

INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA UNIDAD  
HIDROGRÁFICA CASCA – LLACA PARA  
IDENTIFICAR EL **IMPACTO DEL DRENAJE  
ÁCIDO DE ROCA** A CAUSA DEL ALUVIÓN  
OCURRIDO EL 28 DE ABRIL, 2025



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



**INAIGEM**

INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

# INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA CASCA – LLACA PARA IDENTIFICAR EL IMPACTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA A CAUSA DEL ALUVIÓN OCURRIDO EL 28 DE ABRIL, 2025

Informe técnico extraordinario N° 001-2025-INAIGEM-DIEM-SDRACCEM

Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

**Presidente Ejecutivo (e)**

Hernando Tavera

**Director Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña**

Francisco Medina

**Elaborado por:**

Yeidy Montano

José Herrera

Frank Santiago

Junior Figueroa

Lucero López

**Revisado por:**

Mirtha Camacho

**Aprobado por:**

Francisco Medina

**Diagramación:**

Joan Ramírez

**Editado por:**

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)

Sede central: Av. Centenario 2656 - Sector Palmira, Independencia, Huaraz - Áncash - Perú

Teléfono: (043) 64 3460

Primera edición digital - Diciembre 2025

Depósito legal del libro N° 2026-00189

Citar la publicación de la siguiente manera:

INAIGEM (2025). Inspección técnica de la unidad hidrográfica Casca – Llaca para identificar el impacto del drenaje ácido de roca a causa del aluvión ocurrido el 28 de abril, 2025 (Informe técnico). Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña - Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM), Huaraz, Perú.

# CONTENIDO

---

<b>RESUMEN</b>	<b>5</b>
1. <b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
1.1. <b>Objetivos</b>	<b>8</b>
1.2. <b>Área del estudio</b>	<b>9</b>
1.3. <b>Antecedentes</b>	<b>9</b>
2. <b>INSPECCIÓN EN CAMPO</b>	<b>17</b>
2.1. <b>Metodología</b>	<b>18</b>
2.2. <b>Visita realizada el 19 de septiembre de 2025</b>	<b>19</b>
2.3. <b>Visita realizada el 2 de octubre de 2025</b>	<b>20</b>
3. <b>RESULTADOS</b>	<b>24</b>
3.1. <b>Estado geológico</b>	<b>21</b>
3.2. <b>Resultados en los parámetros fisicoquímicos             medidos en campo</b>	<b>25</b>
4. <b>CONCLUSIONES</b>	<b>27</b>
5. <b>RECOMENDACIONES</b>	<b>35</b>
6. <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>37</b>
ANEXO 1. <b>Conceptos claves</b>	<b>38</b>
ANEXO 2. <b>Fichas de campo</b>	<b>40</b>
ANEXO 3. <b>Resultados de laboratorio del análisis de metales en las muestras de agua para los puntos LLAC-AG-01 y LLAC-AG-02</b>	<b>42</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Imagen de la parte superior y puntos del monitoreo de la trayectoria inicial del GLOF visitado el 19/09/2025	26
Figura 2. Mapa de la zona de impacto (depósito del GLOF) y puntos de monitoreo ubicados a lo largo de la quebrada de Llaca y parte inferior del río Casca visitado el 02/10/2025	27
Figura 3. Flujograma del trabajo	28
Figura 4. Ubicación de los puntos evaluados en la inspección técnica de campo del 19/09/2025	30
Figura 5. a) Flujo de agua originado en el glaciar Vallunaraju que atraviesa el sustrato rocoso expuesto. b) Sector del curso de agua donde se realizó la medición de los parámetros fisicoquímicos	42
Figura 6. a) Sitio de evaluación de la calidad del agua. b) Vista panorámica del curso de agua hasta su descarga en la laguna donde se destaca la coloración anaranjada del cauce.	26
Figura 7. a) Punto de evaluación de la calidad del agua. b) Imagen general del trayecto del afluente hasta su descarga en la laguna, resaltando la intensa tonalidad rojiza del lecho del curso de agua.	27
Figura 8. Sitio de evaluación de la calidad del agua en la margen derecha de la laguna	28
Figura 9. Sitio de evaluación de la quebrada antes de la confluencia con el río Casca	30
Figura 10. Sitio de evaluación en el punto de descarga de la laguna. a) Lecho fluvial con tonalidad anaranjada. b) Vista panorámica del sitio	42
Figura 11. Ubicación de los puntos evaluados en la inspección técnica de campo del 02/10/2025	26
Figura 12. Descarga de la laguna formada tras el aluvión. a) Parte alta de la descarga del agua. b) Parte baja de la descarga que se ubica sobre la carretera Huaraz-Llaca	27
Figura 13. Represa natural temporal del agua. a) Coloración parcial de la represa natural provisional formada después del evento.	

b) Sitio de evaluación de la calidad del agua, donde confluye el río principal y la descarga del punto LLAC-02	28
Figura 14. Cauce del río principal. a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal y donde se midió el caudal.	
b) Punto de evaluación de la calidad del agua.	30
Figura 15. Cauce del río principal, descarga de la laguna Llaca.	
a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal.	
b) Punto de evaluación de la calidad del agua con parámetros de campo	42
Figura 16. Cauce del río principal, cerca del puente destruido.	
a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal.	
b) Punto de evaluación de la calidad del agua con parámetros de campo.	26
Figura 17. Cauce del río principal, punto de muestreo de agua.	
a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal y evaluación de la calidad de agua con parámetros fisicoquímicas.	
b) Punto de extracción de muestra de agua	27
Figura 18. Unidades geológicas aflorantes alrededor de la laguna B y al pie del glaciar Vallunaraju	28
Figura 19. Afloramiento de lutitas negras de la Formación Sapotal, caracterizadas por la presencia de piritita diseminada	30
Figura 20. Afloramiento de granodioritas y tonalitas del Batolito de la cordillera Blanca, que presentan halos de oxidación superficial	42
Figura 21. Flujos de detritos generados a partir de los afloramientos sulfurosos de la Formación Sapotal, los cuales se acumulan en la laguna B y favorecen la generación de drenaje ácido de roca mediante el transporte de material sulfurado	30
Figura 22. (A) Generación de drenaje ácido de roca producto de la oxidación de piritita presente en areniscas y lutitas de la Formación Sapotal. (B) Flujos de drenaje ácido de roca transportados pendiente abajo y descargados hacia la laguna B	42
Figura 23. (A) Descarga de la laguna B caracterizada por un pH	

de 3.2 y tonalidades anaranjadas asociadas a la suspensión de detritos finos y partículas de material sulfurado oxidado.	
(B) Acumulación de flujos de detritos ricos en sulfuros y óxidos de hierro, conformando un cono aluvial que se deposita en la represa natural temporal	26
Figura 24. Sedimentación de fragmentos de roca con pirita diseminada proveniente de los flujos de detritos y acumulación de flujos de agua acidificada proveniente de la descarga de la laguna B	27
Figura 25. Mapa de ubicación satelital que muestra la ubicación de la laguna B, el transporte de los flujos de detritos y la formación de la represa natural temporal	28
Figura 26. Resultados de las mediciones de pH en el agua (19.09.2025)	30
Figura 27. Resultados de las mediciones de conductividad eléctrica en el agua (19.09.2025)	42
Figura 28. Resultados del análisis de metales del agua en el punto LLAC-AG-01 (19.09.2025)	27
Figura 29. Resultados de las mediciones de pH en el agua (02.10.2025)	28
Figura 30. Resultados de las mediciones de conductividad eléctrica en el agua (02.10.2025)	30
Figura 31. Resultados del análisis de metales del agua en el punto LLAC-AG-02 (02.10.2025)	42

## RESUMEN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem), emite el presente informe para dar a conocer los hallazgos de las inspecciones realizadas el 19 de octubre y el 2 de noviembre de 2025, en la unidad hidrográfica (UH) Casca-Llaca, ubicada en la cordillera Blanca, distrito Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash. Estas inspecciones se realizaron a raíz del aluvión (GLOF) del 28 de abril de 2025, con el objetivo de evaluar las condiciones ambientales de la unidad hidrográfica Casca-Llaca y de identificar la posible presencia y desarrollo de procesos de drenaje ácido de roca (DAR), en la zona impactada por el aluvión mediante inspecciones de campo y análisis de laboratorio.

El aluvión expuso material geológico rico en sulfuros (pirita), lo que desencadenó un proceso activo de DAR. Se confirma una fuerte acidificación del agua, con valores de pH tan bajos como 3.27. Se detectó contaminación por metales pesados, con altas concentraciones de aluminio, hierro, manganeso y zinc que exceden los límites máximos permitidos en el ECA para la conservación de la vida acuática y pudiera tener el potencial de afectar la salud de las personas. Esto último deberá corroborarlo las instituciones competentes en el tema de salud pública.

Adicionalmente se identificó una represa natural temporal en el río Casca, la cual representa un peligro potencial de colapso y liberación súbita de aguas con pH ácido y presencia de metales.

Como efecto del reciente aluvión, se ha exacerbado la exposición de compuestos sulfurados asociados a metales al intemperismo y se irá agravando a medida que se incrementen las lluvias, por el cono de detritos que se ha formado, lo que debe ser atendido con carácter de emergencia por parte de las autoridades e instituciones competentes.

Entre las recomendaciones más resaltantes que se plantean están:

1. Debe organizarse una intervención planificada multisectorial urgente, con la integración de un equipo técnico que incluya acciones como, implementar un sistema integrado de monitoreo ambiental y mapeo detallado de los focos de DAR, que combine mediciones periódicas de parámetros fisicoquímicos críticos, con tecnologías accesibles y de bajo costo. Este sistema debe articularse con la participación activa de autoridades locales, regionales, comunidades y actores claves, fortaleciendo la vigilancia comunitaria y la gestión descentralizada de la calidad del agua.
2. Implementar un sistema de bancos de contención para la estabilización de taludes, controlar la erosión, reducir la energía de escorrentía y disminuir la generación y el transporte de drenaje ácido de roca. Igualmente, deben diseñarse e implementarse medidas de mitigación como el sellado/encapsulamiento de las zonas expuestas y la neutralización de las aguas ácidas mediante sistemas de tratamiento.

Este informe técnico está dirigido a las autoridades, tanto locales como regionales de Áncash, así como autoridades nacionales competentes en la materia de gestión de riesgo de desastres y calidad ambiental para la toma de decisiones en favor de la seguridad hídrica y bienestar de las personas.

# 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem) es la máxima autoridad científica y técnica en glaciares y ecosistemas de montaña, y como parte de sus funciones, fomenta y expande la investigación científica y tecnológica en el ámbito de los ecosistemas de montaña, para promover una gestión sostenible que beneficie a las poblaciones que viven en dichos ecosistemas, o se beneficien de los servicios que estos ofrecen.

La Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM), órgano de línea del Inaigem, tiene entre sus funciones, promover el conocimiento, la recuperación, la validación, la innovación, la réplica de las tecnologías y las prácticas tradicionales de conservación para la gestión de ecosistemas de montaña, así como desarrollar investigaciones científicas sobre los riesgos asociados al cambio climático y sus impactos en los sistemas naturales y sociales.

En ese contexto, la DIEM ha venido identificando sitios con presencia de drenaje ácido de roca (DAR) de origen natural. Este fenómeno geoquímico ocurre cuando los minerales sulfurosos expuestos al oxígeno y al agua reaccionan liberando iones metálicos y ácido sulfúrico, lo que genera altos niveles de acidez y presencia de metales disueltos en los cuerpos de agua (Crisanto-Rojas & Iannacone, 2023). Dicho proceso puede alterar significativamente la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos asociados.

Entre los años 2016 y 2019, el Inaigem evaluó la unidad hidrográfica Casca–Llaca, sin haberse registrado evidencia de drenaje ácido de roca; hasta marzo de 2019, las aguas monitoreadas presentaban valores neutros de pH y ausencia de metales disueltos. Sin embargo, tras el aluvión ocurrido el 28 de abril de 2025, se observó un cambio notable en las condiciones del área del evento, con la exposición de materiales geológicos ricos en sulfuros, lo que generó la necesidad de verificar la posible aparición de procesos de DAR en la zona impactada.

En ese marco, el presente informe de inspección técnica presenta los resultados de las visitas de campo realizadas los días 19 de septiembre y 2 de octubre de 2025 en la unidad hidrográfica Casca–Llaca, ubicada en el distrito Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash.

La inspección tuvo como finalidad identificar la presencia del drenaje ácido de roca en el área afectada por el aluvión. Asimismo, se incluyen los resultados de los parámetros fisicoquímicos de agua medidos en campo (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y caudal), junto con las observaciones geológicas sobre la dispersión de material sulfurado. Finalmente, se presentan recomendaciones técnicas orientadas a contener la propagación del material removido y disminuir los impactos en la calidad de las aguas superficiales de la cuenca.

## 1.1. OBJETIVOS

### ▪ **Objetivo general**

Evaluar las condiciones ambientales de la unidad hidrográfica Casca–Llaca, con el fin de identificar la posible presencia y desarrollo de procesos de drenaje ácido de roca (DAR) en la zona impactada por el aluvión del 28 de abril de 2025, mediante inspecciones de campo y análisis de laboratorio.

### ▪ **Objetivos específicos**

1. Reconocer las características geológicas, mineralógicas y ambientales del área afectada por el aluvión del 28 de abril de 2025.

