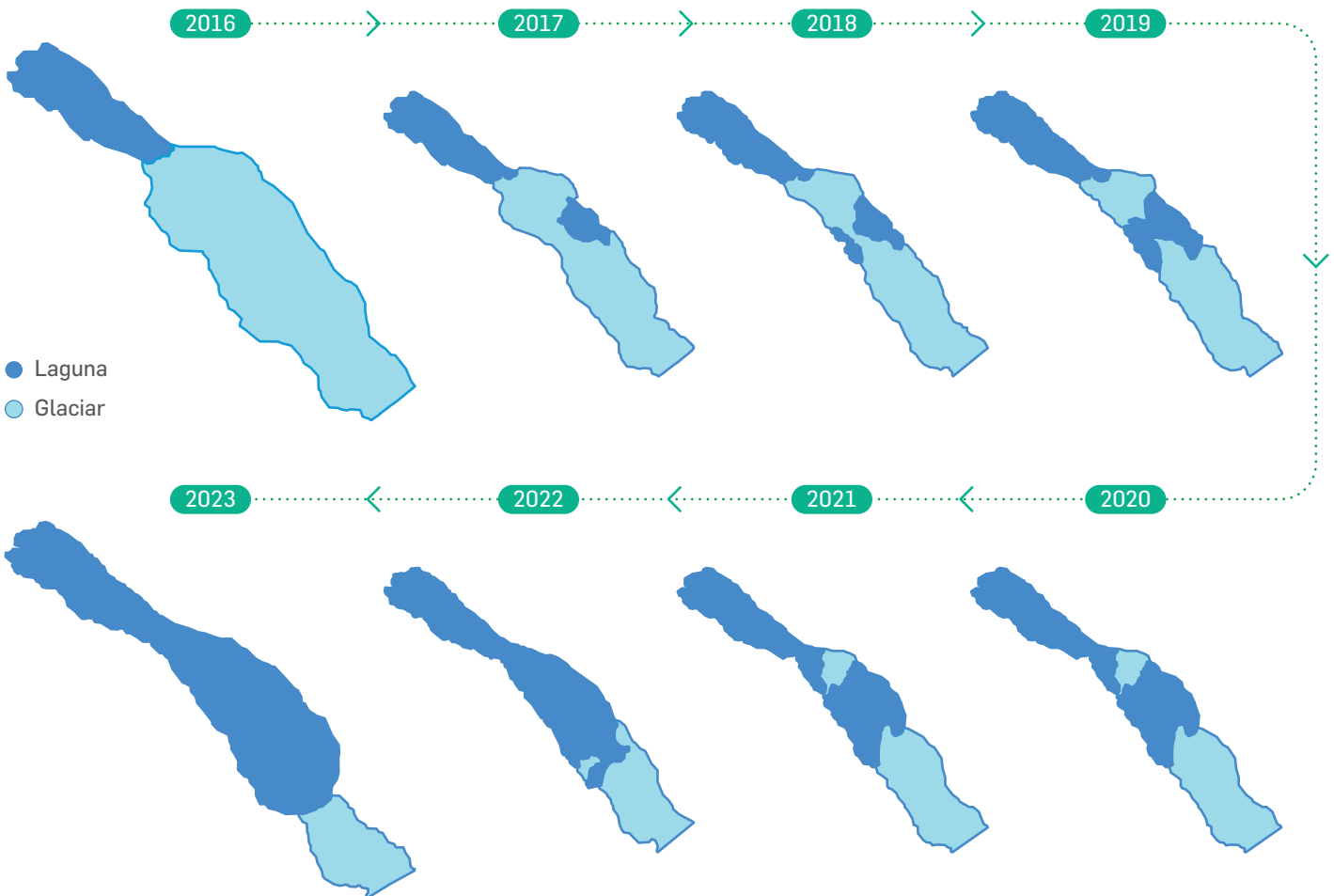
combinados impacten en la laguna, siendo el caso más extremo el impacto de un gran volumen proveniente desde las zonas más altas del nevado Ausangate. La cuenca lacustre abarca una superficie de aproximadamente 8.1 km², con una longitud máxima de 4171 m y un ancho máximo de 3705 m. Las pendientes circundantes son pronunciadas, con gradientes que superan los 45° en gran parte de la cuenca, especialmente en las paredes del circo glaciar y las morrenas que confinan la laguna. Estas pendientes pronunciadas incrementan el riesgo de deslizamientos y avalanchas que podrían impactar en la laguna.

VARIACIÓN DE LA SUPERFICIE

Para determinar los cambios en el espejo de agua desde el 2016 hasta la actualidad, se delimitó su contorno mediante el uso de imágenes satelitales históricas. Comparando las áreas de cada polígono delimita-

do, se calculó la tasa de crecimiento como pendiente de la curva de incremento porcentual con respecto al área inicial. Los resultados sobre la expansión de la superficie lacustre se exhiben en las Figuras 6 y 7.