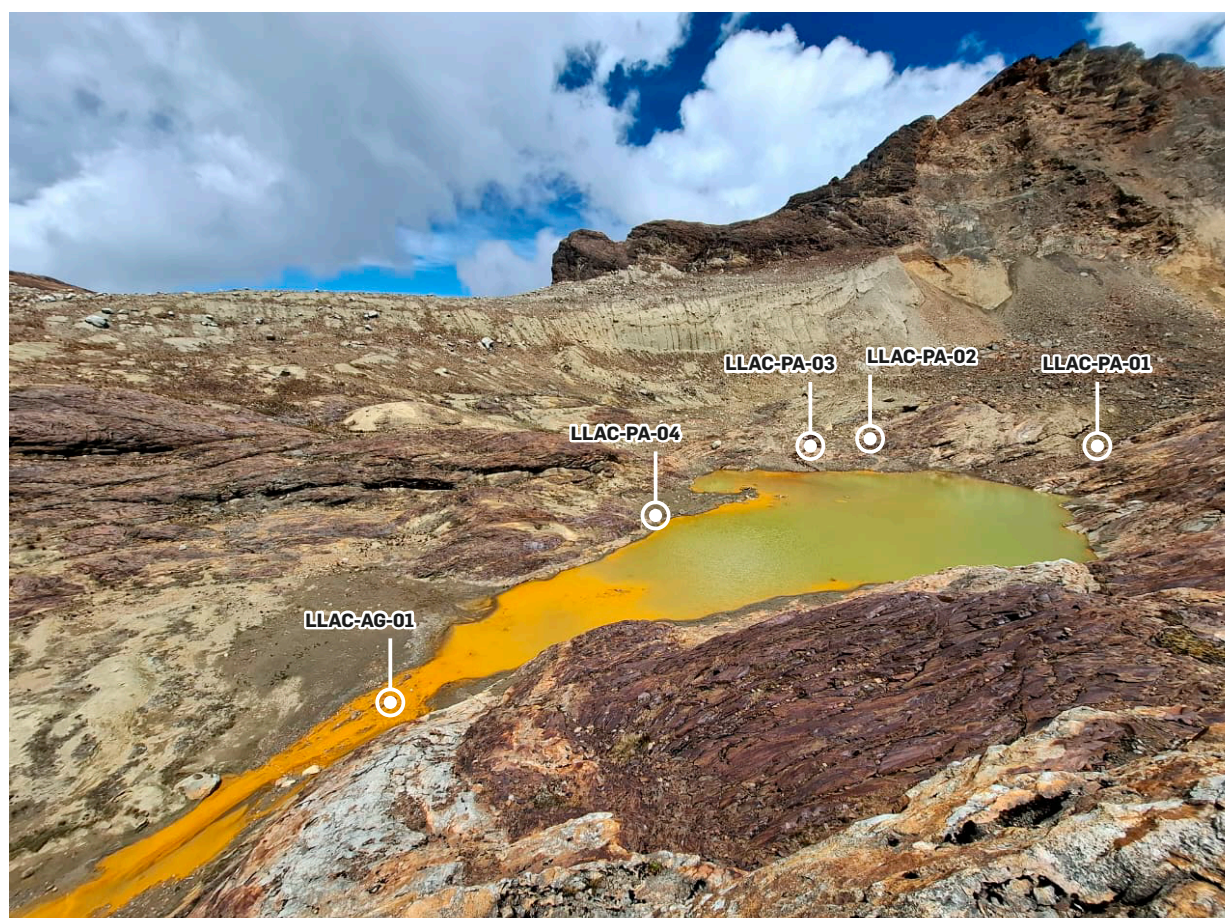
2. Describir los impactos visibles asociados al evento aluvional, tales como, exposición de materiales sulfurosos, alteración del cauce, deposición de sedimentos y cambios en el color o transparencia del agua.
3. Conocer parámetros fisicoquímicos del agua in situ (pH, conductividad eléctrica, temperatura, potencial de óxido-reducción, entre otros) en diferentes puntos de la unidad hidrográfica, a fin de evaluar indicios de acidificación o contaminación metálica.
4. Comparar los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del agua con valores de referencia o rangos esperados, en diferentes puntos de la unidad hidrográfica, a fin de evaluar indicios de acidificación.
5. Proponer conclusiones y recomendaciones técnicas orientadas a la gestión, monitoreo y mitigación del proceso de generación drenaje ácido de roca en la zona evaluada.

## 1.2. ÁREA DEL ESTUDIO

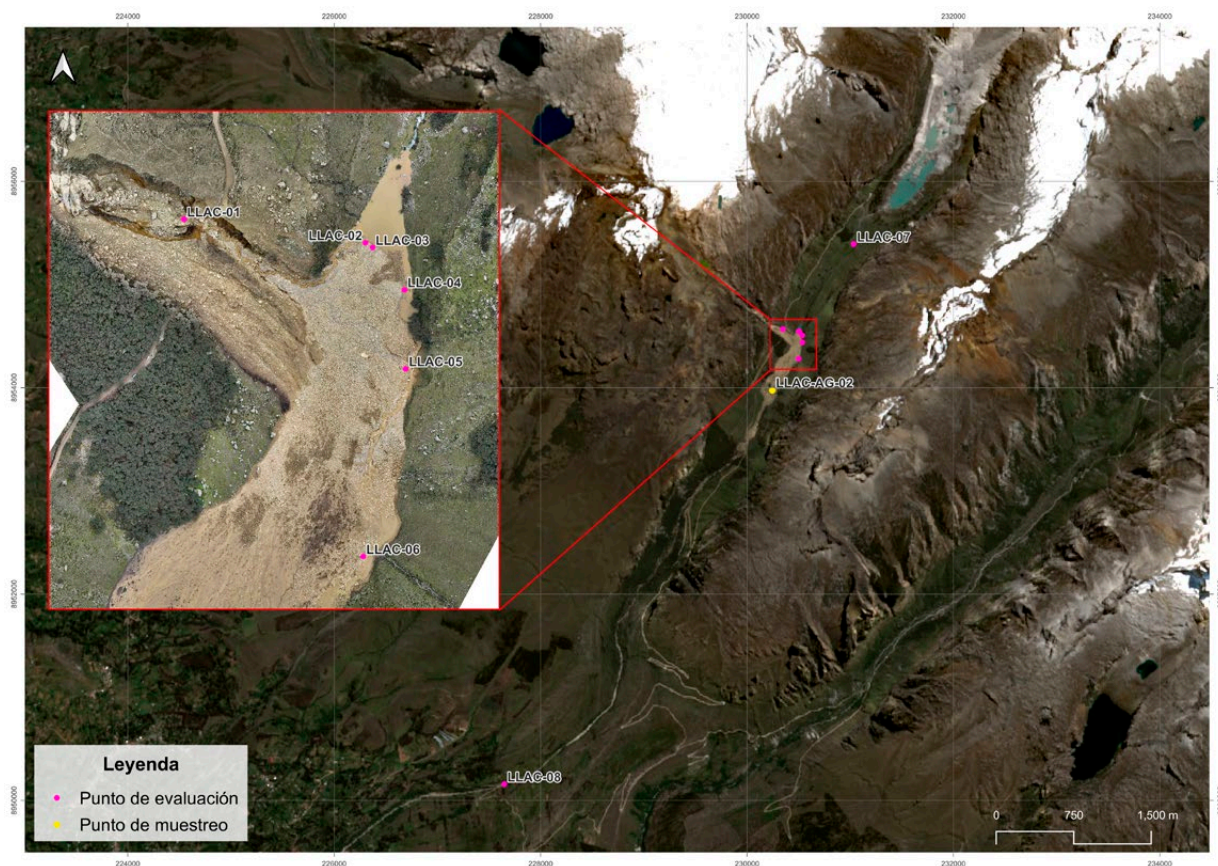
La zona de inspección fue el área afectada por el GLOF ocurrido el 28 de abril de 2025, cuyo origen se localizó en las lagunas ubicadas alrededor del glaciar Vallunaraju en la cordillera Blanca.

La ubicación política corresponde al distrito de Independencia, provincia de Huaraz, del departamento de Áncash.

Las inspecciones se realizaron para documentar y analizar los efectos de este evento vinculados a la presencia de drenaje ácido de roca (ver figura 1 y figura 2).



**Figura 1. Imagen de la parte superior y puntos del monitoreo de la trayectoria inicial del GLOF visitado el 19/09/2025**



**Figura 2. Mapa de la zona de impacto (depósito del GLOF) y puntos de monitoreo ubicados a lo largo de la quebrada de Llaca y parte inferior del río Casca visitado el 02/10/2025**

### 1.3. ANTECEDENTES

El desborde súbito de laguna glaciar (GLOF) es un proceso común en el ambiente glaciar desde el final de la Pequeña Edad de Hielo. Durante el año 2025, la cordillera Blanca ha registrado dos (2) eventos GLOF en la UH Casca-Llaca. El primero ocurrió el 26 de marzo y el segundo el 28 de abril, que corresponden a las lagunas denominadas A y B, que se ubican al sur del nevado Vallunaraju.

El evento ocurrido el 26 de marzo del 2025 se originó por un desborde súbito de baja magnitud de las lagunas A y B, debido al movimiento en masa del material detrítico debido a las precipitaciones de la temporada de lluvias y el aporte de agua del nevado Vallunaraju, lo que provocó la desestabilización de la laguna A, que terminó por verter sus aguas hacia la laguna B; esta última se desbordó originando un aluvión disipado hacia la quebrada Casca-Llaca, siendo su principal daño la destrucción de un tramo de 20 metros de la carretera Huaraz- laguna Llaca.

Posteriormente, el 28 de abril del 2025, ocurrió el segundo desborde súbito, esta vez de gran magnitud, de las mismas lagunas A y B. En esta ocasión el suceso fue desencadenado por el derrumbe de un macizo rocoso intensamente fracturado y meteorizado, que pertenece a la roca sedimentaria de la Formación Chicama, que se localiza en ladera derecha de la laguna A. Sumado a ello las condiciones meteorológicas previas como el incremento de las lluvias intensas, facilitó el desprendimiento rocoso.

El volumen del derrumbe que impactó la laguna A fue de 400,000 m<sup>3</sup>, esto originó que esta laguna se desplace por completo, generando su desaparición total al impactar sobre la laguna B (esta no poseía borde libre). Se generó un flujo de detritos de gran energía que afectó gravemente el fondo del valle de Llaca, siendo el impacto esta vez de 100 metros de la carretera Huaraz-Llaca. Esto generó un cono proluvial/aluvial que originó el represamiento temporal del cauce natural del río Casca. El entorno se ha identificado como una zona crítica debido a su alta susceptibilidad de derrumbes, que actualmente representa un peligro en el sector.

## 2. INSPECCIÓN EN CAMPO

### 2.1. METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló siguiendo el presente flujograma:



Figura 3. Flujograma del trabajo

El trabajo previo a la fase de campo se realizó mediante el uso de imágenes que corresponden al evento del 28 de abril de 2025 proporcionado por la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG) del INAIIGEM.

Para el trabajo en campo se utilizó un multiparámetro Hanna para medir los parámetros fisicoquímicos señalados en la figura 3 y se realizó la toma de muestra de agua tomando en consideración las recomendaciones del laboratorio. El registro de los datos en campo se realizó mediante un formulario digital en la aplicación Epicollect5, lo que permitió la georreferenciación automática y el almacenamiento estructurado de la información de campo.

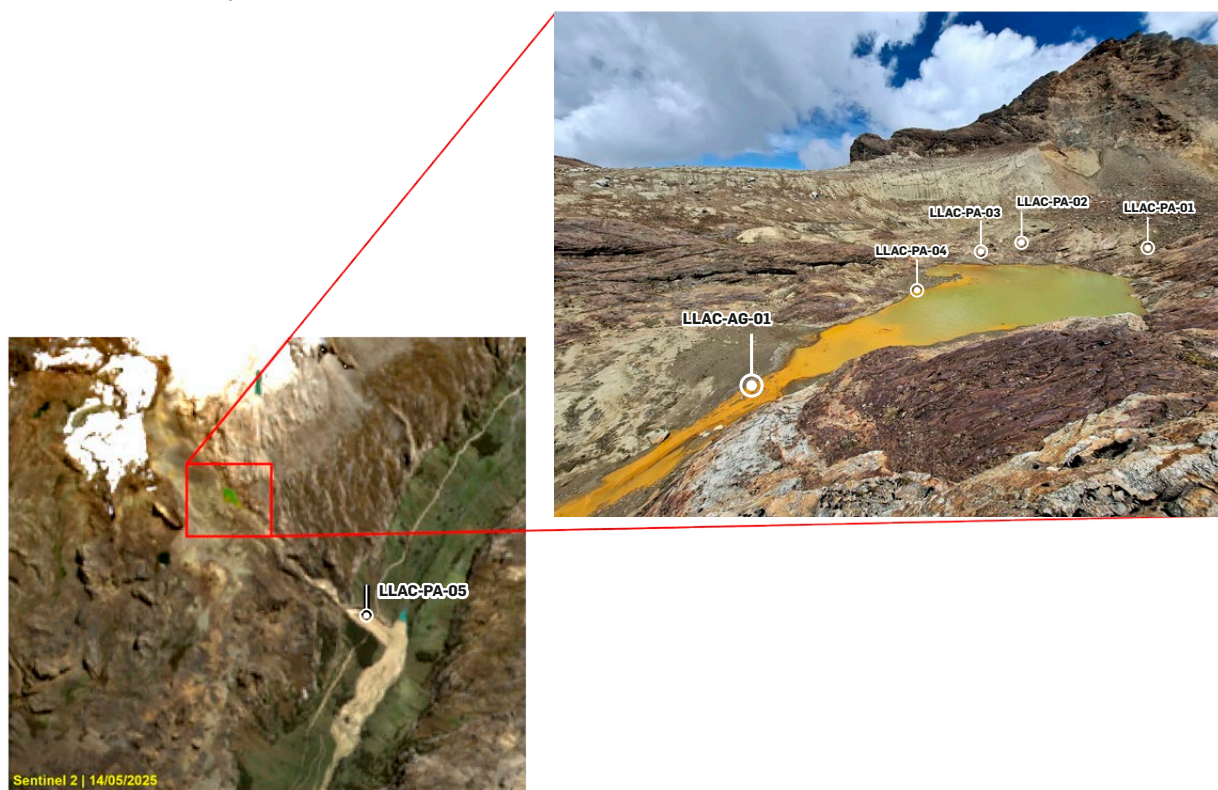
Finalmente, el trabajo de post campo fue la elaboración del informe técnico donde se reporta y analiza los principales resultados obtenidos de las inspecciones en campo y la información obtenida en pre campo.

### 2.2. VISITA REALIZADA EL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2025

La inspección técnica se realizó el 19 de septiembre de 2025, inició a las 08:00 horas, con el desplazamiento hacia el campo morrena del glaciar Vallunaraju en la unidad hidrográfica Casca-Llaca, departamento de Áncash. Tras cuatro horas de caminata, se alcanzó llegar a la zona impactada por el deslizamiento ocurrido el 28 de abril en una ladera situada frente al glaciar.

En el área, se realizó un recorrido por la margen derecha hasta la zona del deslizamiento y el entorno inmediato de la laguna residual formada como consecuencia del evento. Durante el trayecto, se efectuó un reconocimiento visual del terreno, identificando áreas con acumulación reciente de detritos, afloramientos de roca fresca y alterada, indicios de flujos y depósitos de sedimentos finos, así como

variaciones en la coloración y transparencia de las aguas. Como parte de este proceso, se realizó la evaluación de seis puntos.



**Figura 4. Ubicación de los puntos evaluados en la inspección técnica de campo del 19/09/2025.**

A continuación, se detallan las características de cada uno de los sitios muestreados.

**Tabla 1. Matriz de los puntos muestreado en la inspección de campo - 19/09/2025**

Punto de muestreo	Descripción	Observaciones en campo
LLAC-PA-01	Afluente 1, su origen es de la fusión del glaciar Vallunaraju, desemboca en la laguna residual temporal.	Ubicado en la parte superior, atraviesa sustrato rocoso expuesto por el retroceso glaciar.
LLAC-PA-02	Afluente 2, curso de agua que desemboca en la laguna residual temporal, emerge en la zona donde anteriormente existía laguna A	Ubicado en la parte superior, el cauce presenta una tonalidad anaranjada, atribuida a la sedimentación de sulfuros oxidados.
LLAC-PA-03	Afluente 3, de origen glaciar, mayor caudal que los dos afluentes anteriores y desemboca en la laguna residual temporal.	Ubicado en la parte superior, presenta intensa tonalidad rojiza oscura del cauce, producto de los procesos de oxidación activa, se evidencia en el lecho y las orillas del curso de agua.
LLAC-PA-04	Zona lateral derecha de la laguna residual (borde de la laguna)	Coloración anaranjada/amarillenta en el agua, asociada a los procesos de oxidación de sulfuros y sedimentación.
LLAC-PA-05	Quebrada afluente a la margen derecha del río Casca.	Ubicado junto a la carretera de acceso a la laguna de Llaca, sus aguas provienen de la laguna residual.
LLAC-AG-01	Descarga de la laguna residual.	Lecho fluvial con marcada tonalidad anaranjada por acumulación de sedimentos oxidados y movilización de materiales minerales provenientes de la ladera afectada.

▪ **Punto de muestreo LLAC-PA-01.**

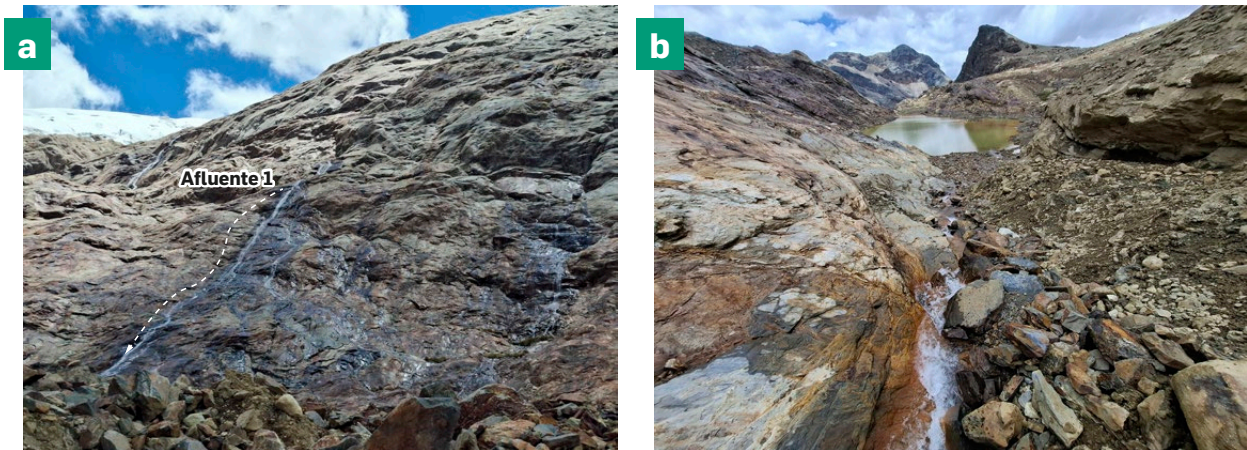


Figura 5. a) Flujo de agua originado en el glaciar Vallunaraju que atraviesa el sustrato rocoso expuesto. b) Sector del curso de agua donde se realizó la medición de los parámetros fisicoquímicos.

▪ **Punto de muestreo LLAC-PA-02**

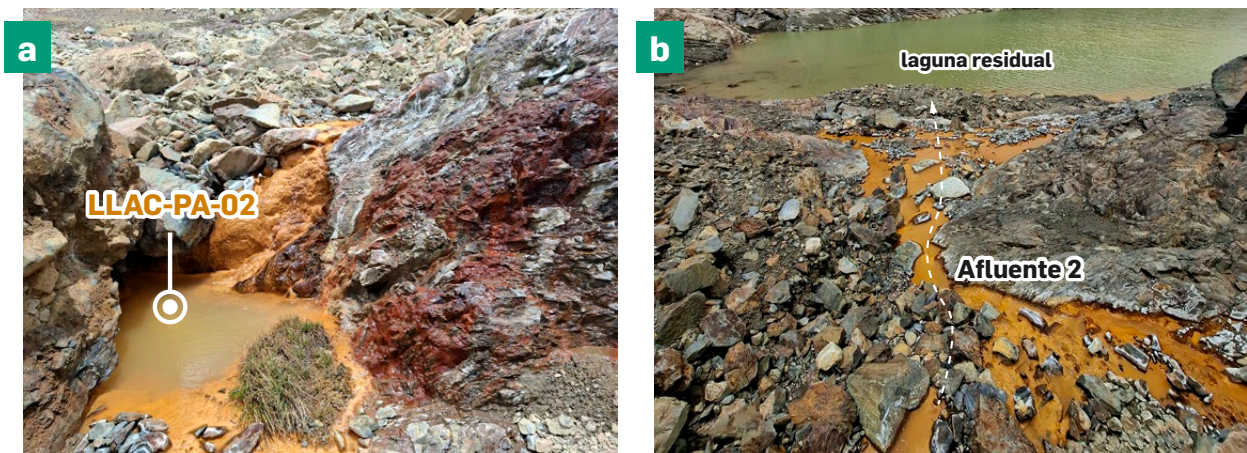


Figura 6. a) Sitio de evaluación de la calidad del agua. b) Vista panorámica del curso de agua hasta su descarga en la laguna donde se destaca la coloración anaranjada del cauce.

▪ **Punto de muestreo LLAC-PA-03**

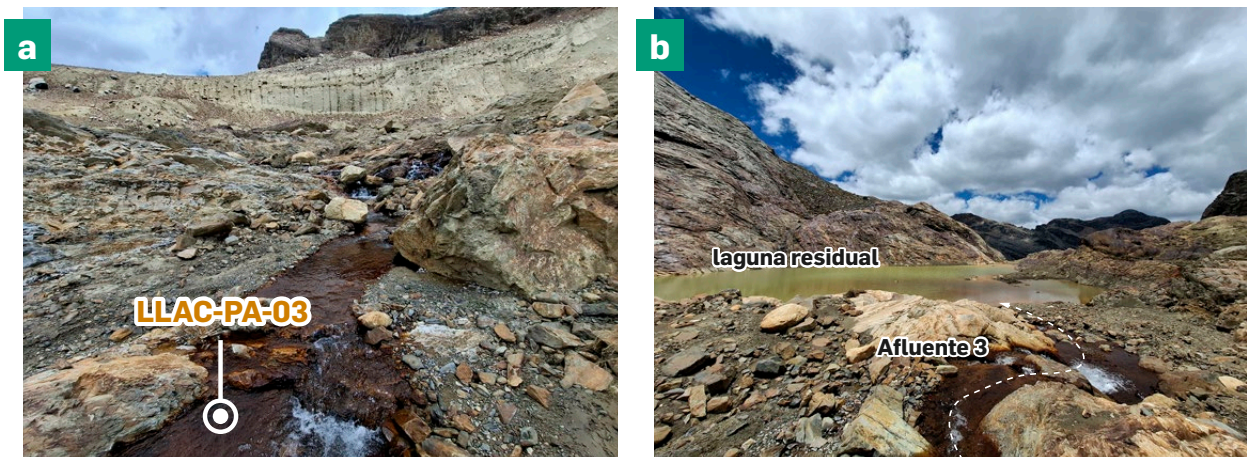


Figura 7. a) Punto de evaluación de la calidad del agua. b) Imagen general del trayecto del afluente hasta su descarga en la laguna, resaltando la intensa tonalidad rojiza del lecho del curso de agua.

- **Punto de muestreo LLAC-PA-04**



Figura 8. Sitio de evaluación de la calidad del agua en la margen derecha de la laguna.

- **Punto de muestreo LLAC-PA-05**

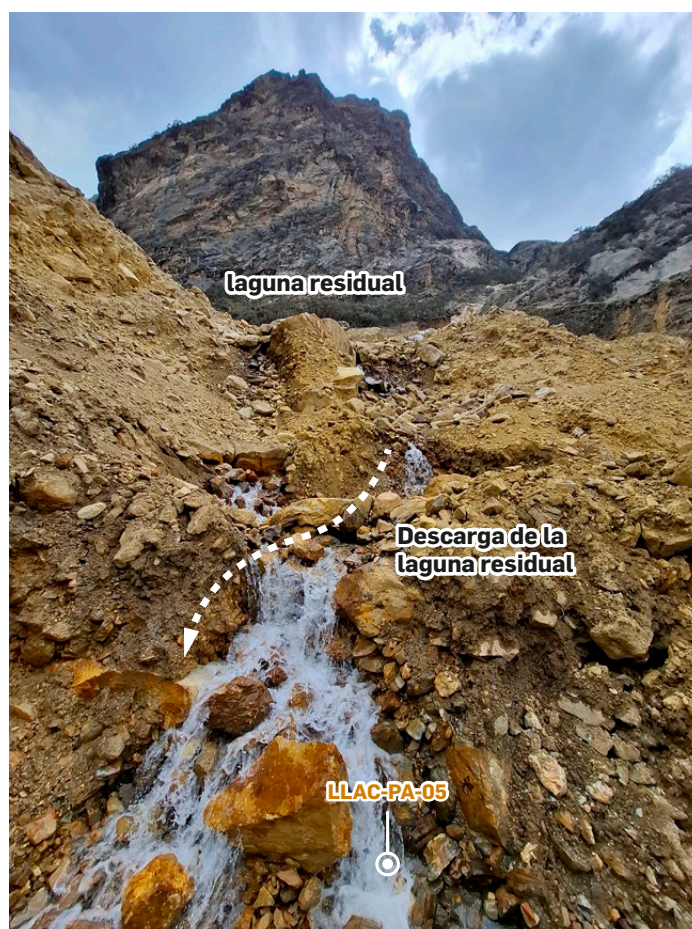
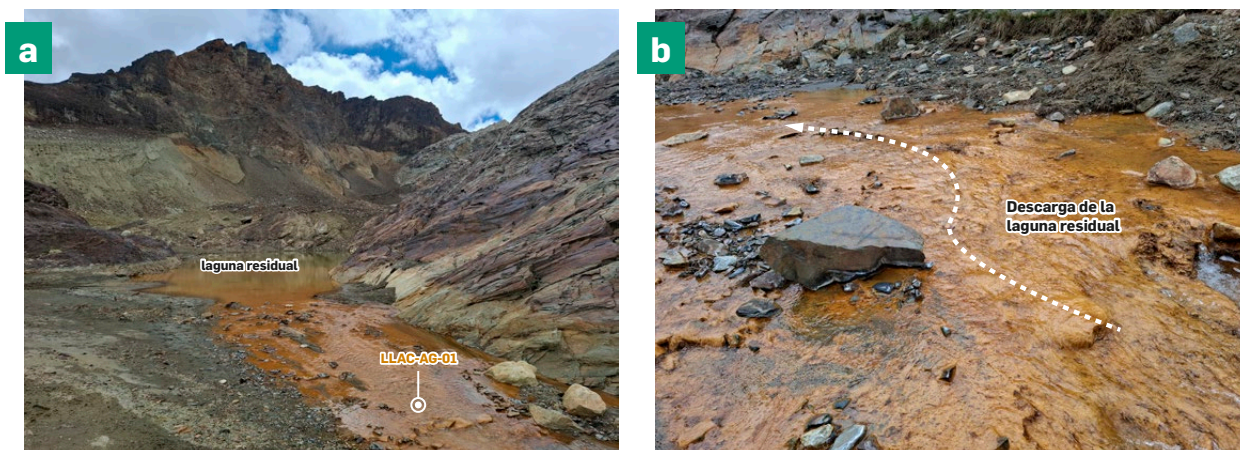


Figura 9. Sitio de evaluación de la quebrada antes de la confluencia con el río Casca.