Figura 6. Expansión de la superficie de la laguna Upiscocha en el periodo 2016-2023

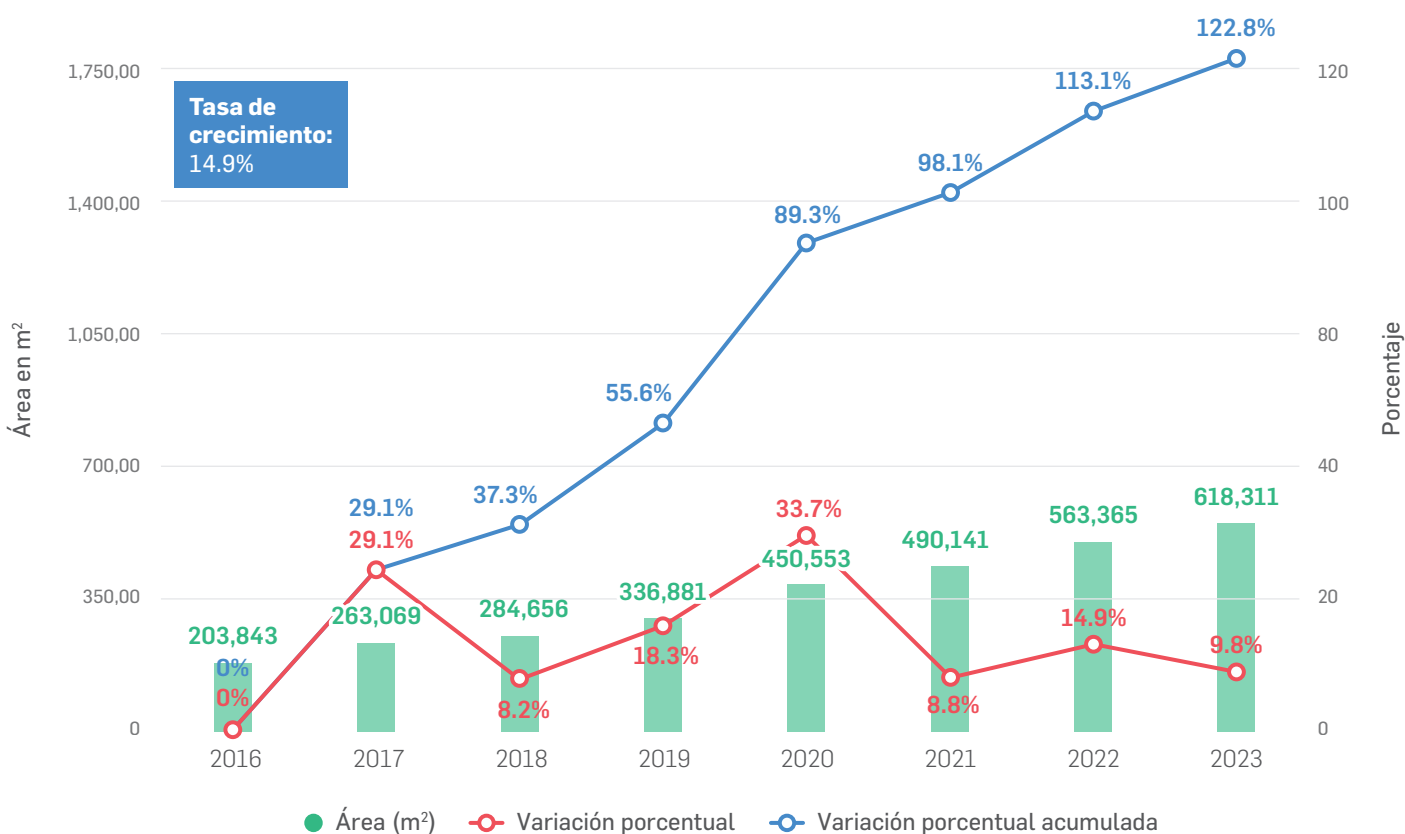


Nota: elaborado a partir de levantamiento cartográfico realizado en el periodo 2021-2023 mediante levantamiento topográfico-geodésico convencional y levantamiento fotogramétrico con UAV. Procesado por los autores.

Como se observa en estas figuras, la tasa de expansión superficial de la laguna para el periodo 2016-2023 es de 14.9%, que representa un crecimiento anual de 61.1 m²/año. Este crecimiento no es uniforme, se puede observar que en el periodo 2016-2020 se alcanzan picos de expansión del 33.7%, reduciéndose el ritmo de crecimiento en los dos años siguientes. Esta aceleración inicial y desaceleración reciente se debe al fuerte proceso de deglaciación inducido por el incremento de la temperatura.