- **Punto de muestreo LLAC-AG-01**



**Figura 10. Sitio de evaluación en el punto de descarga de la laguna. a) Lecho fluvial con tonalidad anaranjada. b) Vista panorámica del sitio.**

## 2.3. VISITA REALIZADA EL 2 DE OCTUBRE DE 2025

La inspección realizada el martes 2 de octubre, se desarrolló a lo largo de la quebrada Casca-Llaca, con el propósito de identificar la presencia del drenaje ácido de roca tras el aluvión ocurrido el 28 de abril del mismo año.

En el área, se efectuó el reconocimiento visual del terreno, identificando el cauce actual a lo largo del cono aluviónico con el fin de reconocer las áreas con la acumulación reciente de detritos, el desplazamiento de roca y la alteración de la misma, así como la coloración presente en los cuerpos de agua superficial. Como parte de este proceso, se realizó la evaluación de seis puntos.

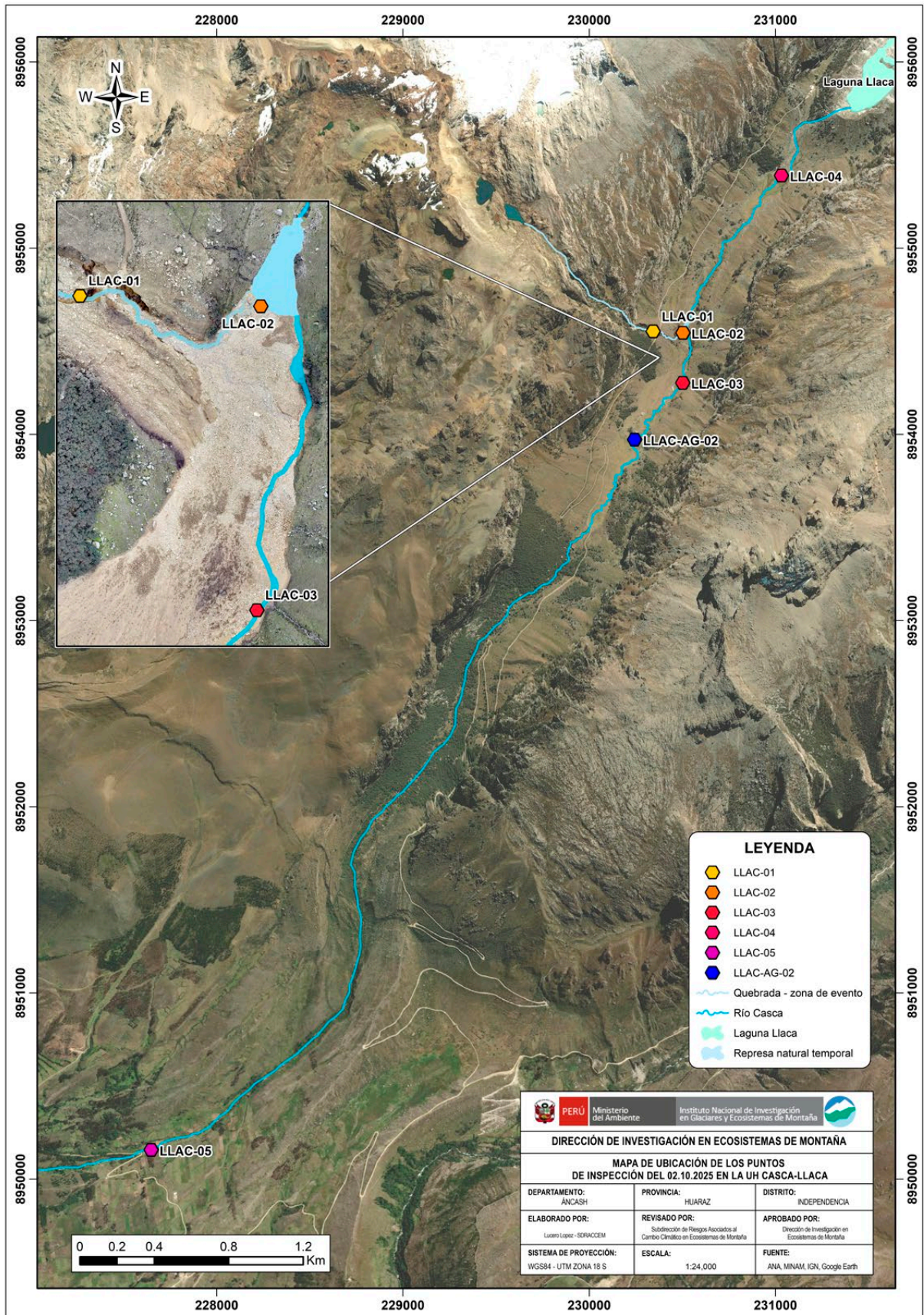


Figura 11. Ubicación de los puntos evaluados en la inspección técnica de campo del 02/10/2025

En cada uno de los puntos evaluados se realizaron las mediciones in situ de los parámetros fisicoquímicos, utilizando el multiparámetro portátil y en los puntos (LLAC-01 y LLAC-02) la medición de caudal.

A continuación, se presenta la descripción detallada de los puntos de muestreo y sus respectivas evidencias fotográficas:

**Tabla 2. Matriz de los puntos muestreado en la inspección de Campo - 02/10/2025**

Punto de muestreo	Descripción	Observaciones en campo
LLAC-01	Quebrada aportante al río Casca, sus aguas provienen de la laguna residual del río Casca-Llaca	Se ubica junto de la carretera de acceso a la laguna Llaca. Caudal de 27.3 L/s.
LLAC-02	Se ubica al borde de la presa natural temporal, que recibe las aguas del punto LLAC-01 y del río Casca.	Coloración anaranjada/amarillenta parcial en los bordes asociadas a la descarga de la laguna residual, se ve la dinámica de sedimentos y la interacción con las rocas expuestas.
LLAC-03	Cauce principal del río Casca (275 m aguas debajo de la represa natural temporal).	Caudal medido de 268.5 L/s. se visualiza la presencia de material rocoso que puede favorecer los óxidos y la movilización del sedimento rico en hierro y aluminio.
LLAC-04	Cauce del río principal descarga de la laguna Llaca (1075 m antes de la represa natural temporal).	Las aguas provienen directamente de la descarga de laguna Llaca, donde no se visualiza presencia de material rocoso con pirita que puede favorecer la oxidación y presencia de metales como hierro y aluminio.
LLAC-05	Cauce principal del río Casca, cerca del puente destruido (zona de cultivos y población).	Se visualiza fragmentos rocosos que pueden favorecer los procesos de oxidación y movilización de metales.
LLAC-AG-02	Cauce principal del río Casca (785 m aguas abajo de la represa natural) parte final del cono aluviónico.	Punto de colecta de muestra para análisis de metales pesados.

#### ▪ Punto de muestreo LLAC-01



**Figura 12. Descarga de la laguna formada tras el aluvión. a) Parte alta de la descarga del agua. b) Parte baja de la descarga que se ubica sobre la carretera Huaraz-Llaca.**

▪ Punto de muestreo LLAC-02

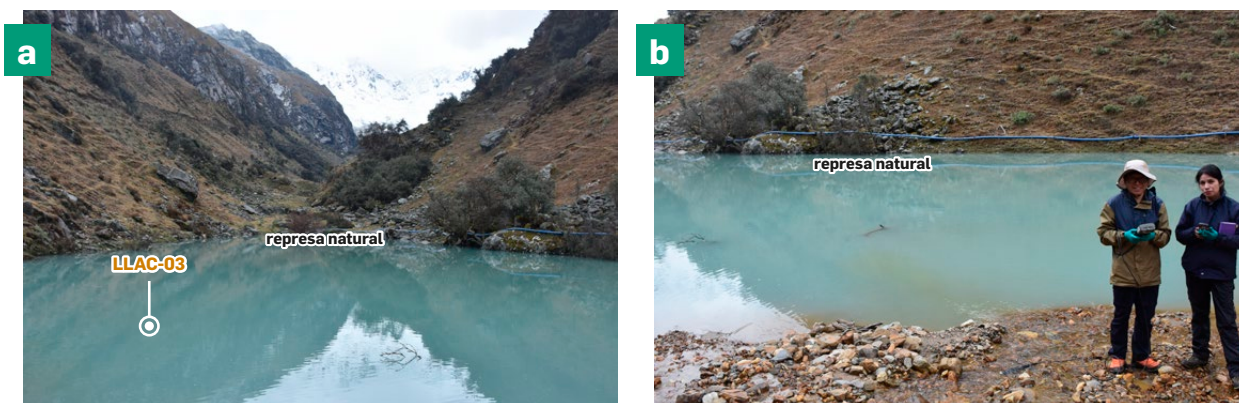


Figura 13. Represa natural temporal del agua. a) Coloración parcial de la represa natural provisional formada después del evento. b) Sitio de evaluación de la calidad del agua, donde confluye el río principal y la descarga del punto LLAC-02.

▪ Punto de muestreo LLAC-03

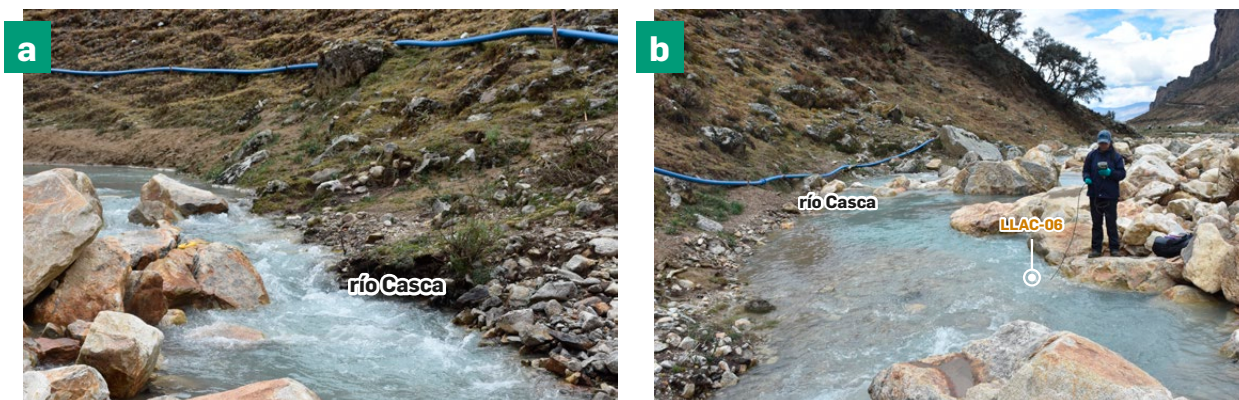


Figura 14. Cauce del río principal. a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal y donde se midió el caudal. b) Punto de evaluación de la calidad del agua.

▪ Punto de muestreo LLAC-04

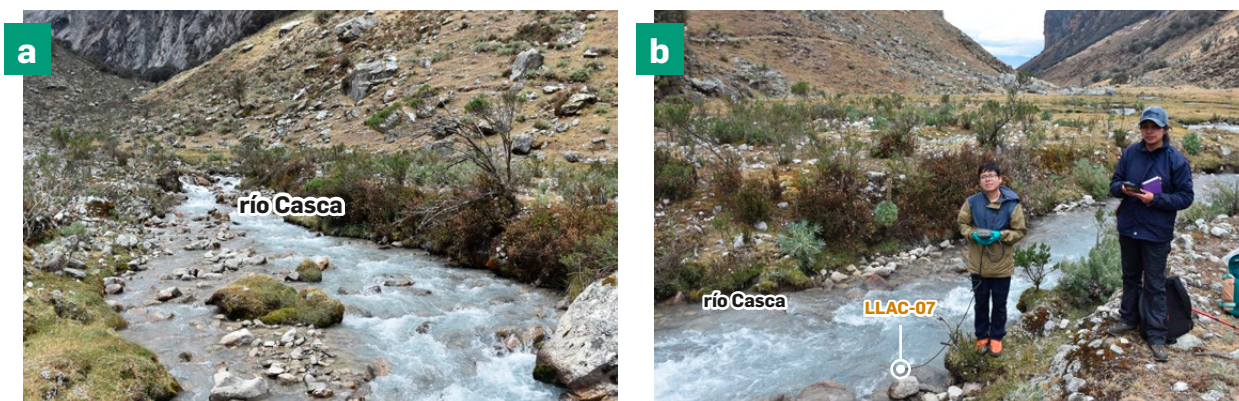


Figura 15. Cauce del río principal, descarga de la laguna Llaca. a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal. b) Punto de evaluación de la calidad del agua con parámetros de campo.

▪ Punto de muestreo LLAC-05



Figura 16. Cauce del río principal, cerca del puente destruido. a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal. b) Punto de evaluación de la calidad del agua con parámetros de campo.

▪ Punto de muestreo LLAC-AG-02



Figura 17. Cauce del río principal, punto de muestreo de agua. a) Imagen general del trayecto del cauce del río principal y evaluación de la calidad de agua con parámetros fisicoquímicas. b) Punto de extracción de muestra de agua.

## 2. RESULTADOS

### 3.1. ESTADO GEOLÓGICO

La geología aflorante al pie del nevado Vallunaraju y que conforma el relieve donde se encuentra ubicada la laguna B en la UH Casca-Llaca está formada en orden estratigráfico por rocas sedimentarias de la Formación Sapotal del Grupo Chicama y rocas intrusivas del Batolito de la cordillera Blanca; estas rocas se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios glaciares, coluviales, proluviales y lacustrinos (figura 18).