Este aumento sostenido en el área de espejo de la laguna, implicó el incremento en la profundidad, lo que consecuentemente se tradujo en el incremento del volumen de agua almacenada, elevando la presión sobre las morrenas que actúan como diques naturales. La expansión lateral de la laguna, que ha alcanzado los límites rocosos del relieve montañoso, aumenta la interacción con las laderas inestables, incrementando la probabilidad de deslizamientos que podrían generar desbordes.

Figura 7. Variación del crecimiento multitemporal de la laguna Upischocha: (A) Variación del área anual, (B) Tasa de crecimiento anual, (C) Tasa de crecimiento acumulado (*)



(*) La tasa de crecimiento anual se estimó con la fórmula Tasa anual = ((Superficie año actual - Superficie año anterior) / Superficie año anterior) × 100. La tasa de crecimiento se estimó a partir de la siguiente fórmula: Tasa = (((Valor final / Valor inicial)^{1/n}) - 1) × 100, donde n es el periodo de años comprendidos en el análisis.

Nota: elaborado sobre la base de análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 4-5 (2016) y Sentinel-2 (2017-2023) procesada por los autores.

BATIMETRÍA

En los años 2021, 2023 y 2024, el INAIGEM desarrolló campañas de medición batimétrica de la laguna Upischocha. La técnica empleada para ello fue combinar levantamientos topográficos aerofotográficos y sondeos dentro de la laguna en diferentes zonas mediante una ecosonda de doble frecuencia.

La información de la batimetría ha permitido determinar las profundidades, esto facilitó el cálculo del volumen de agua contenido en la laguna, alcanzando un valor de 19,179,571.77 m³ al 18 de abril de 2024. Además, se ha logrado visualizar la forma del lecho de la laguna, revelando la presencia de dos cuerpos de agua

con diferencias significativas en cuanto a su morfología y profundidad. La cota del nivel del espejo de agua se estima en 4,547.25 m s.n.m., mientras que la cota de profundidad máxima se sitúa en 4,472.72 m s.n.m., generando así una diferencia de -74.5 m en la profundidad máxima¹². Para mayores detalles ver Figura 8.

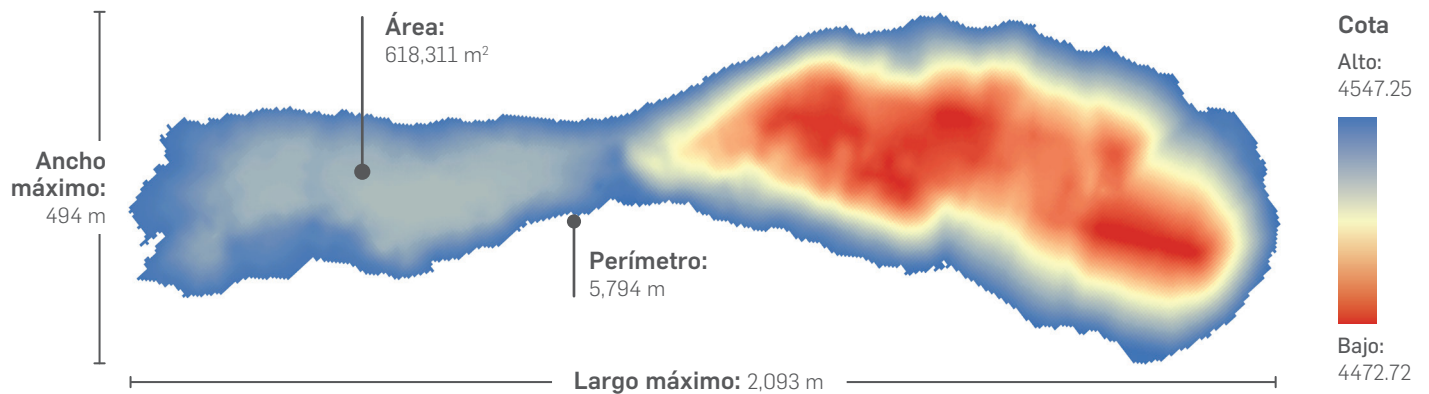
El análisis de la dinámica de crecimiento y la morfología del fondo de la laguna Upisocha revela cambios significativos en la forma del lecho, presumiblemente debido a los constantes deslizamientos y caídas de rocas, especialmente los ocurridos en mayo y agosto de 2022.

La morfología del vaso de la laguna, con dos cuerpos de agua de diferentes profundidades, incrementa la complejidad para el análisis del peligro. El cuerpo más profundo podría actuar como un reservorio de energía potencial, mientras que el menos profundo facilitaría la propagación rápida de olas de impacto.

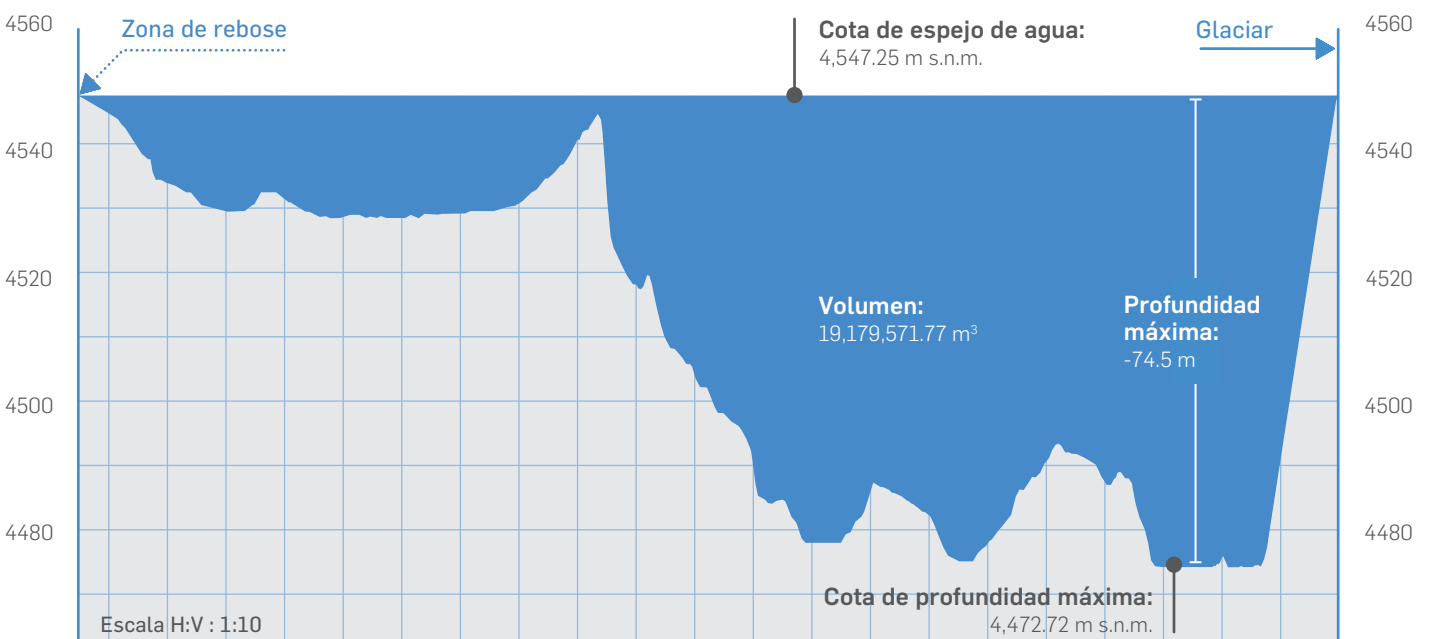
La desconexión entre el glaciar y la laguna incrementa la probabilidad de que avalanchas o deslizamientos de gran magnitud impacten directamente en el cuerpo de agua, potencialmente desplazando grandes volúmenes de agua y desencadenando un desborde.

Figura 8. Caracterización morfométrica de la laguna

VISTA EN PLANTA



PERFIL LONGITUDINAL



Nota: la vista en planta y el perfil batimétrico fueron elaborados mediante levantamiento morfobatimétrico integrado, combinando fotogrametría aérea con UAV para la superficie y mediciones batimétricas con ecosonda Hydrolite-DXF TM para el lecho subacuático. Levantamientos realizados 2021, 2023 y 2024. Procesado por los autores.

5. ZONAS INESTABLES

Las condiciones geológicas y la alta dinámica geomorfológica en la cuenca de la laguna Upischocha han generado puntos críticos para el desprendimiento de bloques de roca, hielo y material suelto. Por su ubicación y la elevada pendiente de las laderas, estos bloques desprendidos tienen como trayectoria directa el espejo de agua de la laguna.

Mediante el uso de drones desde los años 2023 y 2024, se realizó la identificación de zonas potenciales a deslizamientos, avalanchas de hielo y caída de roca, que puedan impactar en Upischocha y derivar en flujos de alta velocidad pendiente abajo. También se detectaron rocas fracturadas con orientación favorable de fisuras y alta probabilidad de entrar en movimiento. Todos estos materiales tendrían como destino final la laguna.