**Figura 18. Unidades geológicas aflorantes alrededor de la laguna B y al pie del glaciar Vallunaraju.**

Fuente: adaptado del informe técnico N°001-2025-INAIGEM-INGEMMET.

La Formación Sapotal está constituida por una secuencia de rocas sedimentarias estratificadas compuestas por areniscas finas, lutitas negras y niveles carbonosos. Mineralógicamente, contiene diseminaciones de pirita diagenética que representan una fuente potencial de generación de drenaje ácido bajo condiciones de exposición superficial (figura 19). Esta unidad fue intruida por cuerpos granodioríticos y tonalíticos del Batolito de la cordillera Blanca, cuyo emplazamiento generó metamorfismo de contacto y enriquecimiento secundario en sulfuros debido a la circulación de fluidos hidrotermales asociados al evento magmático.



**Figura 19. Afloramiento de lutitas negras de la Formación Sapotal, caracterizadas por la presencia de pirita diseminada.**

La Formación Sapotal (Grupo Chicama) y el Batolito de la cordillera Blanca conforman el núcleo rocoso sobre el cual se asienta la masa glaciaria actual en la cordillera Blanca. El retroceso glaciario y la exposición subaérea reciente han puesto en contacto las rocas portadoras de sulfuros con el oxígeno atmosférico y las aguas de deshielo, generando procesos activos de drenaje ácido de roca (DAR). Este fenómeno se evidencia por halos de oxidación bien desarrollados, de tonalidades rojizas a anaranjadas, que se extienden desde las rocas sedimentarias hacia los intrusivos, reflejando la oxidación de sulfuros y la formación de óxidos e hidróxidos de hierro. (figura 20).



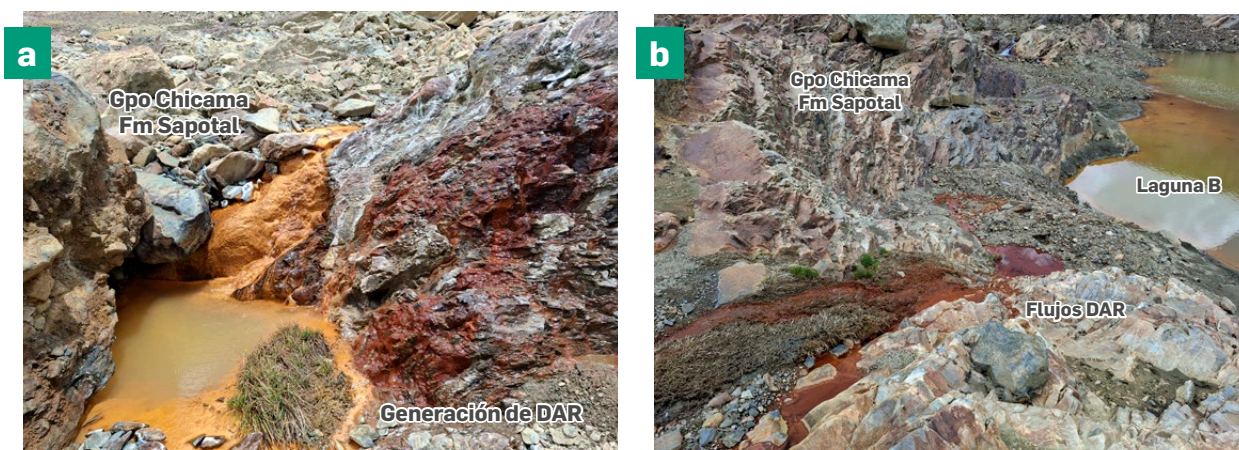
**Figura 20. Afloramiento de granodioritas y tonalitas del Batolito de la cordillera Blanca, que presentan halos de oxidación superficial.**

Tras los eventos de aluvionamiento de marzo y abril, los afloramientos de la Formación Sapotal muestran un alto grado de fracturamiento y meteorización, resultado de la oxidación de rocas con contenido sulfurado. Además, se ha evidenciado que flujos de detritos procedentes de esta formación se han acumulado sobre la laguna B, incrementando el aporte de material sulfurado en contacto con el agua superficial y favoreciendo la generación y propagación de drenaje ácido de roca (DAR) en su entorno inmediato. (figura 21).



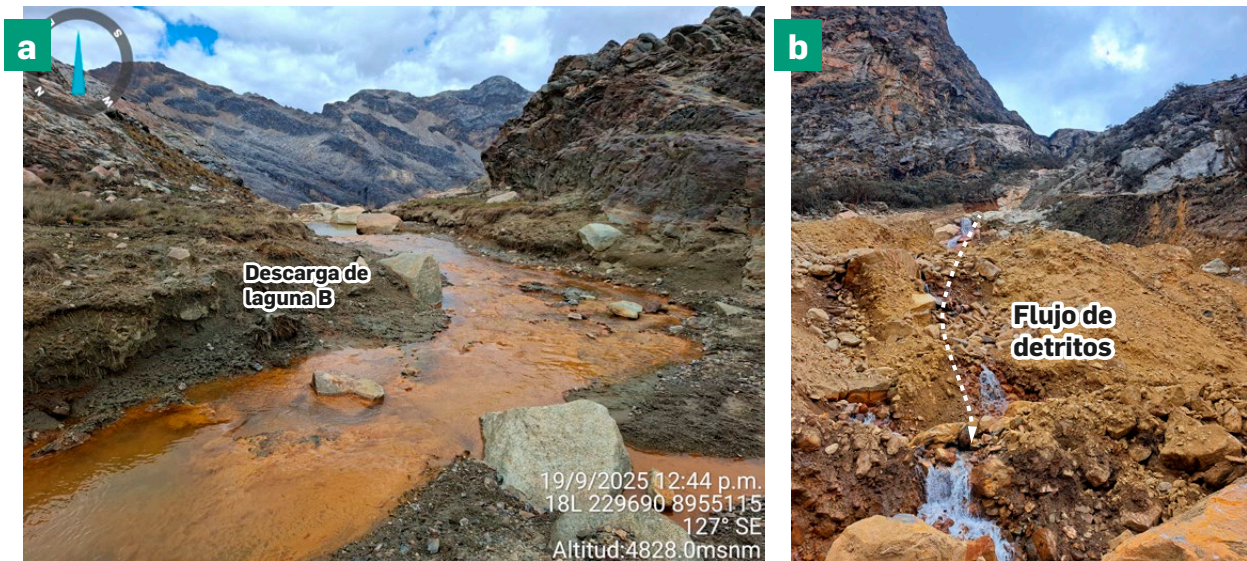
**Figura 21. Flujos de detritos generados a partir de los afloramientos sulfurosos de la Formación Sapotal, los cuales se acumulan en la laguna B y favorecen la generación de drenaje ácido de roca mediante el transporte de material sulfurado.**

En el sector suroeste de la laguna B se evidencia la generación directa de drenaje ácido de roca (DAR) originado en las areniscas y lutitas de la Formación Sapotal (figura 22A). La oxidación de minerales sulfurados produce flujos rojizos y anaranjados ricos en óxidos e hidróxidos de hierro, los cuales descienden por la ladera transportando material fino y soluciones ácidas que se descargan en la laguna B, contribuyendo a su acidificación y alteración geoquímica (figura 22B).



**Figura 22. (A) Generación de drenaje ácido de roca producto de la oxidación de pirita presente en areniscas y lutitas de la Formación Sapotal. (B) Flujos de drenaje ácido de roca transportados pendiente abajo y descargados hacia la laguna B.**

La laguna B presenta un pH promedio de 3.8 y una coloración naranja-verdosa, atribuida a la precipitación de compuestos férricos derivados del drenaje ácido de roca (DAR) (figura 23A). Su descarga superficial hacia el sureste registra un pH de 3.2, manteniendo una tonalidad naranja intensa por la presencia de sulfuros oxidados y óxidos de hierro (figura 23B).



**Figura 23. (A) Descarga de la laguna B caracterizada por un pH de 3.2 y tonalidades anaranjadas asociadas a la suspensión de detritos finos y partículas de material sulfurado oxidado. (B) Acumulación de flujos de detritos ricos en sulfuros y óxidos de hierro, conformando un cono aluvial que se deposita en la represa natural temporal.**

El punto de confluencia con la carretera Huaraz–Laguna Llaca (figura 24), el pH disminuye a 3.17 y se observa una acumulación de detritos de granodioritas, areniscas y lutitas con pirita diseminada, evidenciando procesos avanzados de oxidación. Estos flujos han formado un cono coluvial orientado NO–SE, que desemboca en la represa natural temporal donde confluyen las descargas de las lagunas Llaca y B. La interacción del agua con los materiales sulfurados oxidados ha generado una acidificación progresiva, con un pH de 5.1 en las aguas que descargan hacia el río Llaca.



**Figura 24. Sedimentación de fragmentos de roca con pirita diseminada proveniente de los flujos de detritos y acumulación de flujos de agua acidificada proveniente de la descarga de la laguna B.**

La figura 25 muestra la distribución de la laguna B, los flujos de detritos generados por eventos aluviales recientes y una represa natural temporal originada por movimientos en masa.

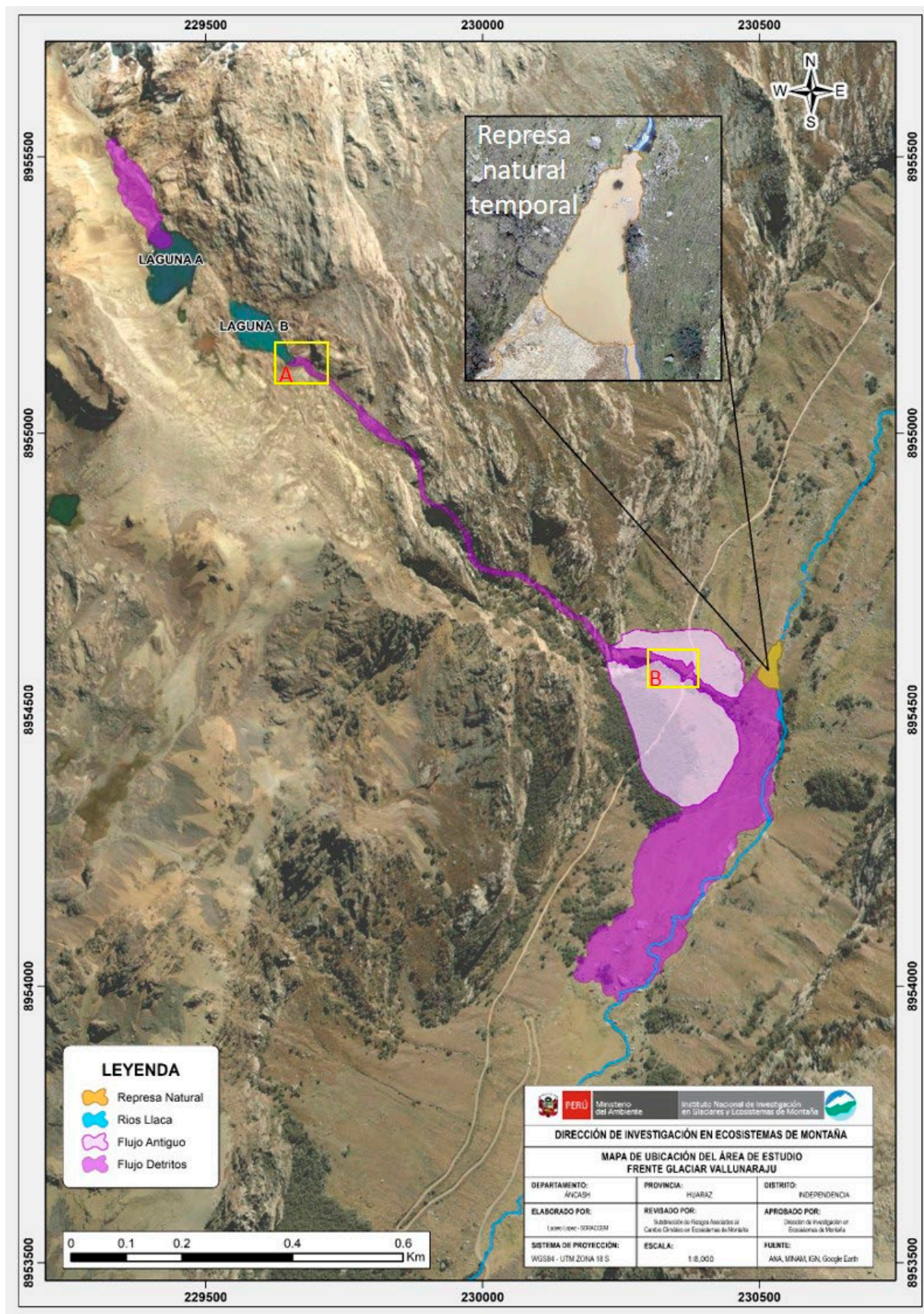


Figura 25. Mapa de ubicación satelital que muestra la ubicación de la laguna B, el trasporte de los flujos de detritos y la formación de la represa natural temporal.

### 3.1. RESULTADOS EN LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS MEDIDOS EN CAMPO

Se realizaron dos inspecciones técnicas en la unidad hidrográfica Casca con el propósito de identificar evidencias de drenaje ácido de roca (DAR) en la zona impactada por el aluvión del 28 de abril de 2025.

La primera inspección se llevó a cabo el 19 de septiembre de 2025, y tuvo como objetivo principal reconocer los sitios con indicios de DAR y registrar los primeros parámetros de campo.

La segunda inspección se realizó el 2 de octubre de 2025, con la finalidad de verificar la persistencia del proceso ácido y evaluar si este se propagaba aguas abajo del área afectada.