A partir de estos trabajos de campo y gabinete, inicialmente se identificaron quince zonas críticas (ver Tabla 1 y Figura 9). De ellos, cuatro corresponden a deslizamientos de suelo, cinco son caídas o avalanchas de roca y seis son zonas propensas a avalanchas de hielo¹³.

Figura 9. Mapeo de zonas críticas

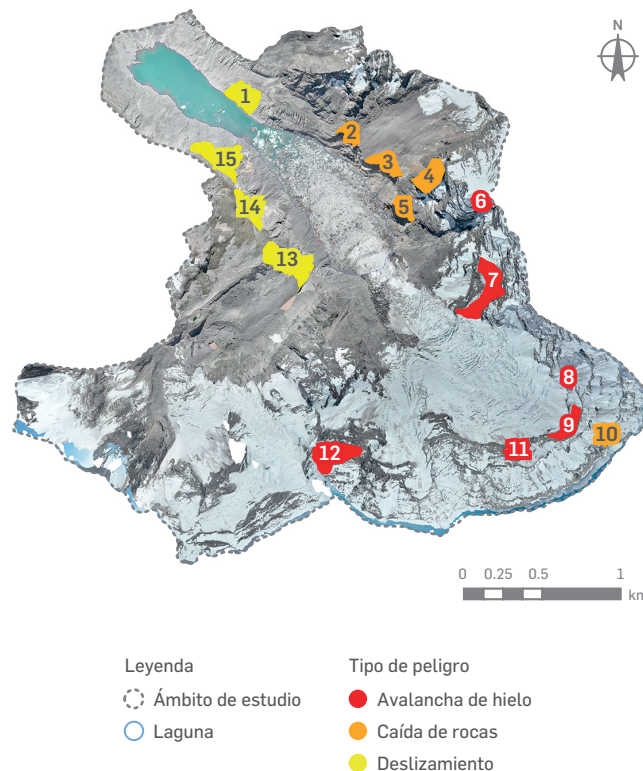


Tabla 1. Parámetros morfométricos y volumétricos de zonas críticas, Laguna Upischocha

Bloque	Tipo	Cota min	Cota max	Altura max (m)	Superficie (m ²)	Espesor (m)	Volumen estimado (m ³)	Volumen asumido (m ³)
1	Suelo/morrena	4600	4680	80	29,150	10	145,750	150,000
2	Roca	4750	4805	205	9,098	50	227,450	250,000
3	Roca	4760	4790	190	17,755	40	355,100	350,000
4	Roca	4890	5130	530	27,528	30	412,920	400,000
5	Roca	4785	4815	215	10,304	30	154,560	150,000
6	Hielo	5135	5230	630	11,527	40	230,540	250,000
7	Hielo	5020	5300	700	45,666	20	456,666	500,000
8	Hielo	5500	5600	1000	7,000	40	140,000	150,000
9	Hielo	5500	5600	1000	17,201	50	430,025	450,000
10	Roca	5970	6075	1475	1,146	105	80,220	100,000
11	Hielo	5485	5560	960	11,256	40	225,120	250,000
12	Hielo	5480	5760	1160	38,077	40	761,540	750,000
13	Suelo/morrena	4645	4890	290	49,318	20	493,180	500,000
14	Suelo/morrena	4670	4820	220	27,060	10	135,300	150,000
15	Suelo/morrena	4650	4785	185	39,320	25	491,500	500,000

Nota: datos obtenidos mediante reconocimiento geológico-geomorfológico en campo y levantamiento aerofotogramétrico con AV, 2023 procesado por los autores.

13 INAIGEM. (2023b). *Identificación de zonas potencialmente peligrosas-laguna Upischocha*. (Informe Técnico N° 002-2023). Cusco.

6. REGISTRO HISTÓRICO DE DESBORDES DE LA LAGUNA

El crecimiento continuo de la laguna Upiscocha, junto con la dinámica glaciar del entorno, ha generado una creciente preocupación, exacerbada por eventos de desborde que han afectado a poblaciones aguas abajo.

Esta laguna tiene múltiples sucesos de desborde con magnitudes desapercibidas, eventos que solo llegaron a incrementar el caudal del río a causa de una precipitación intensa, los sucesos que han motivado alarma en la población han sido aquellos que ocasionaron la afectación fuera del cauce principal, como el ocurrido a finales de la década de 1990 y mediados de la década del año 2000, ocasionado la erosión profunda del cauce en el sector bajo del bofedal Upismayo.

El 14 de mayo de 2022 se produjo un deslizamiento de aproximadamente dos millones de metros cúbicos de material rocoso en la zona posterior del flanco derecho de la cubeta lacustre. Este deslizamiento impactó directamente en la laguna, causando un incremento súbito en su nivel y generando un oleaje que sobrepasó la cota de la corona del dique en aproximadamente dos metros de altura¹⁴.

Las causas de este deslizamiento se atribuyen a factores geológicos y ambientales, incluyendo el intemperismo de los materiales rocosos, la presencia de vertientes pronunciadas modeladas por la erosión glaciar, la infiltración de agua, la presencia de fallas, fracturas y diaclasas en el nevado Ausangate.

Posteriormente, según el Segundo Reporte de Inspección de laguna Upiscocha¹⁵, el 9 de agosto ocurrió otro desborde de la laguna (ver figura 10), originado en el sector posterior del flanco derecho (ver figura 11). Este evento generó un incremento súbito en el caudal del río Upismayo, causando erosión en el talud exterior del dique natural.

Estos eventos de desborde ocasionado por desprendimientos de rocas han generado cambios significativos en la morfología del terreno, afectando la estabilidad de la laguna y el cauce del río, al mismo tiempo representan un peligro potencial para las comunidades circundantes y evidencian la necesidad de una gestión adecuada del riesgo de desastres asociados a glaciares.



Figura 10.

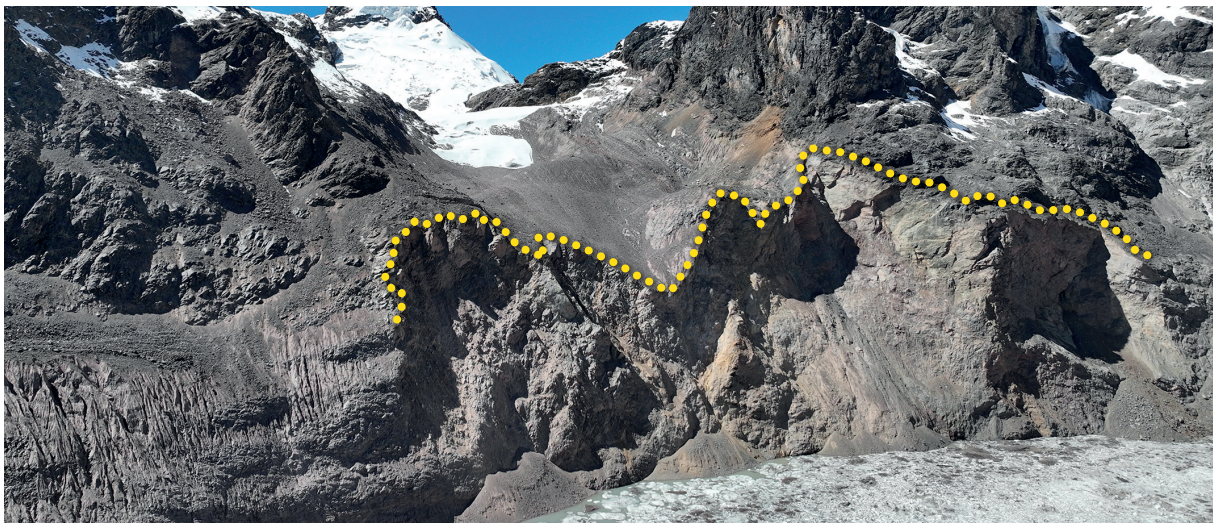
Desborde del 9 de agosto de 2022

Nota: elaborado a partir del registro de campo, 2022. Procesado por los autores.

14 INAIGEM. (2022a). *Reporte de inspección: Caso desborde de la laguna de Upiscocha del día 14 de mayo*. Cusco.

15 INAIGEM. (2022b). *Reporte de inspección 02-2022: Laguna de Upiscocha*. Cusco.

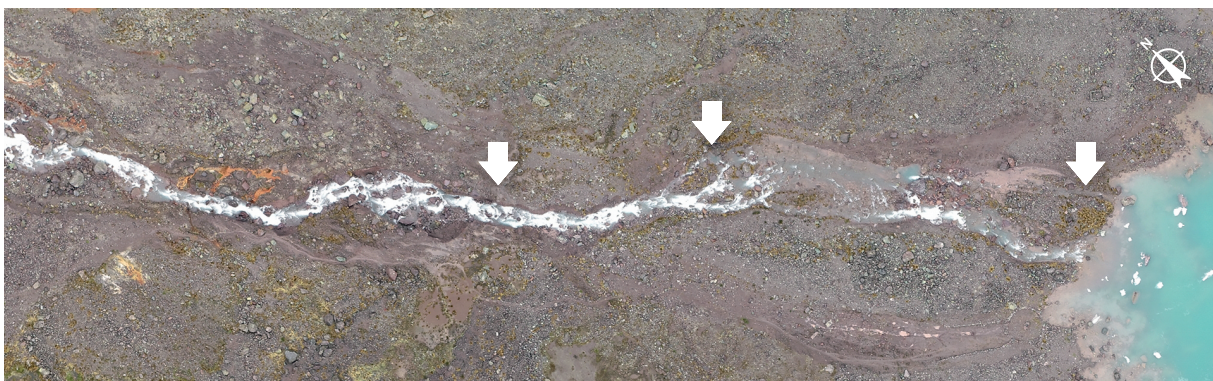
Figura 11. Zona de deslizamiento en el flanco derecho