#### ▪ Resultados de la primera inspección (19/09/2025)

Durante la primera visita se evaluaron seis puntos de muestreo, distribuidos en los afluentes superiores, la laguna residual (cercano al glaciar Vallunaraju) y su descarga hacia el río Casca. Los resultados mostraron diferencias claras entre los sectores altos y bajos del sistema.

##### a) pH

Los valores de pH obtenidos en los afluentes superiores (LLAC-PA-01, LLAC-PA-02 y LLAC-PA-03) fueron bajos, lo que evidencia un carácter marcadamente ácido del agua. Esta acidez se asocia con procesos de oxidación de minerales sulfurosos (principalmente pirita y otros sulfuros metálicos) probablemente expuestos tras el evento aluvional. El punto LLAC-PA-04, correspondiente al borde de la laguna, mostró el pH más alto (4.1), lo que sugiere que la acidez proveniente de los afluentes se está acumulando parcialmente en el cuerpo de agua.

En la descarga de la laguna (LLAC-AG-01) y en el punto previo a la confluencia con el río Casca (LLAC-PA-05), el pH continuó siendo ácido, indicando que el drenaje ácido se propaga aguas abajo, manteniendo su efecto en los cauces receptores.

Todos los puntos medidos se encuentran fuera del estándar de calidad ambiental (ECA) para agua en la categoría 4: conservación del ambiente acuático, E2: ríos (costa y sierra).

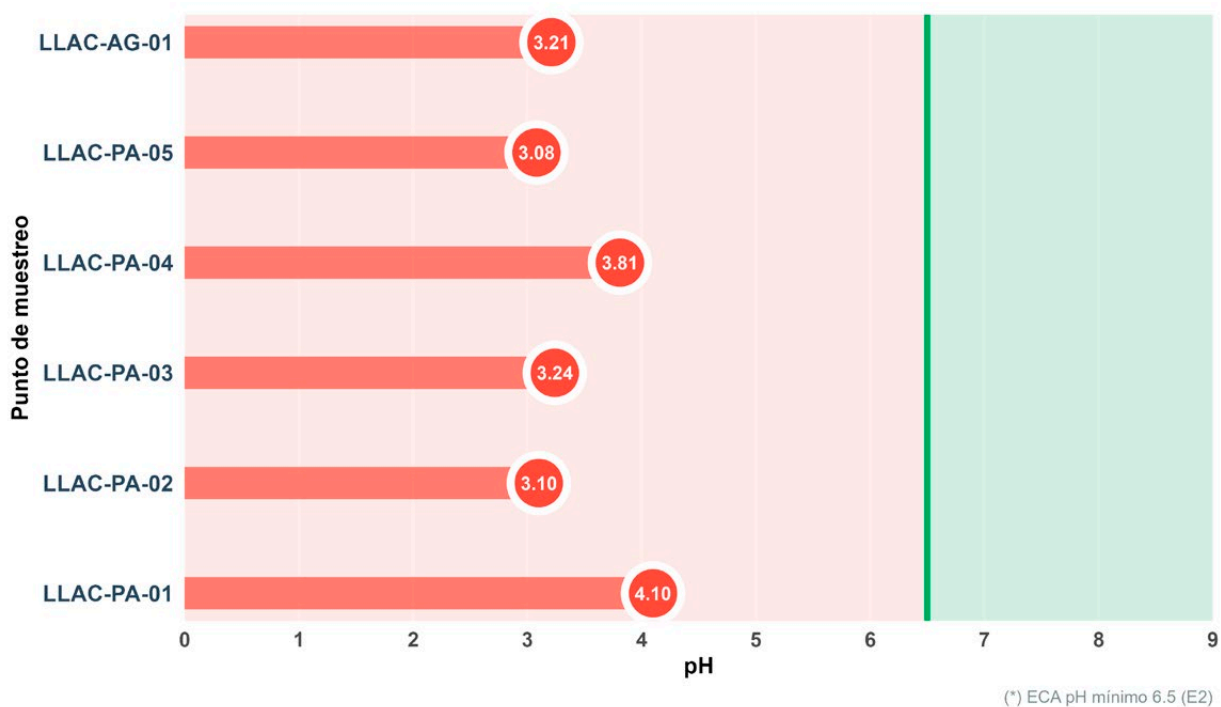


Figura 26. Resultados de las mediciones de pH en el agua (19.09.2025).

### b) Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad fueron altos en los afluentes superiores y en la descarga de la laguna, lo cual indica una alta concentración de sales y/o metales en el agua. Este comportamiento es característico del drenaje ácido de roca, donde la disolución de minerales incrementa la carga iónica del agua.

En general la conductividad más alta se registró en el punto LLAC-PA-02 (1799  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y cinco puntos superan el ECA para agua, categoría 4-E2.

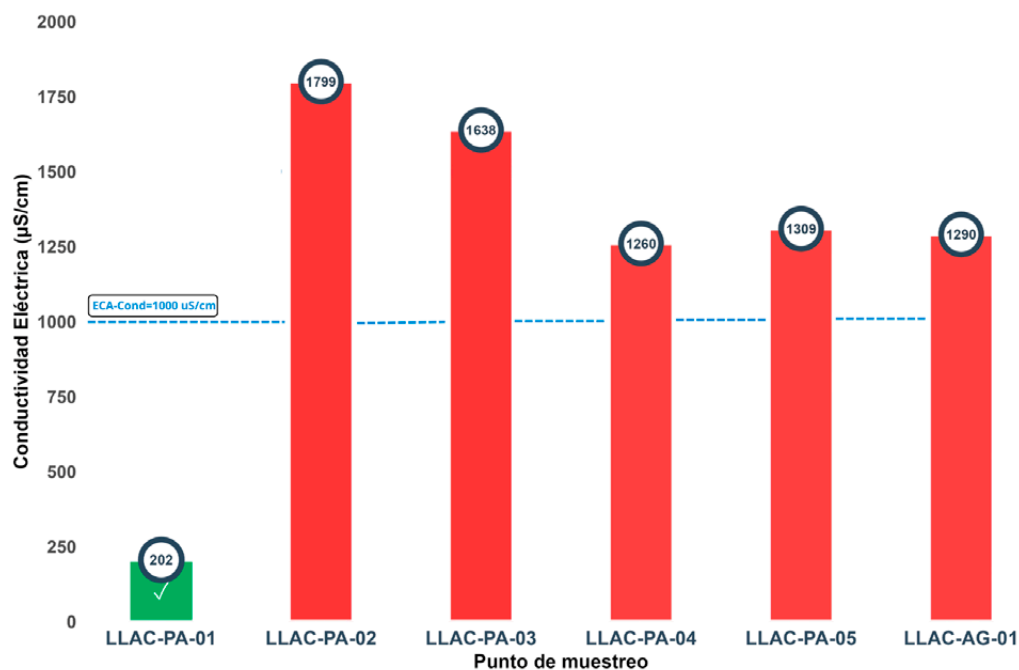


Figura 27. Resultados de las mediciones de conductividad eléctrica en el agua (19.09.2025).

### c) Análisis de metales

En el punto LLAC-AG-01, ubicado cerca al origen del drenaje ácido, se registró un pH muy bajo (3.2) y una alta conductividad eléctrica (1290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo que indica la presencia de agua ácida con elevada cantidad de sales disueltas. Sin embargo, las concentraciones de metales totales como aluminio (1.77 mg/L), hierro (0.71 mg/L), manganeso (0.058 mg/L) y zinc (0.099 mg/L) se mantuvieron por debajo de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, en la categoría 3-D1 y categoría 4-E2. Esto sugiere que, aunque el proceso de oxidación de minerales sulfurados está generando acidez, los metales liberados aún permanecen en gran parte retenidos en las rocas o en sedimentos del entorno, y no se encuentran ampliamente disueltos en el agua. En conjunto, los resultados evidencian que el drenaje ácido se está originando en esta zona, pero su impacto químico directo sobre la calidad del agua todavía es limitado en este punto.

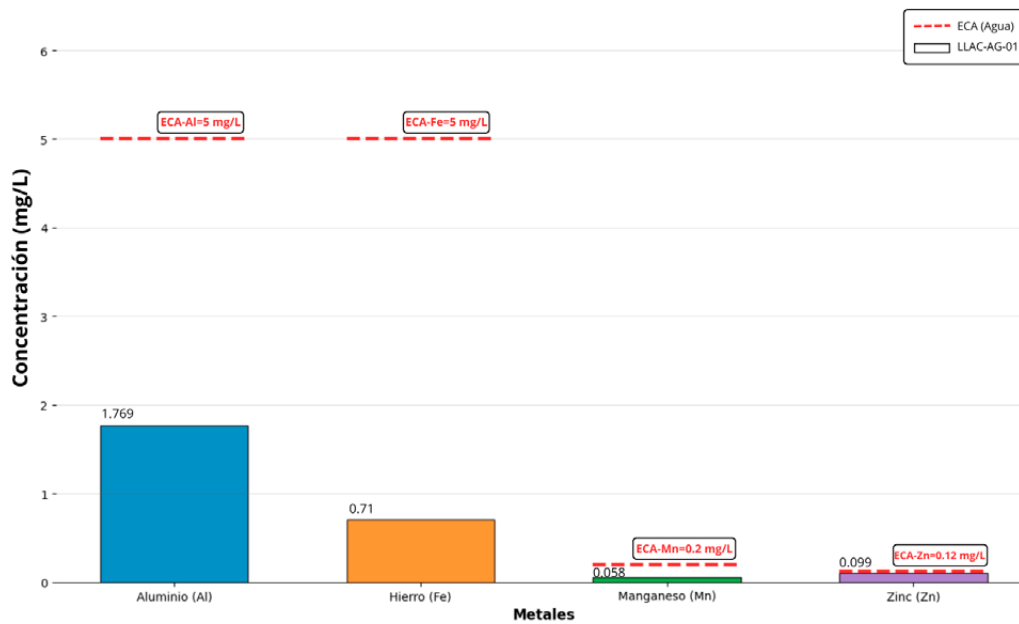


Figura 28. Resultados del análisis de metales del agua en el punto LLAC-AG-01 (19.09.2025).

#### ▪ Resultados de la segunda inspección (2/10/2025)

En la segunda inspección se evaluaron seis puntos de monitoreo: uno en la quebrada de la zona del evento LLAC-01, uno en la represa natural temporal (LLAC-02) y tres en el río Casca (LLAC-03, LLAC-05 y LLAC-AG-02) y uno en la descarga de la laguna Llaca (LLAC-04). El objetivo fue verificar la persistencia y extensión del proceso ácido identificado previamente. A continuación, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos en campo.

##### a) pH

Los valores de pH (3.27) en el punto LLAC-01 (quebrada del evento del aluvión) continuaron siendo ácidos, confirmando que el drenaje ácido de roca persiste en la quebrada superior y que las condiciones no han mejorado entre inspecciones.

El punto LLAC-02, correspondiente a la represa natural temporal de agua, mostró también un pH ácido (5.60), evidenciando que el agua acumulada contiene acidez y representa un riesgo potencial de liberación súbita de agua ácida hacia aguas abajo.

En el río Casca puntos LLAC-03, LLAC-05 y LLAC-AG-02), el pH se mantuvo ácido en casi todos los puntos, destacando que incluso el punto más distante (LLAC-05), ubicado en el puente destruido del desvío Llaca a Willcahuain, registró acidez (5.25). El único punto con pH dentro del ECA para agua, categoría 4-E2 fue LLAC-04, es el correspondiente a la descarga natural de la laguna Llaca, lo que indica que este cuerpo de agua no está afectado directamente por el drenaje ácido.

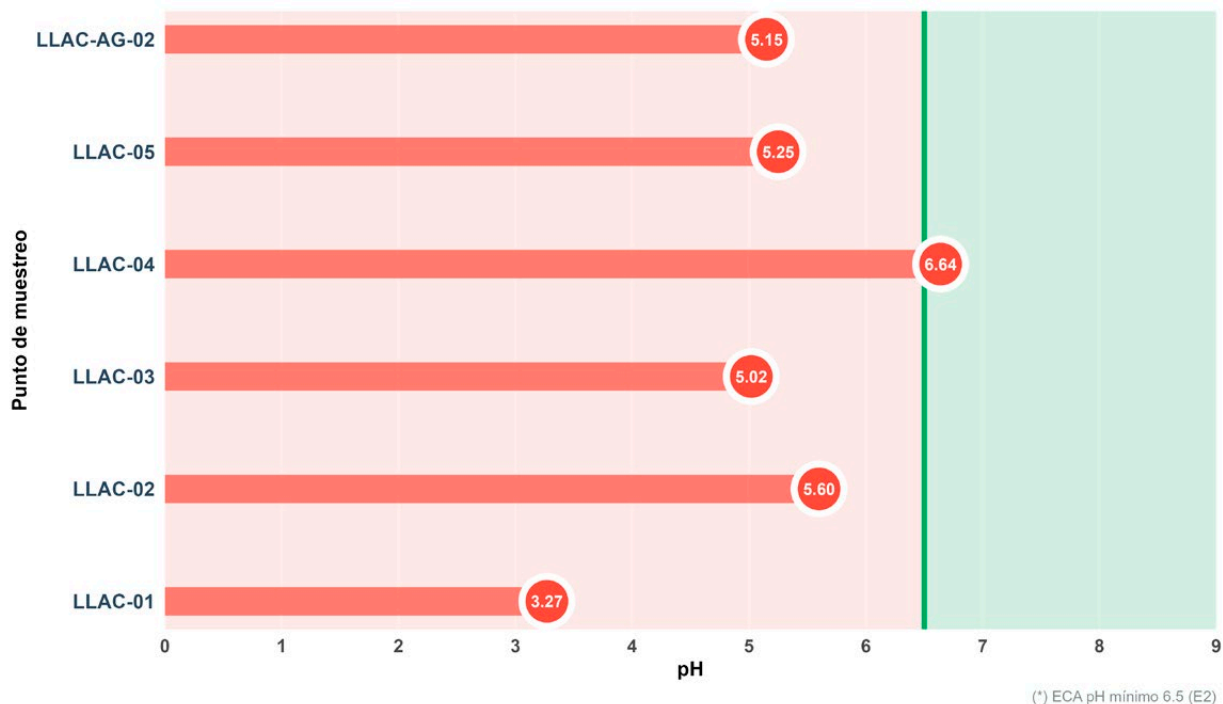


Figura 29. Resultados de las mediciones de pH en el agua (02.10.2025).