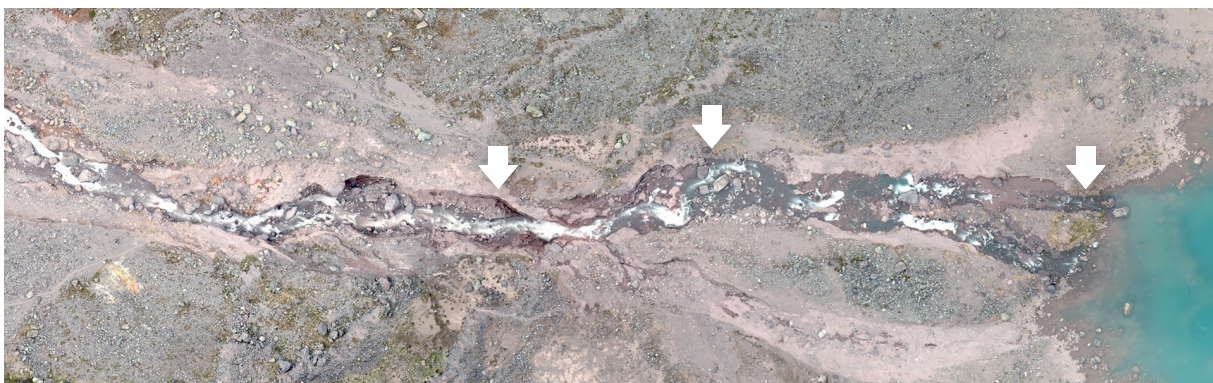
10 de agosto de 2022

Nota: elaborado a partir del registro de campo. 2022. Procesado por los autores.

Figura 12. Erosión en el talud exterior del dique natural de la laguna



19 de octubre de 2021



15 de mayo de 2022



10 de agosto de 2022

Nota: elaborado a partir del registro de campo. 2022. Procesado por los autores.

7. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN DE PELIGRO DE LA LAGUNA

En función a las características hidrológicas, geológicas y las zonas identificadas de potencial desprendimiento de hielo, rocas y material suelto alrededor de la laguna Upiscocha, es posible definir diversos escenarios de peligro que tendrían efectos directos en las poblaciones aguas abajo.

El escenario más crítico implicaría el colapso del bloque 10 (ver Figura 9), ubicado en la cota 6,075 m s.n.m. del nevado Ausangate, con un volumen estimado de 100,000 m³. Por su localización podría caer directamente a la laguna, arrastrando también al bloque 9 en su trayectoria con un volumen de 450,000 m³, sumando así un volumen total de deslizamiento de 550,000 m³.