**b) Conductividad eléctrica**

Se observó la más alta conductividad eléctrica (601 uS/cm) en el punto LLAC-01, reflejando una alta carga de iones, sin embargo, la conductividad fue menor que los resultados de la primera inspección en la parte alta de la quedaba del evento, probablemente también pueda estar influenciando el aumento del caudal debido a las lluvias. En los puntos del río Casca aguas abajo del evento (LLAC-03, LLAC-AG-02 y LLAC-05), la conductividad disminuye ligeramente con la distancia, pero se mantiene por encima de los valores de los 100 uS/cm. Sin embargo, todos los puntos se encuentran dentro del ECA para agua, categoría 4-E2.

El punto LLAC-02 correspondiente a la represa natural temporal de agua, es el que presenta la menor conductividad (81 uS/cm).

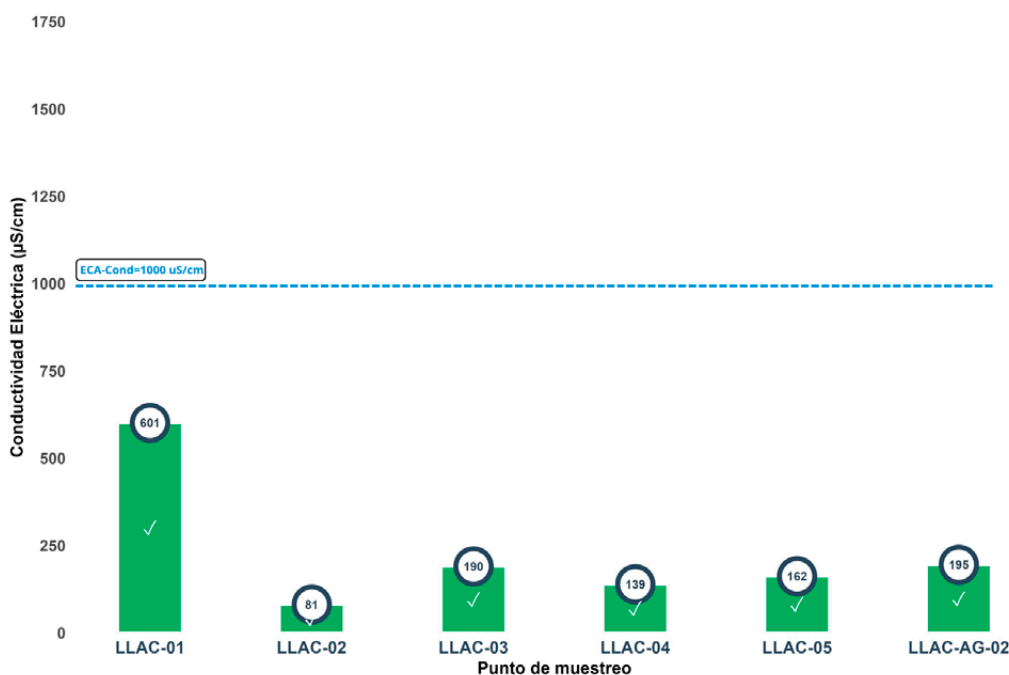


Figura 30. Resultados de las mediciones de conductividad eléctrica en el agua (02.10.2025).

### c) Análisis de metales

En el punto LLAC-02, ubicado aguas abajo del sitio de origen del drenaje ácido, se registraron altas concentraciones de metales totales en el agua, con valores de aluminio (24.52 mg/L), hierro (18.25 mg/L), manganeso (0.61 mg/L) y zinc (1.21 mg/L), todos por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en la categoría 3-D1 y categoría 4-E2. A pesar de que el pH en este sector fue ligeramente más alto (5.15) y la conductividad eléctrica menor (195 S/cm) respecto al punto inicial, la presencia de una represa natural podría haber favorecido la acumulación y posterior liberación de metales previamente precipitados o adsorbidos en los sedimentos.

Las altas concentraciones de metales reflejan el arrastre de partículas y sedimentos finos ricos en metales formados en la parte alta, así como reacciones químicas que ocurren al mezclarse el drenaje ácido con aguas de pH más neutro. Estos procesos favorecen la movilización de los metales y explican su incremento en este tramo, evidenciando la influencia continua del drenaje ácido de roca sobre la calidad del agua.

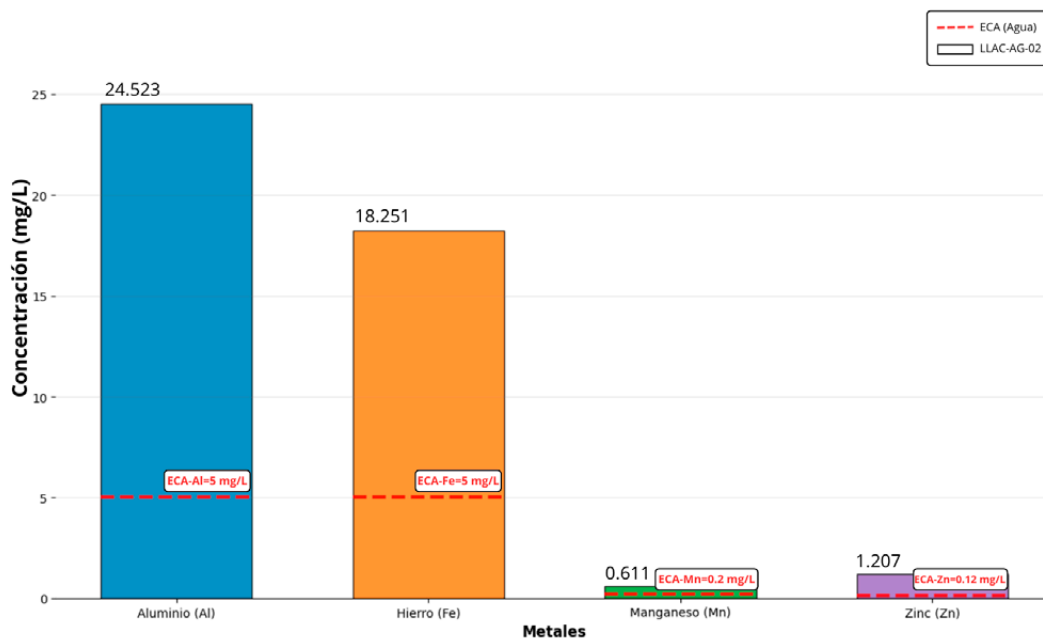


Figura 31. Resultados del análisis de metales del agua en el punto LLAC-AG-02 (02.10.2025).

## 4. CONCLUSIONES

1. Los eventos de aluvión ocurridos durante los meses de marzo y abril han intensificado los procesos de drenaje ácido de roca (DAR) en el sector de la laguna B, debido al transporte y exposición de material sulfurado (pirita) proveniente de los afloramientos de la Formación Sapotal.
2. Los flujos de detritos generados por los aluviones han incrementado significativamente la carga de material con sulfuros oxidados hacia los cuerpos de agua, promoviendo la formación de soluciones ácidas y precipitados férricos que confieren tonalidades rojizas y anaranjadas características.
3. La interacción directa entre los detritos sulfurados y las aguas superficiales ha originado descargas con pH entre 3.1 y 3.8, indicando un ambiente fuertemente ácido que favorece la disolución de metales como el hierro (Fe) y aluminio (Al).
4. Los resultados confirman la presencia de drenaje ácido de roca (DAR) en la zona. En el punto cercano al origen, el pH es muy ácido y la conductividad alta, aunque con bajas concentraciones de metales. Aguas abajo, los metales aumentan notablemente y superan los valores permitidos, evidenciando un proceso activo de movilización y transporte de metales que deteriora la calidad del agua.
5. La acumulación de estos materiales en una represa natural temporal ha creado un foco de acidificación secundaria, con valores de pH en torno a 5.1, por lo que los flujos aluviales no solo transportan sino también almacenan material potencialmente generador de drenaje ácido de roca.
6. Se confirma la presencia de drenaje ácido de roca en los cursos de agua evaluados. Las inspecciones técnicas permitieron identificar la existencia de un proceso activo de drenaje ácido de roca en la parte alta de la unidad hidrográfica Casca-Llaca, particularmente en la quebrada que ocurrió el evento del aluvión y que es afluente del río Casca.
7. Se verificó que la acidez detectada en la quebrada del evento se propaga hacia el cauce principal del río Casca, extendiéndose varios kilómetros aguas abajo del punto de origen. El punto más distante del aluvión que fue evaluado (LLAC-08) mostró aún valores de pH ácido, lo que evidencia un mayor alcance del impacto.
8. En la represa natural temporal de agua (LLAC-03) se registraron condiciones ácidas, lo que representa un riesgo potencial de liberación súbita de aguas contaminadas hacia el cauce principal, en caso de colapso o erosión de la estructura natural.
9. El drenaje ácido de roca identificado constituye un proceso de degradación ambiental en curso, con capacidad de afectar la calidad del agua, la biota acuática y posiblemente los usos aguas abajo. La persistencia del DAR requiere un seguimiento continuo y acciones de control para evitar su agravamiento.

## 5. RECOMENDACIONES

### ▪ En el corto plazo

1. Constituir un equipo técnico con las entidades competentes para que se elabore un plan de trabajo, donde se incluya un plan monitoreo, control y reducción del impacto del drenaje ácido de roca en la UH Casca-Llaca, que permita complementar recursos y capacidades en el análisis de los parámetros para los distintos fines y mantener una red de puntos monitoreados.
2. Evaluar la viabilidad de la realización de plan para el cartografiado detallado a escala local (1:10,000) en la zona afectada por el aluvión del 28 de abril de 2025 en la UH Casca-Llaca, con el fin de identificar los focos generadores de drenaje ácido de roca (DAR), asociados a los afloramientos de la Formación Sapotal y a los depósitos coluviales y proluviales recientes. Este trabajo requiere actividades intensivas de campo, así como la toma y análisis de muestras de roca, por lo que debe ser liderado por un equipo multidisciplinario y contar con la participación de instituciones como el Inaigem, Ingemmet, IGP, DREM, el gobierno de la municipalidad de Independencia y del gobierno regional de Áncash. La identificación precisa de estos puntos activos permitirá identificar los sitios donde se deben de realizar medidas de mitigación mediante la implementación de acciones específicas en los sectores críticos.
3. Realizar análisis geoquímicos y mineralógicos en las rocas aflorantes, sedimentos y agua de la unidad hidrográfica Casca-Llaca, con el fin de identificar los metales potencialmente tóxicos que pueden movilizarse a través de procesos de drenaje ácido de roca (DAR) y afectar la calidad de los cuerpos de agua superficiales y otros compartimentos ambientales. Para estos análisis se deberá coordinar con el equipo técnico que se organice, pudiéndose solicitar al Ingemmet, IGP, DREM de Áncash, ANA, apoyo para realizar estos análisis.

### ▪ Mediano plazo

4. Se recomienda realizar la remoción controlada del material aluvional depositado sobre la quebrada Casca-Llaca, dado que su contenido de sulfuros lo convierte en una fuente activa de generación de DAR. Para garantizar una intervención segura, la remoción debe estar precedida por una delimitación precisa del cuerpo deslizado, mediante evaluación de campo y muestreos sistemáticos de sedimentos que permitan identificar la extensión y concentración de sulfuros del depósito. Además, se debe asegurar la disposición del material retirado en un lugar técnicamente acondicionado. La determinación de la posible ubicación de la disposición del material retirado se debe realizar a corto plazo, con la ayuda de los actores y entidades competentes.