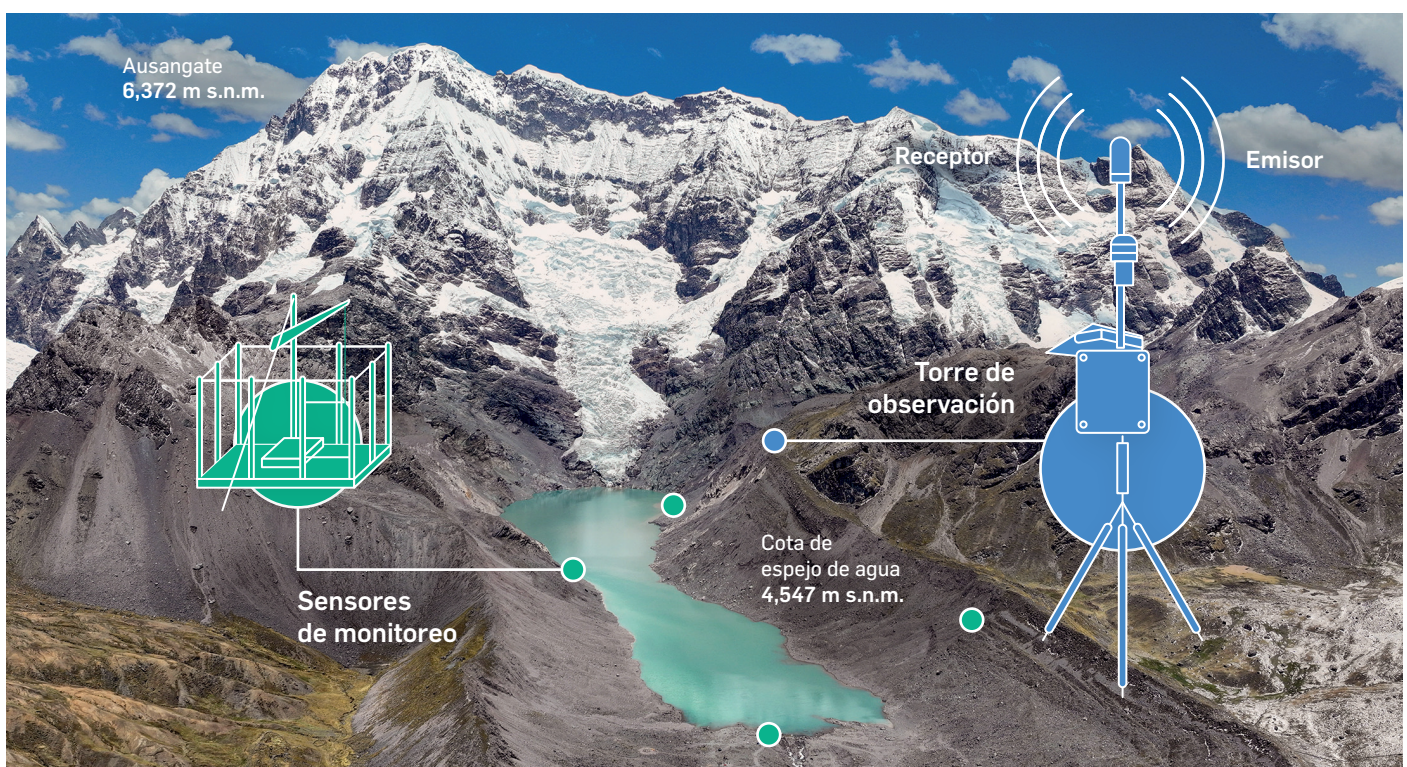
8. MONITOREO

El INAIGEM con la finalidad de aportar más datos para la toma de decisiones, en relación a la dinámica cambiante en el entorno de la laguna Upiscocha, plantea la instalación de una estación multipropósito que permita el monitoreo en tiempo real con un sistema de sensores sísmicos, ondas acústicas y detección de movimientos de masa.

Instalar una estación multipropósito representa un avance significativo en el monitoreo de los peligros asociados a la dinámica glaciar.

El monitoreo en tiempo real permitirá obtener datos instantáneos de la cantidad, magnitud e intensidad de los deslizamientos, caídas de roca y avalanchas de hielo, así como el registro del incremento del nivel de espejo y las oscilaciones ocurridas dentro de la laguna, información que será validada por capturas de imágenes y transmisión de video. Es importante señalar que este sistema funciona como un complemento al Sistema de Alerta Temprana, no como su reemplazo.

Figura 13. Esquema del sistema de monitoreo en tiempo real



Por otro lado, la acumulación de datos de múltiples permitirá el desarrollo de modelos más precisos para predecir comportamientos y tendencias en la geodinámica de ámbitos glaciares y periglaciares, así como la

comprensión holística del sistema, optimizar recursos económicos y generar una base científica robusta para la correcta toma de decisiones.

9. RECOMENDACIONES

La gestión de los riesgos asociados a las lagunas glaciares requiere un enfoque integral que combine diversas estrategias, por lo que se recomienda:



Elaboración de un Plan de Emergencia que considere un evento extremo de desborde, identificando a los posibles afectados y proporcionándoles información sobre medidas de evacuación y escape.



Implementación de un sistema de monitoreo robusto y continuo, utilizando tecnologías avanzadas como sensores **in situ**, imágenes satelitales y drones para el seguimiento en tiempo real de niveles de agua, estabilidad de laderas y condiciones meteorológicas.



Establecer la cota de seguridad y abordar la disminución del nivel de agua en la laguna mediante soluciones de ingeniería, como la construcción de diques para contención de oleajes, técnicas de tajo abierto, o la construcción de un túnel de desagüe controlado. Estas alternativas deben basarse en estudios detallados de la geofísica del terreno, modelamiento hidrodinámico y consideraciones socioculturales.



Implementación de un sistema de alerta temprana que integren datos de monitoreo continuo con modelos predictivos avanzados.



Planificación del uso del suelo en áreas circundantes, estableciendo zonas de amortiguamiento y regulando el desarrollo en áreas de alto riesgo.



Inclusión de la cooperación internacional en la generación e intercambio de conocimientos, participando en programas de investigación globales sobre cambio climático y riesgos glaciares.