### ▪ Largo plazo

5. Para la implementación de acciones orientadas al control y mitigación del peligro, es indispensable que el grupo técnico considere criterios que garanticen la eficacia y seguridad de las intervenciones. Esto incluye la evaluación geotécnica previa, la caracterización ambiental de línea base, el diseño validado por especialistas y la gestión de riesgos. Sobre la base de las consideraciones profesionales, el grupo técnico que se constituya deberá evaluar las mejores medidas para controlar el peligro. A continuación, se plantean algunas de ellas:

- a. Sellar o encapsular zonas expuestas con alto contenido de sulfuros mediante coberturas inertes (geomembranas, suelos arcillosos compactados o enmiendas calcáreas) para reducir la exposición y transporte de flujos de detritos hacia el río Casca.
- b. Implementar diques de contención y sedimentación aguas abajo de la laguna B y de la represa natural temporal, con capacidad de retención de sólidos finos y control del transporte de precipitados férricos.
- c. Implementar un sistema de bancos de contención para la estabilización de taludes, controlar la erosión, reducir la energía de escorrentía y disminuir la generación y el transporte de drenaje ácido de roca (DAR) en las laderas con presencia de material sulfurado o inestable.
- d. Considerar la neutralización de las aguas ácidas en puntos críticos mediante la aplicación controlada de materiales alcalinos (por ejemplo, cal o carbonato de calcio), o la creación de sistemas pasivos de tratamiento (canales de neutralización, pozas de sedimentación, humedales artificiales). Estas medidas deben diseñarse bajo supervisión técnica especializada.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casimiro Soriano, E. M., Chung Tong, B., & Cárdenas Pinto, D. G. (2023). Monitoreo de aguas residuales y evaluación del cumplimiento de Valores Máximos Admisibles (VMA) en colectores primarios del área de drenaje de una planta de tratamiento. *Yotantsipanko*, 3(1), 21–38. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v3i1.27>
- Cepeda Hernández, I. K. (2023). *Desarrollo del plan de muestreo y toma de muestras de agua (Generación de contenidos impresos N.º 6)*. <https://doi.org/10.16925/gcgp.73>
- Crisanto-Rojas, N., & Iannacone, J. (2023). Evaluation of the Impact of acidification on the water quality of Quebrada Quilcayhuanca, Ancash, Perú. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 47(185). <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1950>
- Minam. (2017, junio 7). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>.
- INAIGEM & INGEMET. (2025). Inspección técnica del aluvión en la subcuenca Casca debido al desborde de lagunas glaciares el 28 de abril de 2025. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña & Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/633>
- Misman, N. A., Sharif, M. F., Chowdhury, A. J. K., & Azizan, N. H. (2023). Water pollution and the assessment of water quality parameters: a review. *Desalination and Water Treatment*, 294, 79–88. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29433>
- OMS. (2017). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Santofimia, E., López-Pamo, E., Palomino, E. J., González-Toril, E., & Aguilera, Á. (2017). Acid rock drainage in Nevado Pastoruri glacier area (Huascarán National Park, Perú): hydrochemical and mineralogical characterization and associated environmental implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 25243–25259. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0093-0>
- Tiwari, R., & Mahalpure, G. S. (2025). A Detailed Review of pH and its Applications. *Journal of Pharmaceutical and Biopharmaceutical Research*, 6(2), 492–505. <https://doi.org/10.25082/JPBR.2024.02.001>
- UICN SUR. (2008). *Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas*

## ANEXO 1. CONCEPTOS CLAVES

- **Calidad del agua:** Describe las características químicas, físicas y biológicas del agua en relación con su idoneidad para un uso o propósito específico. Además, se evalúa mediante la comparación de los valores de una serie de parámetros fisicoquímicos y biológicos que se establece para los estándares de calidad ambiental (OMS, 2017).
- **Drenaje ácido roca (DAR):** es exacerbado por retroceso glaciar, que forma parte de un proceso geoquímico que ocurre cuando el retroceso de los glaciares expone lechos rocosos que poseen minerales sulfurados (como piritita,  $\text{FeS}_2$ ), que anteriormente estaban cubiertos por hielo. Al quedar expuestas las rocas al oxígeno y al agua, estos minerales se oxidan, generando acidez y liberando los metales pesados (como hierro, aluminio, cobre y zinc) en el agua de deshielo, ríos y lagos glaciares, este fenómeno se intensifica por la aceleración del cambio climático (Santofimia et al., 2017).
- **Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua:** niveles de concentración de elementos y sustancias, así como de parámetros físicos, químicos y biológicos, que no deben excederse para proteger la salud humana y el ambiente. Además, establecen el nivel máximo permitido de contaminantes o sustancias en un cuerpo de agua, según su uso (Minam, 2017).
- **Muestreo:** procedimiento de campo que consiste en la toma de una porción representativa de un medio (agua, suelo, aire, sedimento) o de una población biológica, con el fin de obtener información sobre las características del todo (Cepeda Hernández, 2023).
- **Parámetros fisicoquímicos:** conjunto de propiedades medibles que describen el estado físico y las características químicas de una muestra de agua, suelo o aire. Incluyen, entre otros, como temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez y salinidad (Misman et al., 2023).
- **Punto de monitoreo:** Ubicación geográfica específica y predefinida donde se toman muestras o se realizan mediciones in situ de variables ambientales (como los parámetros fisicoquímicos o biológicos) para poder evaluar en la calidad de un cuerpo de agua, suelo y aire (Casimiro Soriano et al., 2023).
- **pH:** escala que mide la acidez o alcalinidad del agua. El valor 7 indica neutralidad; valores menores son ácidos y mayores, básicos (Tiwari & Mahalpure, 2025).
- **Unidad hidrográfica:** área de terreno delimitada naturalmente por un parteaguas o divisoria de aguas, donde toda el agua superficial drena a través de una serie de arroyos, ríos y eventualmente hacia un único punto de salida (UICN SUR, 2008).

## ANEXO 2. FICHAS DE CAMPO

## HOJA DE CAMPO - MEDICIONES EN AGUA

Cuenca: SANTA  
 Unidad Hidrográfica: CASCA-LLACA  
 Fecha: 19/9/2025

Departamento: Ancash  
 Provincia: Huaraz  
 Distrito: Independencia  
 Responsable: Yeidy Montano

Identif. Estación de muestreo	Estación de evaluación			pH (Unid. de pH)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Conductividad Eléctrica ( $\mu$ S/cm)	Temperatura (T <sup>o</sup> )	ORP (mV)	TDS (ppm)
	Coordenadas UTM	Altitud ms.n.m	Descripción: Origen, Ubicación						
	Este	Norte							
LLAC-PA-01	229521	8955292	4539	4,10	8,84	202,00	8,23	434,6	101
LLAC-PA-02	229535	8955210	4548	3,1	6,76	1799	11,42	457,3	900
LLAC-PA-03	229533	8955195	4621	3,24	8,8	1638	7,35	441,8	819
LLAC-PA-04	229564	8955158	4725	3,81	5,38	1260	10,16	374,7	630
LLAC-PA-05	230354	8954550	4357	3,08	6,71	1309	7,61	495,7	6550
LLAC-AG-01	229687	8955118	4770	3,21	7,88	1290	8,65	443	645

**HOJA DE CAMPO - MEDICIONES EN AGUA**

Cuenca: **SANTA**  
 Unidad Hidrográfica: **CASCA-LLACA**  
 Fecha: **02/10/2025**

Departamento: **ANCASH**  
 Provincia: **Huaraz**  
 Distrito: **Independencia**  
 Responsable: **Yeidy Montano**

Identif. Estación de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud m s.n.m	Descripción: Origen, Ubicación	pH (Unid. de pH)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Conductividad ad Eléctrica (uS/cm)	Temperatura (T°)	ORP (mV)	TDS (ppm)
	Este	Norte								
LLAC-01	230348	8954566	4135	Punto inicial de la muestra que confluye con la carretera Huaraz a laguna Llaca (parte alta), aportante al río Casca	3,27	6,65	601,00	5,62	466,9	301
LLAC-02	230508	8954542	4268	Represa natural temporal de agua (acumulación de agua).	5,6	6,56	81	5,9	237,2	41
LLAC-03	230500	8954280	4276	Río principal, a 275 m del aportante natural.	5,02	7,25	190	6,39	219,4	95
LLAC-04	231033	8955391	4344	Descarga de la laguna Llaca, a 1075 m antes del aportante natural.	6,64	6,96	139	6,94	175,6	70
LLAC-05	227648	8950158	3675	Río Casca, situado en el puente destruido del desvío Llaca a Willichuain	5,25	7,39	162	10,06	221,3	81
LLAC-AG-02	230244	8953973	4265	Río principal, a 785 m del aportante natural.	5,15	7,15	195	6,82	241,5	97

# ANEXO 3. RESULTADOS DE LABORATORIO DEL ANÁLISIS DE METALES EN LAS MUESTRAS DE AGUA PARA LOS PUNTOS LLAC-AG-01 Y LLAC-AG-02.



## INFORME DE ENSAYO AG250460

**CLIENTE** Razón Social : INAIGEM  
 Dirección : Av. Centenario N° 2656 - Sector Palmira  
 Atención : Mirha Josefina Camacho Hernandez

**MUESTRA** Producto declarado : Agua de Quebrada<sup>1</sup>  
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial  
 Procedencia : Unidad Hidrográfica Casca - Llaca<sup>1</sup>  
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC250286

**MUESTREO** Responsable : Muestra proporcionada por el cliente  
 Referencia : No indica

**LABORATORIO** Fecha de recepción : 03 / Octubre / 2025  
 Fecha de análisis : 03 de Octubre - 24 de Octubre / 2025  
 Cotización N° : CO250003

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	LLAC-01
					Fecha de Muestreo	19/09/2025
					Hora de Muestreo	14:30
					Código del Laboratorio	AG250631
<b>MT METALES TOTALES</b>						
	Plata total (Ag)	mg/l		0.00037		< 0.00037
	Aluminio total (Al)	mg/l		0.003		1.769
	Arsénico total (As)	mg/l		0.008		< 0.008
	Boro total (B)	mg/l		0.003		< 0.003
	Bario total (Ba)	mg/l		0.003		< 0.003
	Berilio total (Be)	mg/l		0.003		< 0.003
	Calcio total (Ca)	mg/l		0.008		1.381
	Cadmio total (Cd)	mg/l		0.003		< 0.003
	Cobalto total (Co)	mg/l		0.003		< 0.003
	Cromo total (Cr)	mg/l		0.003		< 0.003
	Cobre total (Cu)	mg/l		0.003		< 0.003
	Hierro total (Fe)	mg/l		0.003		0.710
	Mercurio total (Hg)	mg/l		0.001		< 0.001
	Potasio total (K)	mg/l		0.040		0.526
	Litio total (Li)	mg/l	EPA 200.7	0.008		< 0.008
	Magnesio total (Mg)	mg/l		0.008		0.186
	Manganeso total (Mn)	mg/l		0.003		0.058
	Molibdeno total (Mo)	mg/l		0.003		< 0.003
	Sodio total (Na)	mg/l		0.008		< 0.008
	Níquel total (Ni)	mg/l		0.003		< 0.003
	Plomo total (Pb)	mg/l		0.003		< 0.003
	Antimonio total (Sb)	mg/l		0.003		< 0.003
	Selenio total (Se)	mg/l		0.003		< 0.003
	Estroncio total (Sr)	mg/l		0.003		0.018
	Talio total (Tl)	mg/l		0.003		< 0.003
	Vanadio total (V)	mg/l		0.003		< 0.003
	Zinc total (Zn)	mg/l		0.003		0.099
	Uranio (U)	mg/l		0.010		< 0.010

Legenda: EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)  
<sup>1</sup> Datos proporcionados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 24 de Octubre de 2025



Dr. María Leyva Collas  
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental  
 FCAM - UNASAM  
 CQA N° 604

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
 Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.  
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL  
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
 Av. Centenario N°200-Huaraz- Ancash- Telef: 043 840020 - Anexos: 3602- 3501  
 E-mail: dgca-ica-av@umasam.edu.pe

F-001/Revisión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1



**INFORME DE ENSAYO AG250461**

**CLIENTE** Razón Social : INAIGEM  
 Dirección : Av. Centenario N°2656 - Sector Palmira  
 Atención : Mirtha Josefina Camacho Hernandez

**MUESTRA** Producto declarado : Agua de Quebrada<sup>1</sup>  
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial  
 Procedencia : Unidad Hidrográfico Casca - Llaca<sup>1</sup>  
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC250286

**MUESTREO** Responsable : Muestra proporcionada por el cliente  
 Referencia : No indica

**LABORATORIO** Fecha de recepción : 03 / Octubre / 2025  
 Fecha de análisis : 03 de Octubre - 24 de Octubre / 2025  
 Cotización N° : CO250604

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	LLAC-02
					Fecha de recepción <sup>1</sup>	02/10/2025
					Hora de muestra <sup>1</sup>	12:30
					Código del Laboratorio	AG250632
<b>MT</b>	<b>METALES TOTALES</b>					
	Plata total (Ag)	mg/l		0.00037		< 0.00037
	Aluminio total (Al)	mg/l		0.003		24.523
	Arsénico total (As)	mg/l		0.008		< 0.008
	Boro total (B)	mg/l		0.003		< 0.003
	Bario total (Ba)	mg/l		0.003		< 0.003
	Berilio total (Be)	mg/l		0.003		< 0.003
	Calcio total (Ca)	mg/l		0.008		15.012
	Cadmio total (Cd)	mg/l		0.003		< 0.003
	Cobalto total (Co)	mg/l		0.003		< 0.003
	Cromo total (Cr)	mg/l		0.003		< 0.003
	Cobre total (Cu)	mg/l		0.003		< 0.003
	Hierro total (Fe)	mg/l		0.003		18.251
	Mercurio total (Hg)	mg/l		0.001		< 0.001
<b>MT38</b>	Potasio total (K)	mg/l	EPA 200.7	0.040		0.717
	Litio total (Li)	mg/l		0.008		< 0.008
	Magnesio total (Mg)	mg/l		0.008		2.001
	Manganeso total (Mn)	mg/l		0.003		0.611
	Molibdeno total (Mo)	mg/l		0.003		< 0.003
	Sodio total (Na)	mg/l		0.008		0.297
	Niquel total (Ni)	mg/l		0.003		< 0.003
	Piomo total (Pb)	mg/l		0.003		< 0.003
	Antimonio total (Sb)	mg/l		0.003		< 0.003
	Selenio total (Se)	mg/l		0.003		< 0.003
	Estroncio total (Sr)	mg/l		0.003		0.221
	Talio total (Tl)	mg/l		0.003		< 0.003
	Vanadio total (V)	mg/l		0.003		< 0.003
	Zinc total (Zn)	mg/l		0.003		1.207
	Uranio (U)	mg/l		0.010		< 0.010

Leyenda: EPA - Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)  
<sup>1</sup> Datos proporcionados por el cliente

\*Fin del Informe de Ensayo\*

Huarez, 24 de Octubre de 2025



*Dr. Mario Leyva Collas*  
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental  
 FCAM - UNASAM  
 CQP N° 604

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
 Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.  
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL  
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
 Av. Centenario N°200-Huarez-Ancash. Telef. 043 840020 - Anexos: 3602- 3501  
 E-mail: dgce-lca-av@unasam.edu.pe



**INAIGEM**

INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA