

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES
SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES

INFORME N° 001-2025-INAIGEM-DIG-SDRAG-ITC

INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA LAGUNA CANCAHUA DEBIDO AL DESBORDE DEL 3 DE MARZO DE 2025

Distrito de Shilla, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash



ABRIL, 2025



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



Título: Inspección Técnica de la laguna Cancahua debido al desborde del 3 de marzo de 2025. Distrito de Shilla, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash.

Editado por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

Dirección de Investigación en Glaciares
Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares
Av. Centenario 2656 - Sector Palmira, Independencia, Huaraz, Áncash, Perú
Teléfono: +51 (043) 643460
Web: <https://www.gob.pe/inaigem>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

Dra. Beatriz Fuentealba Durand
Presidenta Ejecutiva del INAIGEM

Equipo técnico:

Dra. Paola Moschella Miloslavich
Directora
Dirección de Investigación en Glaciares - DIG

Mag. Vladimir Cuisano Marreros
Subdirector
Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares - SDRAG

Ing. Adriana Caballero Bedriñana
Especialista en Ingeniería Civil

Ing. Enver Melgarejo Romero
Especialista en Geomática de Alta Montaña

Ing. Hilbert Villafane Gomez
Especialista en Modelamiento de Alta Montaña

Ing. Manuel Cosi Fajardo
Especialista en Geología - Geotecnia

Ing. Angel Salas Colca
Especialista en Geología

Bach. Heraldo Palomino Gutiérrez
Practicante Profesional en Modelamiento de Alta Montaña

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	Objetivo General.....	5
1.1.1	Objetivos específicos.....	5
1.2	Ubicación.....	5
1.3	Accesibilidad.....	6
2	ANTECEDENTES.....	6
3	CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA	9
4	METODOLOGÍA.....	10
4.1	Flujo metodológico.....	10
4.2	Información generada mediante RPAS.....	10
4.3	Análisis geotécnico	11
4.4	Modelamiento hidráulico del GLOF.....	14
4.5	Elaboración del mapa geológico y geomorfológico	14
5	RESULTADOS	14
5.1	Condicionantes del evento.....	14
5.1.1	Mapa geológico	14
5.1.2	Mapa geomorfológico	17
5.2	Desencadenante del evento: Avalancha de hielo	21
5.3	Desborde de la laguna Cancahua Alta.....	22
5.4	Socavación generada por el GLOF.....	25
5.5	Flujos de detritos	26
5.5.1	Modelamiento del flujo de detritos	27
5.5.2	Mapa del aluvión	28
5.6	Afectación.....	31
6	CONCLUSIONES.....	35
7	RECOMENDACIONES.....	35
8	BIBLIOGRAFÍA.....	37
9	ANEXOS.....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la laguna Cancahua sobre la quebrada Cancahuapampa	5
Figura 2. Evolución de la laguna Cancahua	6
Figura 3. Ubicación actual de la laguna Cancahua según el Inventario de Glaciares del año 1989.....	7
Figura 4. Inspección de la laguna Cancahua en agosto de 2023	8
Figura 5. Flujo metodológico	10
Figura 6. Toma de muestra de suelo y realización de ensayos de densidad.....	12
Figura 7. Geología del entorno de la laguna Cancahua	15
Figura 8. Mapa geológico de la quebrada Cancahuapampa	16
Figura 9. Huella del aluvión: Unidad Aluvional en el mapa geomorfológico.....	17
Figura 10. Mapa geomorfológico de la quebrada Cancahuapampa 2023	18
Figura 11. Mapa geomorfológico de la quebrada Cancahuapampa 2025 post GLOF .	20
Figura 12. Ubicación de la zona de desprendimiento en las fechas 2023 y 2025.....	21
Figura 13. Huella de la avalancha de hielo	21
Figura 14. Simulación de avalancha de hielo	22
Figura 15. Crecimiento de la laguna Cancahua Alta al 2025.....	23
Figura 16. Aguas abajo de la laguna Cancahua Alta.....	24
Figura 17. Zona de socavación de material glaciárico causado por el GLOF	25
Figura 18. Perfil longitudinal del proceso en cadena del GLOF	26
Figura 19. Zona de depósito del flujo de detritos.....	27
Figura 20. Modelamiento GLOF en la quebrada Cancahuapampa y Ulta	27
Figura 21. Mapa del aluvión del 3 de marzo de 2025 (A)	28
Figura 22. Mapa del aluvión del 3 de marzo de 2025 (B)	29
Figura 23. Mapa de la huella del aluvión de la laguna Cancahua del 3 de marzo de 2025	30

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las muestras de suelos.....	12
Tabla 2. Propiedades físicas de los suelos.	13
Tabla 3. Propiedades de resistencia de los suelos	13
Tabla 4. Leyenda del mapa geológico	15
Tabla 5. Unidades del mapa geomorfológico de la quebrada Cancahuapampa 2025 post GLOF.....	19
Tabla 6. Parámetros geométricos e hidráulico de la laguna Cancahua al 2025	22

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de ensayos de laboratorio: Análisis Granulométrico por Tamizado / Determinación del Contenido de Humedad / Límites de Atterberg.....	38
Anexo 2. Resultados de ensayos de laboratorio: Ensayo de Corte Directo MTC E 123 - ASTM D 3080	40
Anexo 3. Resultados de Ensayos de Campo: Ensayo de densidad del suelo in situ método del cono de arena	42

1 INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), en cumplimiento con sus competencias como entidad técnica-científica del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), ha elaborado la inspección técnica a la laguna Cancahua (Distrito de Shilla, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash), a consecuencia de su desborde ocurrido el día de 3 de marzo de 2025.

Este trabajo fue realizado por la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG), a través de la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares (SDRAG) mediante su actividad operativa de “Evaluación del peligro y riesgo asociados a glaciares”, contribuyendo de esta manera, con las entidades del SINAGERD, al ofrecer una información oportuna sobre la caracterización del desborde violento de la laguna glaciar Cancahua, originado por una avalancha de hielo que impactó sobre su cuerpo de agua generando oleajes. Este tipo de evento es conocido como GLOF, por sus siglas en inglés.

La inspección técnica fue realizada en tres etapas: La primera fue de “Pre-campo”, donde se buscó información de antecedentes de los reportes asociados a la actividad operativa de “Monitoreo del peligro en lagunas y glaciares priorizados” de la SDRAG, así como información satelital histórica e información geológica y geomorfológica del ámbito de estudio; la segunda etapa consistió en la “Inspección de campo”, la cual se desarrolló durante los días 7 y 11 de marzo de 2025, en esta actividad se realizó un sobrevuelo con un vehículo aéreo no tripulado (RPAS, por sus siglas en inglés) y se tomaron muestras de suelos, en las cuales se realizarán ensayos de laboratorio y cuyos resultados serán utilizados como elementos de entrada en la modelación hidráulica realizada para calcular el volumen de agua desbordado.

La tercera etapa abordó el trabajo en “Gabinete”, donde se procesó la información obtenida mediante RPAS, generándose un ortomosaico con una alta resolución espacial de 8 cm y un modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) de 15 cm; esta data se vinculó con la modelación hidráulica, posteriormente, se logró calcular el volumen de agua y del material superficial transportado y depositado por el GLOF en el ámbito de la quebrada Cancahuapampa, este resultado permitió actualizar el mapa geomorfológico del área de estudio y se estimó elementos expuestos que fueron afectados por este tipo movimiento en masa aluvional.

Finalmente, el presente informe de inspección técnica incluye conclusiones y recomendaciones, la cuales se ponen a disposición de la Municipalidad Distrital de Shilla, la Municipalidad Provincial de Carhuaz y el Gobierno Regional de Áncash, así como las entidades técnicas y asesoras del SINAGERD, tales como el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre (CENEPRED) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDEC); para que cada entidad implemente las acciones y/o medidas que les corresponde, de acuerdo con sus competencias y en el marco de lo establecido en la normativa vigente.

1.1 Objetivo General

Caracterizar el desborde violento de la laguna glaciar Cancahua (Distrito de Shilla, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash), ocurrido el 3 de marzo de 2025.

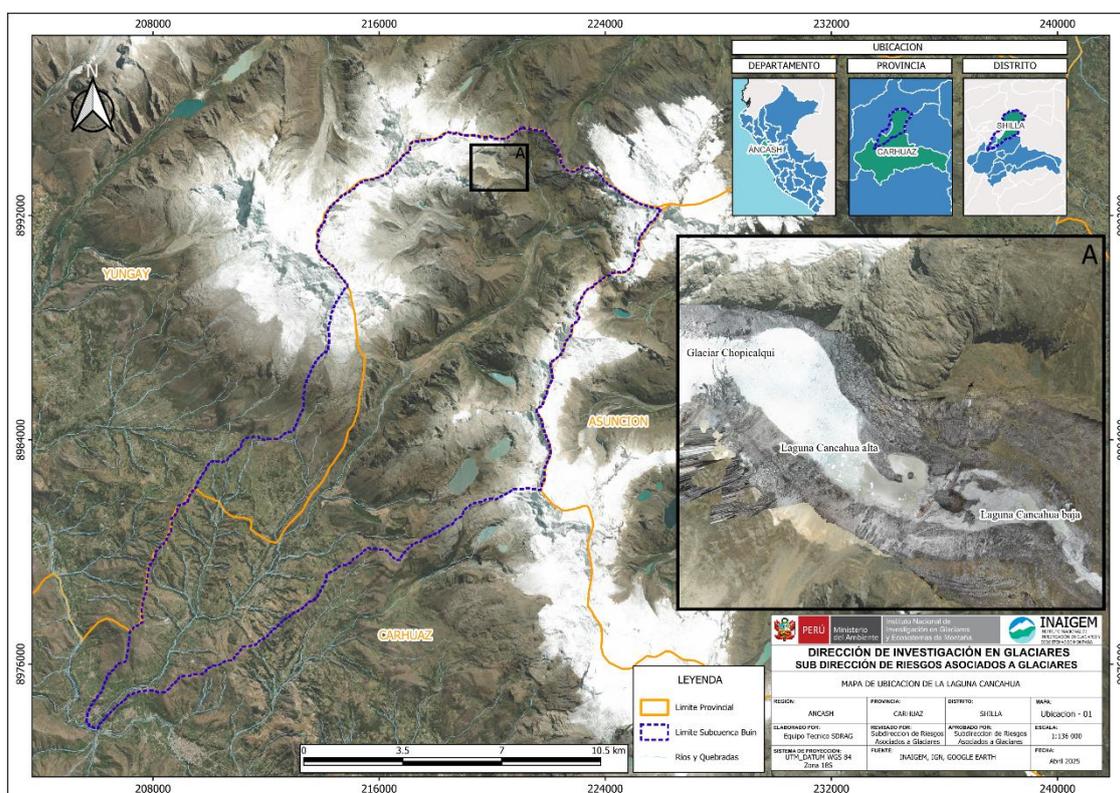
1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar el entorno físico-geográfico de quebrada Cancahuapampa.
- Modelar y calcular hidráulicamente el GLOF ocurrido por el desborde de la laguna Cancahua.
- Actualizar el mapa geomorfológico de la quebrada Cancahuapampa.
- Elabora un mapa del aluvión por desborde de la laguna Cancahua
- Proponer medidas estructurales y no estructurales para la reducción del riesgo por GLOF en la quebrada Cancahuapampa.

1.2 Ubicación

La laguna glaciar Cancahua (Coordenadas: Datum WBS 84, UTM S18, N 8993748.00, E 220090.00) se localiza en la cabecera de la quebrada Cancahuapampa a una altitud de 4,675 m s.n.m., esta pequeña unidad hidrográfica es un tributario de la subcuenca Buin, en el distrito de Shilla, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash (Figura 1).

Figura 1. Mapa de ubicación de la laguna Cancahua sobre la quebrada Cancahuapampa



Fuente: INAIGEM (2025)

1.3 Accesibilidad

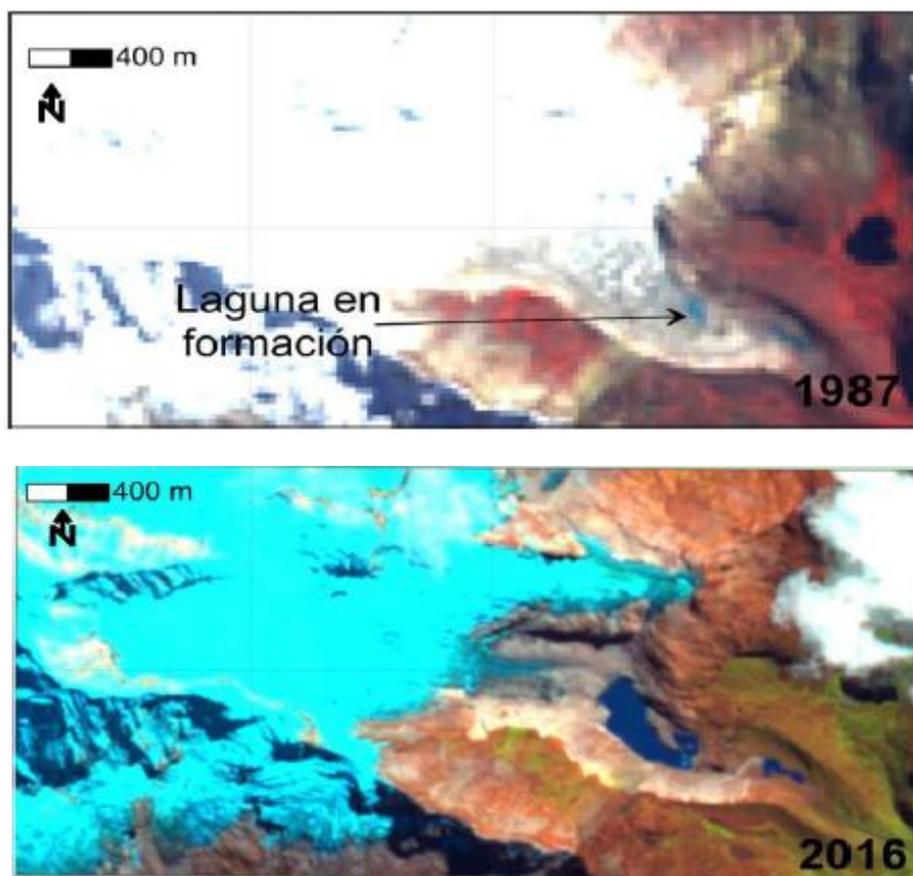
La accesibilidad a la quebrada Cancahuapampa es únicamente por vía terrestre, a través de la red vial departamental AN-107 tramo Carhuaz – Chacas, a la altura del puente sin nombre que se ubica en el sector La Pampa; a 2hrs 30 min de la ciudad de Huaraz.

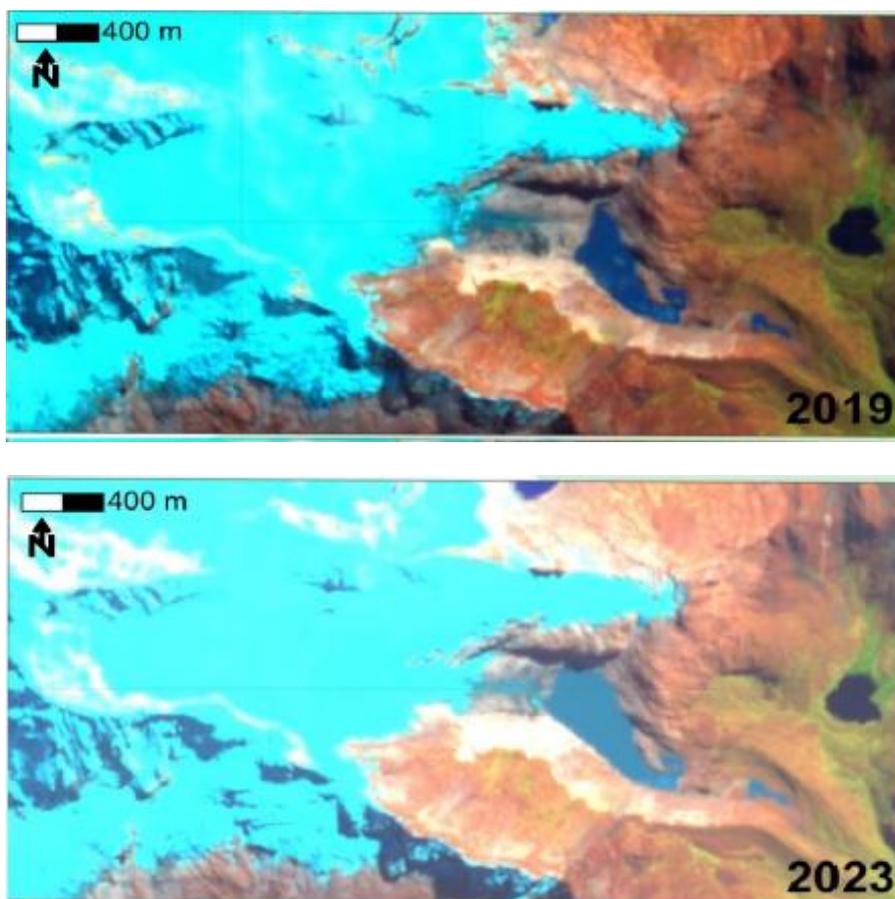
2 ANTECEDENTES

En el marco de la actividad operativa de “Monitoreo del peligro en lagunas y glaciares prioritizados” de la SDRAG, se ha realizado monitoreo directo (inspección en campo) e indirecto (utilizando técnica de percepción remota).

Con relación al monitoreo indirecto sobre la laguna Cancahua, el análisis de imágenes satelitales, indica que es una laguna en formación desde el año 1987, inició como una laguna supraglacial y con el avance del derretimiento glaciar, esta laguna fue ganando tamaño y volumen. De acuerdo con INAIGEM (2024), la laguna Cancahua cuenta con un largo de 762.97 m y un ancho de 328.81 m, con un área de 147.962 m² y actualmente se caracteriza por ser una laguna proglacial. Además, se encuentra represada por un dique de roca maciza y aguas abajo presenta otra pequeña laguna (Figura 2).

Figura 2. Evolución de la laguna Cancahua





Fuente: LandSat 5 (1987), Sentinel 2 (2016 al 2023).

Por otra parte, de acuerdo con el Inventario de Glaciares del año 1989 (HIDRANDINA, 1989) disponible en el Geoportal de INAIGEM, se puede confirmar que, la laguna Cancagua tuvo un origen supraglaciar (Figura 3).

Figura 3. Ubicación actual de la laguna Cancagua según el Inventario de Glaciares del año 1989



Fuente: Hidrandina (1989) Glaciar representado en color rosado y lagunas actuales en color azul.

La Figura 3 muestra en color rosado el ámbito del glaciar Chopicalqui, el cual ha ido retrocediendo durante los últimos 37 años, permitiendo la formación y configuración de la actual laguna Cancahua. La misma imagen muestra en color azul las lagunas que se pueden identificar el día de hoy entre su entorno.

Por otra parte, en agosto de 2023 y como parte de las actividades operativas de “Monitoreo del peligro en lagunas y glaciares priorizados” a cargo de la SDRAG, se realizó una salida de campo a la laguna Cancahua, con el objetivo de conocer las características y formación de este cuerpo de agua, y caracterizar su entorno, con relación al glaciar Chopicalqui.

A través de esta inspección, la Figura 4 muestra que la pared glaciar con mayor inestabilidad sostiene una activa dinámica de derrumbes y deslizamientos, dando forma a un cono de material mixto entre hielo residual y sedimentos, el cual mantiene contacto con el espejo de agua, caracterizándola como una laguna proglaciar.

En el entorno de represamiento de la laguna, su sector posterior es ocupado por el glaciar Chopicalqui, las zonas laterales se caracterizan por su material glaciárico no consolidado y la zona frontal por su dique de roca maciza; sobre la laguna se visualizan varios bloques de hielo flotando, producto de los derrumbes en la zona de contacto con el glaciar, estos bloques llegan a ser transportados por el agua hasta la altura del dique.

Figura 4. Inspección de la laguna Cancahua en agosto de 2023



Fuente: INAIGEM (2023).

3 CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA

El ámbito de estudio es parte del sistema nevado del Huascarán, cercano al pico Chopicalqui, y de acuerdo con el Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar 2023 (INAIGEM, 2023b), es el glaciar Cancahua 1 el que mantiene contacto con la laguna.

El glaciar Cancahua 1, cuenta con dos clasificaciones: libre de detritos y cubierto de detritos, esta última es la que mantiene contacto con el cuerpo de agua. Por otra parte, su entorno geológico se caracteriza por estar conformado por Batolito de la Cordillera Blanca, la Formación Chicama y depósitos Cuaternarios.

De acuerdo con la carta geológica nacional (Wilson et al., 1995), el batolito de la Cordillera Blanca está compuesto principalmente por granodiorita y tonalita de grano grueso y el Grupo Chicama, está conformado por intercalaciones entre lutitas y areniscas finas principalmente. Adicionalmente los depósitos cuaternarios, son de origen diverso, desde morrenas y depósitos aluviales que provienen de las distintas quebradas y se depositan en la quebrada Ulta.

La cabecera de la quebrada Cancahuapampa se encuentra estructurada por el circo glaciar, la laguna y morrenas laterales; el curso del agua que nace en este sector es tributario del río de la subcuenca Buin, el cual pertenece al sistema de la cuenca del río Santa, en la vertiente del Pacífico.

La parte intermedia y baja de la quebrada, se caracteriza por mantener una amplia cobertura bofedal, estos sectores fueron identificados en el Inventario Nacional de Bofedales 2023 (INAIGEM, 2023a), suelos altamente saturados con una extensión no menor a las 25 Ha. Es importante precisar que, estos ecosistemas de montaña localizados en el ámbito de estudio no cuentan con estudios específicos, desconociéndose la caracterización de la flora y fauna que los alberga.

En la parte baja de la quebrada, se puede identificar que, el curso del agua confluye con otros, dando forma al entorno de cabecera de la subcuenca del río Buin. En este sector se localiza el puente sin nombre de la carreta Carhuaz – Chacas, el cual permite el paso a la ladera donde se ubica el túnel vehicular trasandino Punta Olímpica, el cual conecta las provincias de Carhuaz y Asunción.

Aguas abajo, en la parte intermedia de la subcuenca Buin, el fondo del valle se amplía y se empiezan a localizar viviendas dispersas colindantes a la carretera, así como actividades económicas como las piscigranjas.

Este sector intermedio de la subcuenca Buin también se caracteriza por su dinámica de caídas de rocas y deslizamientos, los cuales interrumpen el paso vehicular en diferentes tramos de la carretera, principalmente durante la temporada de lluvias.

4 METODOLOGÍA

4.1 Flujo metodológico

A continuación, se muestra el flujo metodológico aplicado en el proceso de la inspección técnica a la laguna Cancahua (Figura 5):

Figura 5. Flujo metodológico



Fuente: INAIGEM (2025)

4.2 Información generada mediante RPAS

Consiste en generar información geoespacial mediante vuelos con sistema de aeronave pilotadas remotamente (RPAS, por sus siglas en inglés) que comúnmente son conocidos como drones, en este caso, se ha empleado esta herramienta para el cartografiado del ámbito de influencia directa del evento GLOF ocurrido el 3 de marzo de 2025 en la laguna Cancahua.

a) Preparación preliminar para vuelo RPAS

Elaboración del plan de vuelo con la información disponible, con el objetivo de zonificar espacialmente las coberturas del vuelo, considerando la forma del terreno, estimando áreas probables de afectación por el evento GLOF, según la información preliminar obtenida por parte del COER.

b) Trabajo en campo

Etapla donde se realizaron los ajustes de los planes de vuelo, con relación a la forma del terreno y el ámbito de influencia del GLOF sobre la subcuenca Cancahuapampa, las características del RPAS utilizado fueron las siguientes:

- Equipo RPAS: Mavic 3 Multiespectral.
- Cámara RGB: 20 MP (espectro visible)
- Control remoto: DJI RC Pro
- Cámara Multiespectral: CMOS, pixeles efectivos 5 MP
- GNSS: GPS + Galileo + GLONASS
- Almacenamiento: SD de 64 Gb
- Batería: 5000 mAh a 15,4 voltios

c) Procesamiento de información de vuelo

La herramienta usada en el procesamiento de la información del vuelo RPAS ha sido el paquete informático con licencia Agisoft Metashape Profesional en su versión 2.2.0. El proceso inició con la alineación de imágenes, donde se emparejan los datos y se busca coincidencias de puntos en común entre distintas fotografías secuenciales, con la finalidad de obtener una visión estereoscópica del terreno.

Posteriormente, se crea una malla para generar la representación tridimensional del área de estudio, acto seguido, se genera una nube de puntos densa, donde cada dato de estos representa una coordenada espacial derivada de las imágenes alineadas, finalizado este procedimiento, se obtuvieron los productos que se describen en el siguiente párrafo.

d) Insumos obtenidos

- Colección de imágenes aéreas de la zona afectada por el evento GLOF.
- Un Modelo Digital de Elevación (DEM) con una resolución espacial de 13 cm.
- Un ortomosaico RGB con una resolución espacial de 6 cm.

4.3 Análisis geotécnico

Determina las propiedades del terreno, con base a los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con las muestras de suelos extraídas en el ámbito de influencia del evento GLOF de la laguna Cancahua. Para lo cual se desarrollaron las siguientes etapas:

a) Identificación de zonas priorizadas en gabinete

Etapas pre-campo donde se identificó áreas priorizadas en donde realizar el muestreo de suelos, considerando la topografía y la accesibilidad a la zona. Se tomo como premisa, extraer las muestras en los depósitos glaciáricos en forma de morrena que embalsa el cuerpo de agua más pequeño ubicado en la parte frontal de la laguna Cancahua, siendo esta zona la que fue erosionada y cuya ruptura generó el aluvión del 3 de marzo.

b) Obtención de muestras

En esta etapa se realiza el reajuste de la ubicación de los puntos de muestreo según las condiciones del terreno y la accesibilidad. Extrayéndose dos muestras de suelos, ubicadas en el corte de talud perteneciente a la morrena, específicamente en la zona frontal de la laguna Cancahua, obteniéndose material fresco sin cobertura vegetal (Tabla 1).

En los puntos de muestreo se realizaron a su vez ensayos de densidad *in situ* mediante el método de cono de arena, permitiendo determinar la densidad natural del terreno en sus condiciones naturales (Figura 6).

Tabla 1. Resumen de las muestras de suelos

N°	Calicata	Muestra	Coordenadas UTM		
			Este	Norte	Altitud
1	C-01	250307-MS-BU01	221,331	8,993,154	4,378
2	C-02	250307-MS-BU02	221,400	8,993,102	4,353

Fuente: INAIGEM (2025)

Figura 6. Toma de muestra de suelo y realización de ensayos de densidad



Fuente: INAIGEM (2025)

c) Ensayos de laboratorio

Los ensayos geotécnicos de las muestras de suelos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación Geotécnica del INAIGEM, siguiendo las normas establecidas por la American Society for Testing Materials (ASTM), del cual se basa la Normativa Técnica Peruana (NTP):

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D422 / NTP 339.128
- Contenido de Humedad ASTM D2216 / NTP 339.127
- Límites de consistencia ASTM D4318 / NTP 339.129
- Clasificación de suelos SUCS ASTM D2487 / NTP 339.134
- Corte Directo en Suelos ASTM D3080

El objetivo de dichos ensayos es conocer las propiedades físicas y de resistencia del material, estos resultados servirán de insumo para los modelamientos de flujos y estudios y/o investigaciones posteriores (*Inputs* del Modelamiento GLOF).

d) Insumos obtenidos

De acuerdo con los resultados obtenidos, el depósito glaciárico está constituido por una grava mal graduada con limo y arena (GP-GM) a una arena mal graduada con limo y grava (SP-SM), de acuerdo con el sistema de clasificación SUCS. Siendo el contenido porcentual de gravas y arenas mayor a 90%, donde las gravas son de litología heterogénea y forma subangulosa (no redondeadas), llegando estas últimas a constituir más del 45% de la masa total del suelo. Respecto a la cantidad de material fino, se estima que representa el 10%, siendo escaso para este tipo de suelo (Tabla 2).

Además, presenta una densidad natural de 2.20 gr/cm³, no tiene plasticidad, es húmedo y contiene en su composición bloques (mayores a 12 pulgadas) y bolonería (de 3 a 12 pulgadas) de formas poco redondeadas.

Tabla 2. Propiedades físicas de los suelos.

N°	Muestra	Granulometría (%)			Humedad (%)	Límites de Atterberg			Densidad húmeda (gr/cm ³)	Densidad seca (gr/cm ³)	Clasificación SUCS	
		Grava	Arena	Finos		LL	LP	IP				
1	250307-MS-BU01	49.0	40.7	10.3	5.52	2.20	NP	NP	2.20	2.08	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena
2	250307-MS-BU02	45.6	46.6	7.8	5.86	2.40	NP	NP	2.40	2.26	SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava

Fuente: INAIGEM (2025)

Los parámetros de resistencia del suelo están representados por la cohesión y el ángulo de fricción, con valores de 0.8 kPa¹ y 25.6°² respectivamente, lo cual es característico para suelos arenosos sin cohesión y con poca presencia de elementos finos, por lo que es más propenso a sufrir derrumbes y deslizamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades de resistencia de los suelos

N°	Muestra	Tipo de suelo (SUCS)	Condición de la muestra	Estado	Velocidad (mm/min)	Angulo de fricción (°)	Cohesión C (kPa)
1	250307-MS-BU01	GP-GM	Alterada	Remoldeado	0.50	25.6	0.8

Fuente: INAIGEM (2025)

¹ kPa: La cohesión del suelo es la propiedad de sus partículas para adherirse entre sí, se mide en unidades de fuerza por unidad de área como kilopascales (kPa).

² El ángulo de fricción interna es una medida de la resistencia al deslizamiento entre las partículas de un suelo, se expresa en grados (°).

4.4 Modelamiento hidráulico del GLOF

El modelamiento del evento GLOF se realizó mediante el uso de software especializado para simular la cadena de procesos desencadenados, utilizando RAMMS: Avalanche y FLO-2D. Para ello, se empleó la topografía detallada de la zona, a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM) generado en el ítem anterior. A continuación, se describe el procedimiento seguido en la simulación:

- a. Generación de la geometría del área de estudio, incluyendo la batimetría de las lagunas Cancahua Alto y Bajo, la topografía de la llanura de inundación y la topografía del área glaciaria.
- b. Simulación de la avalancha de hielo utilizando RAMMS: Avalanche, considerando los parámetros $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\xi= 1000 \text{ m/s}^2$, $\mu=0.12$ (Schneider et al., 2014; Somos-Valenzuela et al., 2016)
- c. Estimación del volumen de desembalse generado en la laguna Cancahua Bajo como consecuencia del impacto de la avalancha de hielo.
- d. Simulación de la dinámica de la laguna Cancahua Bajo y la propagación del flujo de detritos aguas abajo mediante el modelo FLO-2D.

4.5 Elaboración del mapa geológico y geomorfológico

Se ha elaborado un análisis temporal del área de estudio, generando dos mapas geomorfológicos pre y post evento GLOF. El mapa previo al evento, se realizó con la información de obtenida con herramientas RPAS, generada a través de las actividades operativas de monitoreo de lagunas peligrosas de la SDRAG, utilizando un ortomosaico con una resolución espacial de 4 cm y un modelo digital de elevación de 8 cm del año 2023.

El segundo mapa geomorfológico se generó a partir del ortomosaico elaborado durante la inspección técnica de marzo del presente año. Ambos mapas fueron elaborados con una escala de 1/15 000. Permitiendo la representación de unidades con alto detalle. Además, con la información generada a partir de la inspección técnica, se actualizó el mapa de geología de la quebrada del área de estudio.

5 RESULTADOS

5.1 Condicionantes del evento

5.1.1 Mapa geológico

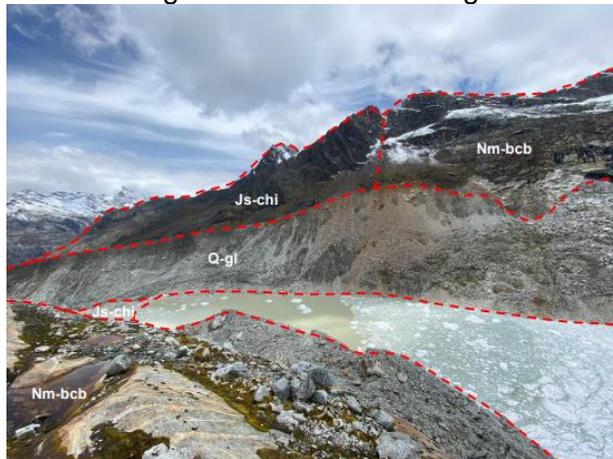
Geológicamente, en el entorno de la laguna Cancahua se emplazan afloramientos rocosos correspondientes a rocas del Neógeno y Jurásico, ubicados en la margen izquierda y parte frontal del cuerpo de agua. Estas rocas son de naturaleza ígnea y sedimentaria, compuestas litológicamente por granodioritas y tonalitas del Batolito de la Cordillera Blanca y metareniscas de la Formación Chicama, esta última actúa como dique natural de la laguna (Figura 7). Estas unidades rocosas conforman a su vez, el relieve montañoso y colinoso que se observa en los márgenes a lo largo del valle, el cual ha sido modelado por la dinámica glaciaria y fluvial que actúa en la zona.

La parte alta está constituida por un valle glaciario, emplazándose depósitos glaciáricos en forma de morrenas, constituido por bloques, bolonería y gravas de forma

subangulosa y litología variada, envueltos en una matriz arenosa con poca presencia de material fino. Asimismo, la parte media y baja de la quebrada, está conformada por un valle fluvial, encontrándose materiales de origen aluvial y fluvial, los cuales se emplazan en forme de planicies o terrazas en el fondo de valle, así como en forma de abanicos o piedemontes en las laderas; estos materiales están conformados por gravas y arenas en una matriz limoarenosa, donde las gravas tienen forma subredondeada a subangulosa.

Con la ocurrencia del evento GLOF del 3 de marzo, el material producto del desembalse de la laguna se depositó a lo largo del valle formando la huella aluvial, la cual está conformado por bloques, bolonerías y gravas de forma subangulosa y litología variada, envueltos en una matriz areno arcillosa (Figura 8, Tabla 4).

Figura 7. Geología del entorno de la laguna Cancahua



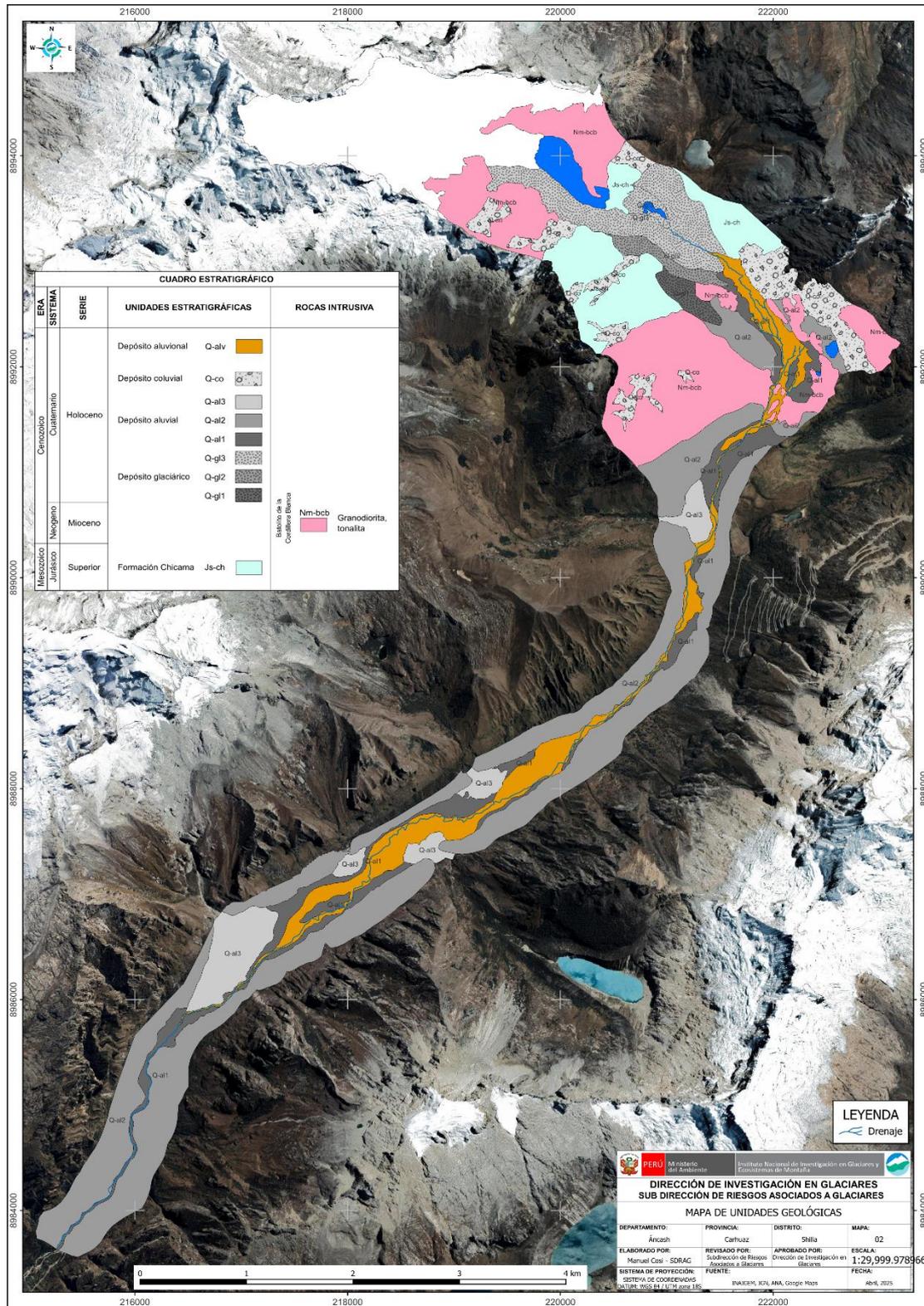
Fuente: INAIGEM (2025)

Tabla 4. Leyenda del mapa geológico

CUADRO ESTRATIGRÁFICO				
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVA
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial Q-alv  Depósito conformado por gravas y arenas, en una matriz fina (arcillosa), generado por desborde de laguna y aluvión.	Batolito de la Cordillera Blanca  Granodiorita, tonalita
			Depósito coluvial Q-co  Bloques rocosos de litología homogénea y forma angulosa.	
Depósito aluvial Q-al3  Depósito inconsolidado conformado por gravas y arenas en una matriz limoarenosa, donde las gravas tienen forma subredondeada a subangulosa.				
Q-al2 				
Q-al1 				
Depósito glaciárico	Q-gl3  Depósito conformado por bloques, bolonería y gravas de forma subangulosa, litología heterogénea, envueltos en una matriz arenosa con poca presencia de finos.			
	Q-gl2 			
	Q-gl1 			
Neógeno	Mioceno			
Mesozoico	Jurásico	Superior	Formación Chicama Js-ch  Areniscas cuarzosas de grano fino y lutitas oscuras, las cuales se encuentran metamorfozadas.	

Fuente: INAIGEM (2025)

Figura 8. Mapa geológico de la quebrada Cancahuapampa



Fuente: INAIGEM (2025)

5.1.2 Mapa geomorfológico

La laguna Cancahua es una laguna proglaciar, localizada en un valle colgado oblicuo a la quebrada Ulta, se originó como resultado de la fusión del glaciar Cancahua 1, esta laguna viene formándose desde la década de 1980, la parte más próxima del glaciar en contacto se encuentra cubierta por detritos.

En el margen izquierdo de la laguna se encuentra un macizo rocoso compuesto por rocas plutónicas, del mismo modo este macizo también forma el dique que represa a la laguna, por otra parte, el margen derecho está representado el talud de una morrena, en cual se observan muchas cicatrices por deslizamientos u otros movimientos en masa, lo cual es reflejo de su inestabilidad. Además de la laguna Cancahua, en la parte frontal de esta se encuentra un cuerpo de agua más pequeño, el cual se encontraba represado por una morrena terminal disectada por el cauce de salida. En el mismo valle colgado aún se observan morrenas más pequeñas y más alejadas de la laguna, las cuales representan los avances y retrocesos del glaciar Cancahua 1 antes del Holoceno.

Aguas abajo, la quebrada que nace de la laguna se une a la quebrada Cancahuapampa, en la que en su parte baja sobresalen lomadas y colinas de rocas plutónicas, que discurren hacia la quebrada Ulta. A lo largo de esta quebrada predominan geoformas resultantes de la dinámica fluvial, asimismo, las geoformas de movimientos en masa antiguos y recientes.

El día 3 de marzo del 2025 en horas de la tarde una avalancha de hielo cayó sobre la laguna Cancahua, originó una ola el cual rebasó el dique rocoso, y finalmente impacto sobre la laguna Cancahua Baja, ocasionando la erosión de la parte frontal de la morrena, así mismo, de la llanura aluvial, removiendo la vegetación, cambiando parcialmente la red de drenaje; finalmente los sedimentos fueron redepositados principalmente en la parte baja de la quebrada Cancahuapampa y a lo largo de quebrada Ulta, desde el área de Yanarrajupampa hasta Huishcashpampa, de forma similar al evento GLOF que ocurrió en enero del 1938 en la laguna Artesa (Kinzi, 1940) (Tabla 5, Figura 10 y Figura 11).

Figura 9. Quebrada Cancahuapampa: antes y después del evento

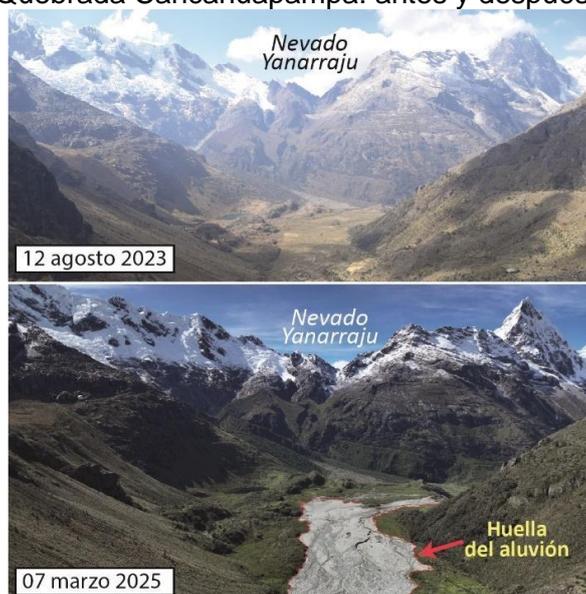
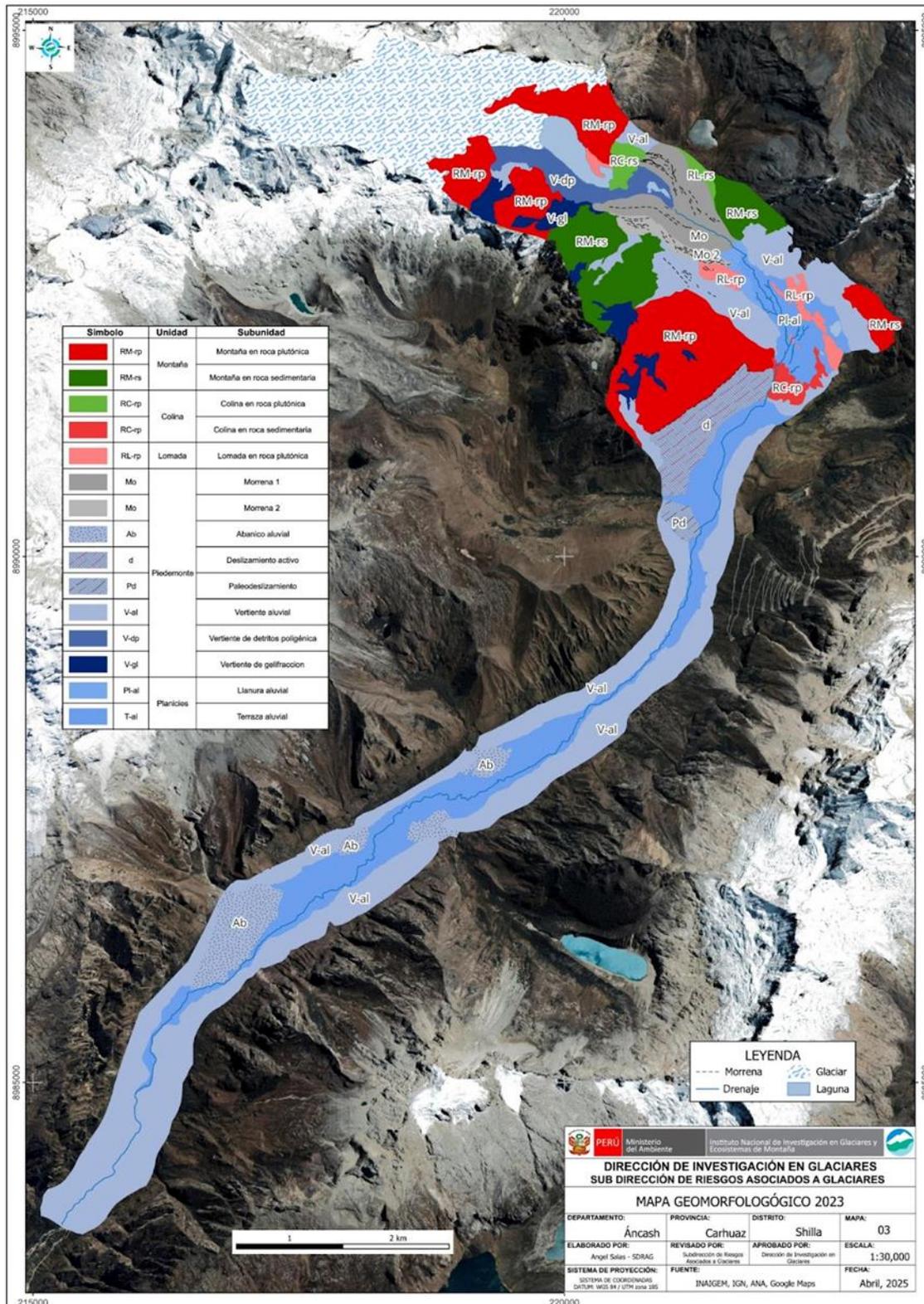


Figura 10. Mapa geomorfológico de la quebrada Cancahuapampa 2023



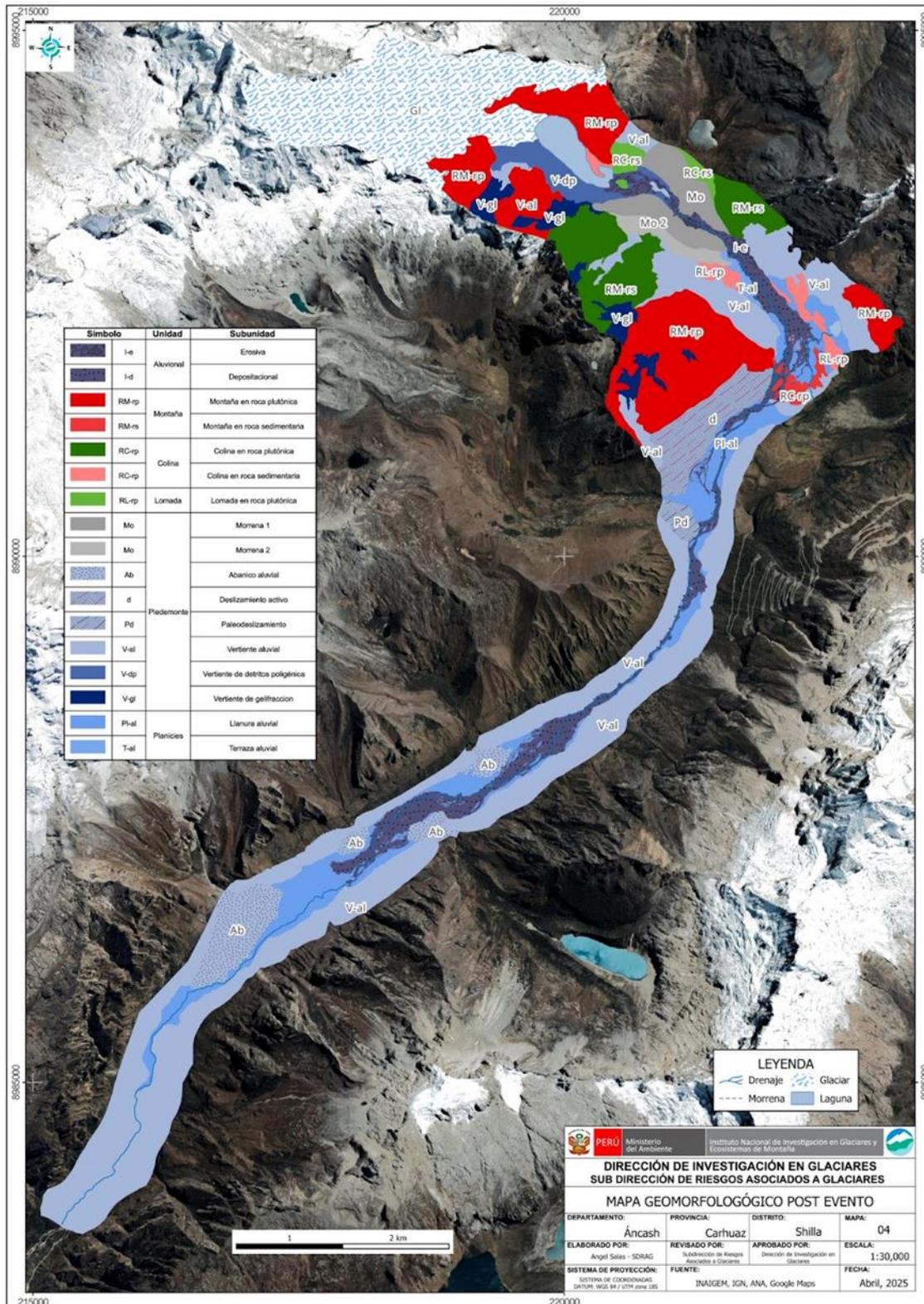
Fuente: INAIGEM (2025)

Tabla 5. Unidades del mapa geomorfológico de la quebrada Cancahuapampa 2025 post GLOF

Símbolo	Unidad	Subunidad	Descripción	
	I-e	Aluvional	Área de erosión	
	I-d		Área de depositación	
	RM-rp	Montaña	Montaña en roca plutónica	
	RM-rs		Montaña en roca sedimentaria	
	RC-rp	Colina	Colina en roca plutónica	
	RC-rp		Colina en roca sedimentaria	
	RL-rp	Lomada	Lomada en roca plutónica	
	Mo	Piedemonte	Morrena 1	
	Mo		Morrena 2	
	Ab		Abanico aluvial	
	d		Deslizamiento activo	
	Pd		Paleodeslizamiento	
	V-al		Vertiente aluvial	
	V-dp		Vertiente de detritos poligénica	
	V-gl		Vertiente de gelifracción	
	Pl-al		Planicies	Llanura aluvial
	T-al			Terraza aluvial

Fuente: INAIGEM (2025)

Figura 11. Mapa geomorfológico de la quebrada Cancahuapampa 2025 post GLOF



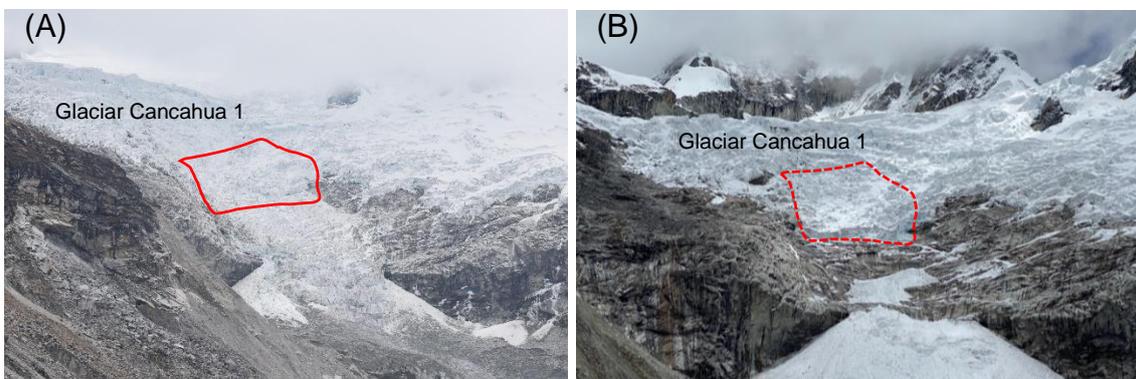
Fuente: INAIGEM (2025)

5.2 Desencadenante del evento: Avalancha de hielo

La zona de desprendimiento del glaciar Cancahua corresponde al sector que anteriormente conectaba una lengua glaciar que se extendía hasta la altura del circo glaciar. El 3 de marzo de 2025, de este sector que se caracteriza por contar con pendiente muy fuerte, se desprendió una masa de hielo significativa que generó una avalancha que impactó directamente sobre la laguna Cancahua Alta.

La ubicación del desprendimiento se puede observar desde la Figura 12, delimitado con el color rojo en dos tiempos. La imagen A muestra una imagen de la zona de desprendimiento y avalancha en el año 2023 y la imagen B muestra este sector durante el 2025, posterior al evento que desencadenó al GLOF de marzo del presente año.

Figura 12. Ubicación de la zona de desprendimiento en las fechas 2023 y 2025



Fuente: INAIGEM (2025)

Por lo analizado hasta esta parte, se determina que el evento que desencadenó el aluvión o GLOF del 3 de marzo de 2025 fue la avalancha de hielo proveniente del glaciar Cancahua Alta. Se estima que el volumen desprendido desde la ladera del glaciar osciló entre los 90,000 m³ y 110,000 m³ (Figura 13). Este impacto sobre la laguna generó ondas de impulso con la suficiente energía potencial y cinética que provocó el su desborde, generando el mecanismo para la generación de un flujo de detritos y lodo que impactó en la zona intermedia y baja de la quebrada Cancahuapampa.

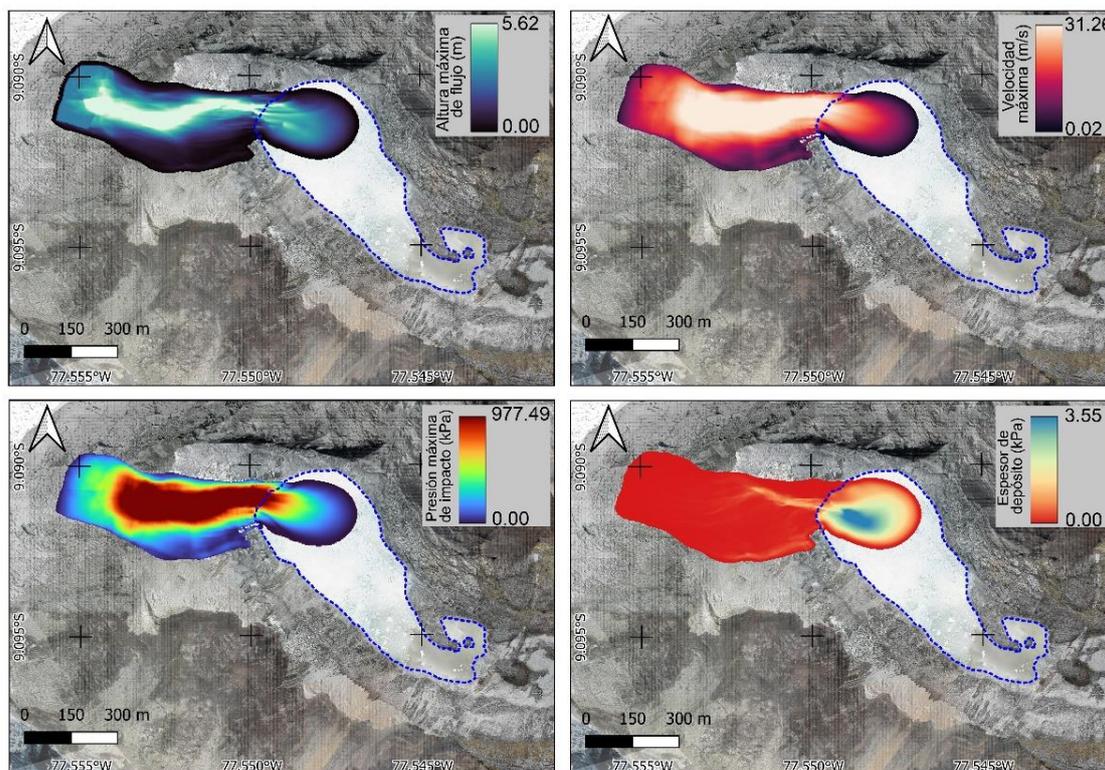
Figura 13. Huella de la avalancha de hielo



Fuente: INAIGEM (2025)

La Figura 14 muestra la simulación de una avalancha de hielo, mostrando como resultados una altura máxima de 5.62 m, una velocidad máxima de 31.26 m/s, una presión máxima de impacto (sobre el agua) de 977.49 kPa y un espesor de depósito sobre el agua y el hielo (del ámbito de la avalancha) de 3.55 m.

Figura 14. Simulación de avalancha de hielo



Fuente: INAIGEM (2025)

5.3 Desborde de la laguna Cancahua Alta

Después del impacto de la avalancha de hielo, esta generó las ondas de impulso que se propagaron hacia la zona frontal del dique rocoso de laguna Cancahua Alta. Los parámetros geométricos de esta última se pueden apreciar en la Tabla 6 y Figura 15.

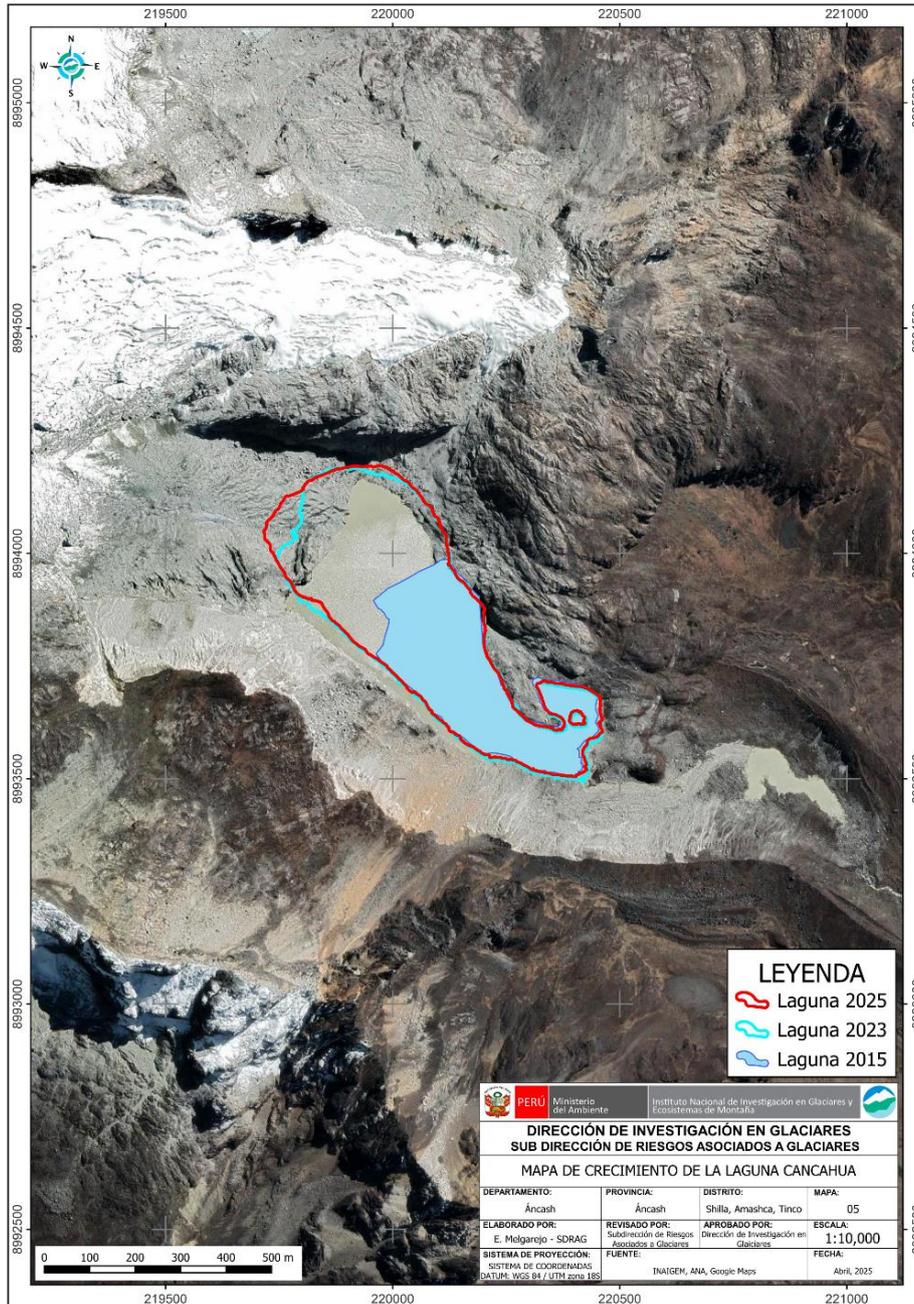
Tabla 6. Parámetros geométricos e hidráulico de la laguna Cancahua al 2025

Parámetro geométrico	Valor
Área	203900.32 m ²
Perímetro	2820.67 m
Volumen *	4.7 hm ³
Profundidad máxima	39 m
Largo máximo	893.63 m
Ancho máximo	348.36 m
Borde libre	0 m (descarga por rebose)

Fuente: INAIGEM (2025)

* El volumen de la laguna fue obtenida mediante la información de batimetría de la Autoridad Nacional del Agua, 2015 con información del contorno de la laguna de INAIGEM, 2025.

Figura 15. Crecimiento de la laguna Cancahua Alta al 2025

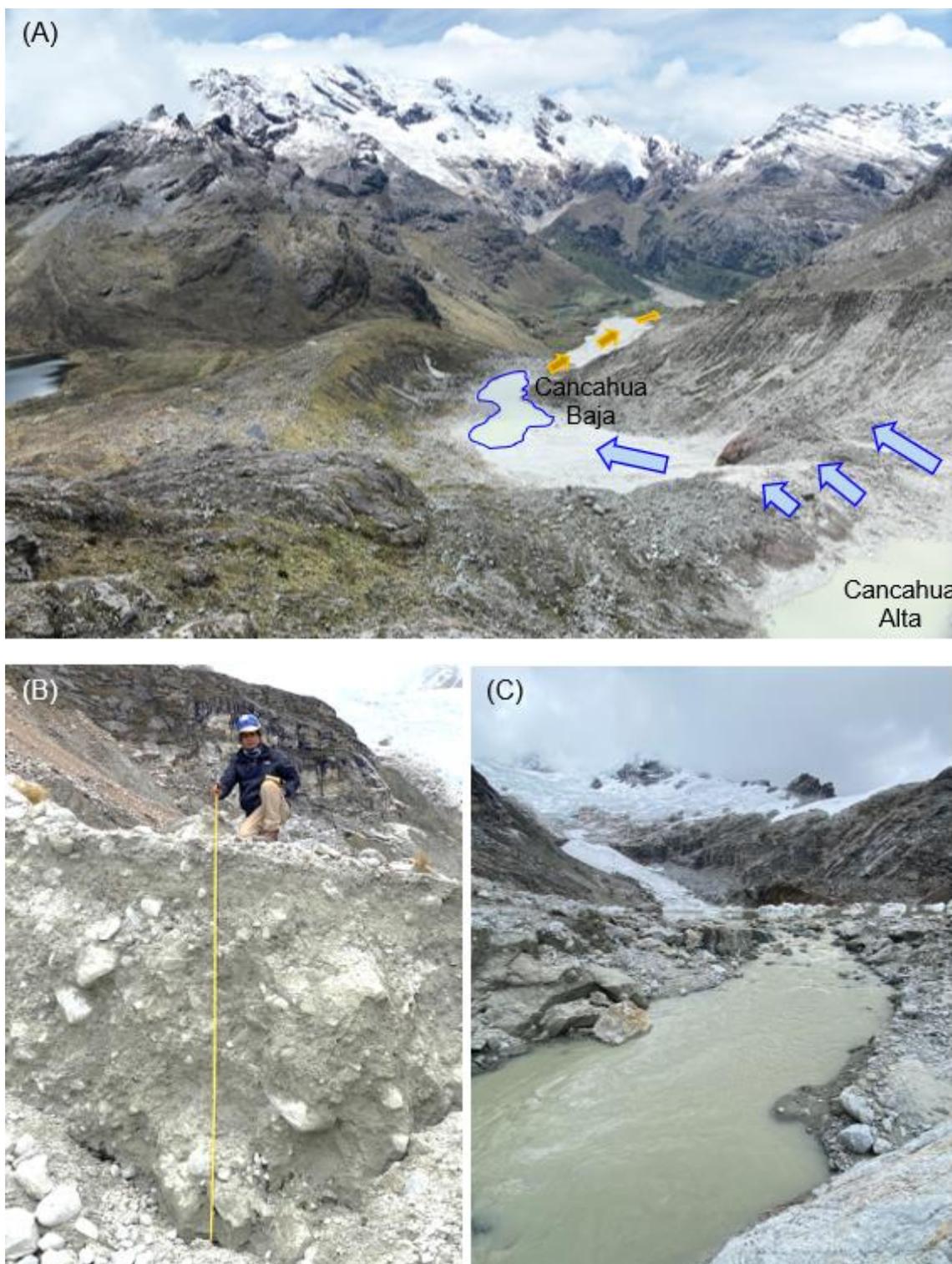


Fuente: INAIGEM (2025)

La gran energía generada por el impacto de la avalancha sobre la laguna y la condición de contar con un borde libre, permitieron el desborde de Cancahua Alta, llegando a liberar aproximadamente 57,000 m³ de agua. El desborde continuó hasta impactar sobre la laguna Cancahua Baja, la cual se estima que contaba con un volumen de 15,270 m³.

Se estima que, la suma de los dos cuerpos de agua dio inicio al proceso GLOF con un volumen total de 72,000 m³ de agua, además, la saturación del suelo del entorno de la quebrada Cancahuapampa, también contribuyó para aumentar la magnitud de este evento (Figura 16).

Figura 16. Aguas abajo de la laguna Cancahua Alta



Fuente: INAIGEM (2025)

Nota. La figura (A) muestra las lagunas Cancahua Alta y Baja, así como la zona de salida de agua a través del frente glaciar; (B) presenta una socavación de 3.10 m de profundidad en el flanco derecho de dicha salida, afectando material glaciérico; (C) ilustra el flujo de salida desde la laguna, canalizado a través de un canal natural con base rocosa.

5.4 Socavación generada por el GLOF

La socavación del material glaciárico aguas abajo de la laguna Cancahua Baja se originó por la combinación de dos factores principales. En primer lugar, las condiciones hidrodinámicas generadas por el desborde violento de las lagunas Cancahua Alta y Baja (caracterizadas por altas velocidades y una estrecha o reducción significativa en la sección del canal natural) intensificaron el proceso erosivo.

En segundo lugar, la zona presenta condiciones naturales de alta susceptibilidad, como la fuerte pendiente del terreno, la saturación del suelo causada por las precipitaciones (por ser temporada de lluvias) y las propiedades mecánicas del suelo, caracterizadas por su poca resistencia, favorecieron la remoción del material.

La Figura 17 muestra la zona afectada por la socavación del material glaciárico (morrena), ubicada aguas abajo de la laguna Cancahua Baja, delimitada con líneas discontinuas en color rojo. Cabe resaltar que el sustrato de esta área está compuesto principalmente por materiales granulares, como arena y grava, con un contenido reducido de material fino (estimado en aproximadamente un 10 %). Esta composición favoreció la erosión y el arrastre del material.

Figura 17. Zona de socavación de material glaciárico causado por el GLOF



Fuente: INAIGEM (2025)

Nota. La figura muestra la zona de socavación causado por el desborde las lagunas, color naranja muestra las crestas morrénicas, color rojo muestra el límite de socavación.

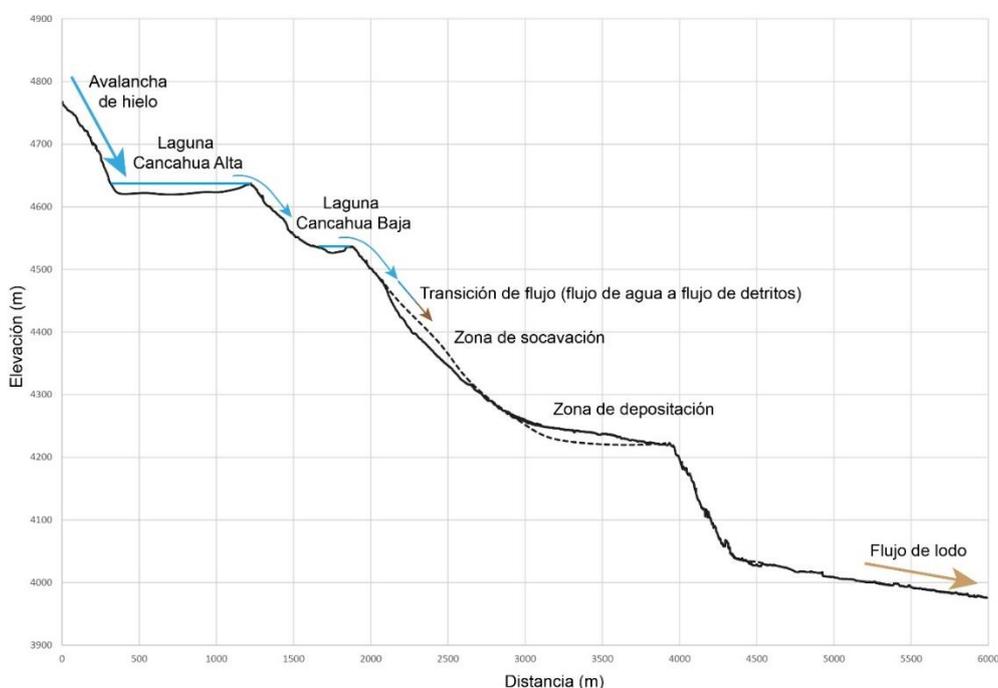
El presente estudio estima que, el volumen en la zona de socavación de la morrena se calcula en 200,000 m³ de material (gravas, materiales finos, entre otros), constituyendo el volumen de vacíos y el volumen de suelo seco.

5.5 Flujos de detritos

La cadena de procesos del GLOF, la cual se generó por una avalancha de hielo, se inició con el desborde de la laguna Cancahua Alta, la cual impactó sobre la laguna Cancahua Baja, provocando su súbito desborde en el entorno de la quebrada Cancahuapampa.

El flujo que generó provocó una intensa socavación en el cauce aguas abajo, movilizando sedimentos (de la zona de socavación) y depositando materiales de mayor diámetro en la zona de planicie (zona de depósito). El flujo resultante mantuvo su energía y continuó su avance a través de la quebrada Cancahuapampa, siguiendo la pendiente natural del terreno. Este comportamiento se representa esquemáticamente en la Figura 18.

Figura 18. Perfil longitudinal del proceso en cadena del GLOF



Fuente: INAIGEM (2025)

En la zona de transición del flujo, donde interactúan los componentes sólido y líquido; el primero fue originado por la socavación de material glaciárico y el segundo como producto del desborde violento de las lagunas Cancahua Alta y Baja, dando origen a un flujo de detritos en el entorno medio y bajo de la quebrada.

Este flujo se caracterizó por su elevada carga de material sólido, compuesto por una mezcla heterogénea de bolonería, gravas, arenas y limos. Donde la energía del evento permitió transportar este material hasta depositarlo masivamente sobre la planicie aluvial aguas abajo, donde se evidencian espesores importantes de acumulación, como se observa en la Figura 19.

A pesar de que el aluvión depositó la mayor parte de su carga sólida en la zona de impacto inicial (sector intermedio de la quebrada), el flujo remanente con menor

concentración de sólidos continuó desplazándose aguas abajo. Este flujo secundario erosionó ligeramente el cauce a lo largo de su trayecto, avanzando por la quebrada Ulta y el río Buin hasta desembocar en el río Santa. Aunque la carga sólida era reducida, el flujo mantuvo suficiente energía para remover y transportar material, evidenciando un proceso continuo de movilización de sedimentos en la red hidrográfica afectada por el evento principal.

Figura 19. Zona de depósito del flujo de detritos

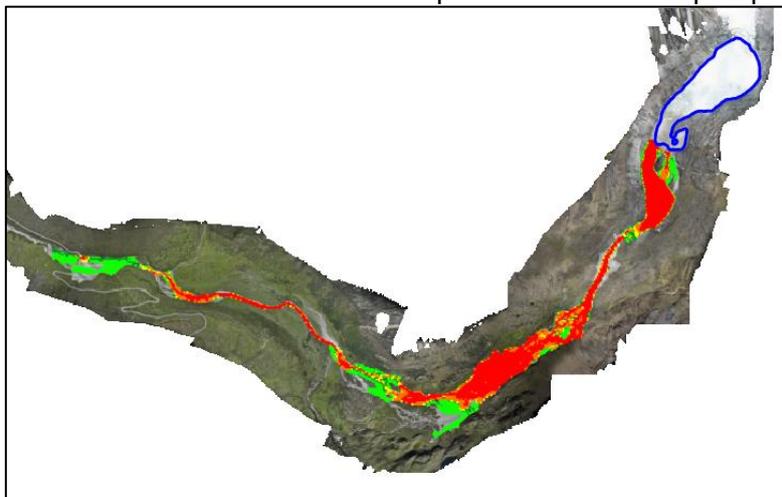


Fuente: INAIGEM (2025). *Nota.* La figura muestra la zona de depósito del flujo de detritos en la planicie aguas abajo de la zona de socavación. El polígono con perímetro en color amarillo muestra una zona de erosión causado por el impacto del flujo de detritos.

5.5.1 Modelamiento del flujo de detritos

El modelamiento del flujo de detritos fue desarrollado utilizando el modelo hidrológico e hidráulico FLO-2D, integrando datos clave como la topografía detallada del área de estudio, hidrogramas base y de desborde correspondientes a la laguna Cancahua Alta, así como el volumen estimado de sólidos erosionado. La simulación permitió reproducir el comportamiento del flujo en condiciones reales, arrojando como resultado velocidades máximas del orden de 10 m/s y tirantes (profundidad del flujo de agua) de hasta 4 metros.

Figura 20. Modelamiento GLOF en la quebrada Cancahuapampa y Ulta

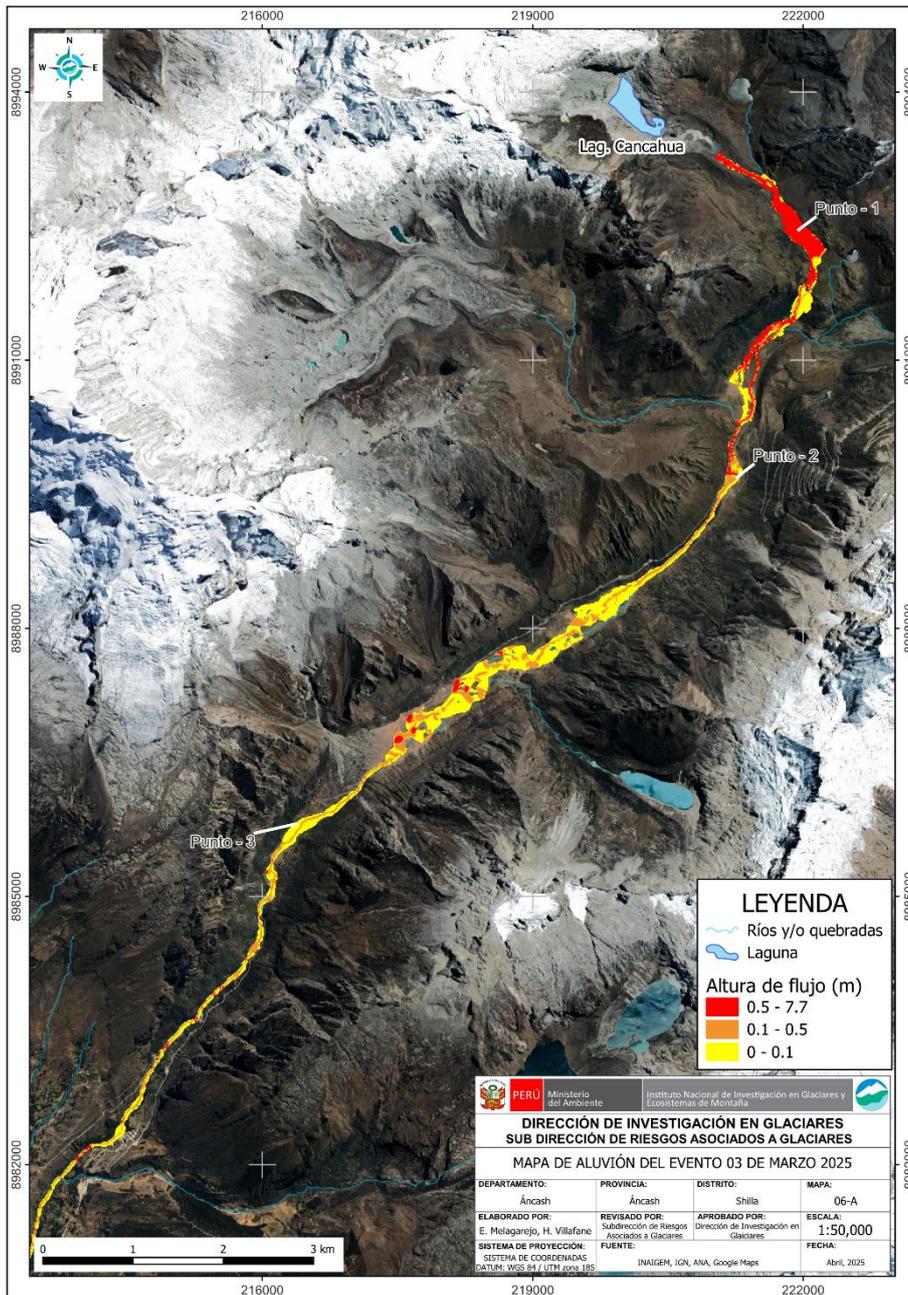


Fuente: INAIGEM (2025)

5.5.2 Mapa del aluvión

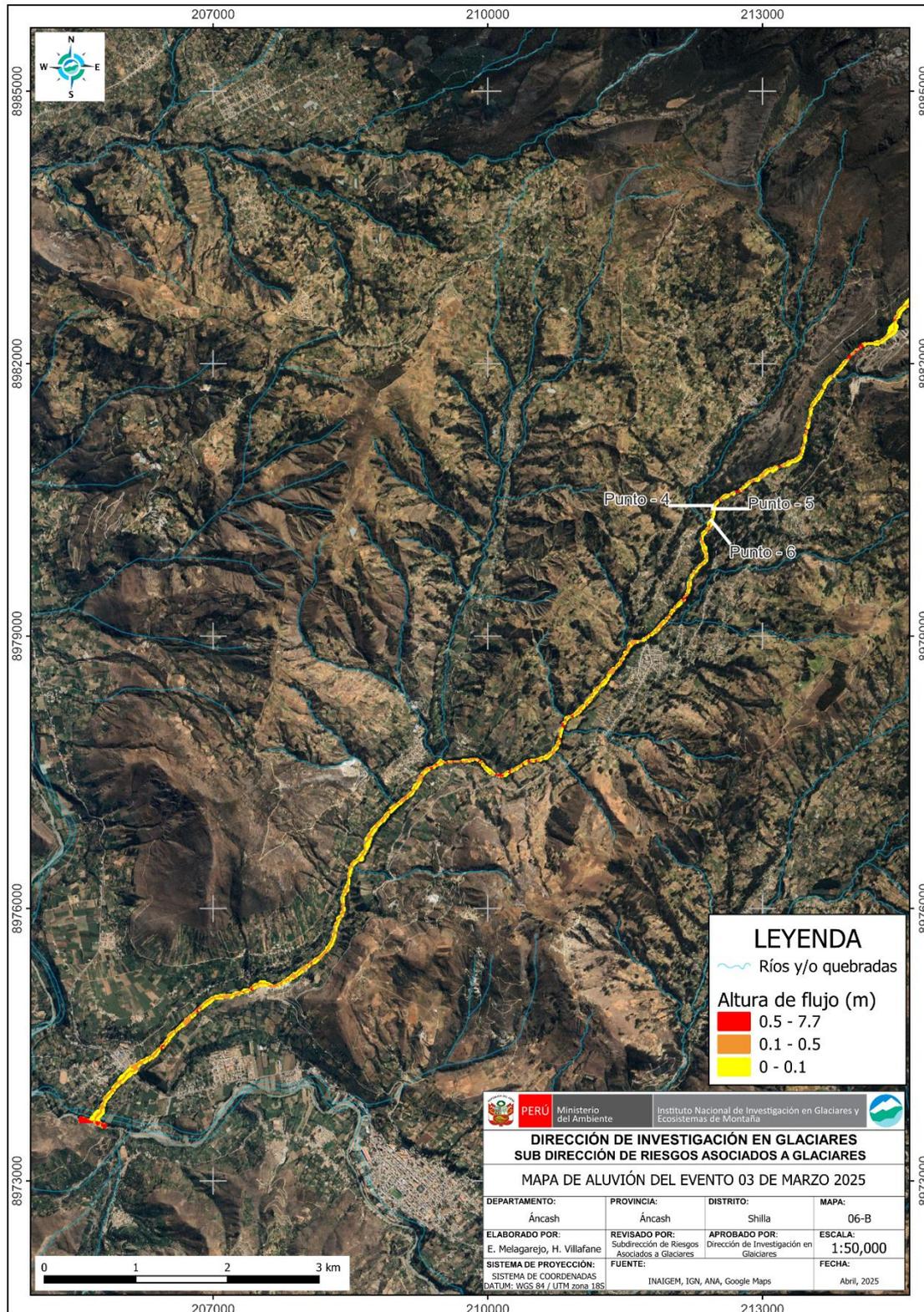
Para clasificar el aluvión, se utilizó la altura máxima de flujo registrada en cada celda del área de análisis, obtenida a partir de la simulación del aluvión. Esta variable es fundamental porque refleja la energía, capacidad destructiva y potencial de inundación del flujo, permitiendo estimar las zonas más susceptibles. Además, estos valores fueron verificados mediante observaciones en campo de acuerdo a su nivel de destrucción a los elementos expuestos y comparados con el mapa geomorfológico del área de influencia, lo que permitió validar su coherencia con las evidencias físicas y los procesos geodinámicos reconocidos en el terreno.

Figura 21. Mapa del aluvión del 3 de marzo de 2025 (A)



Fuente: INAIGEM (2025)

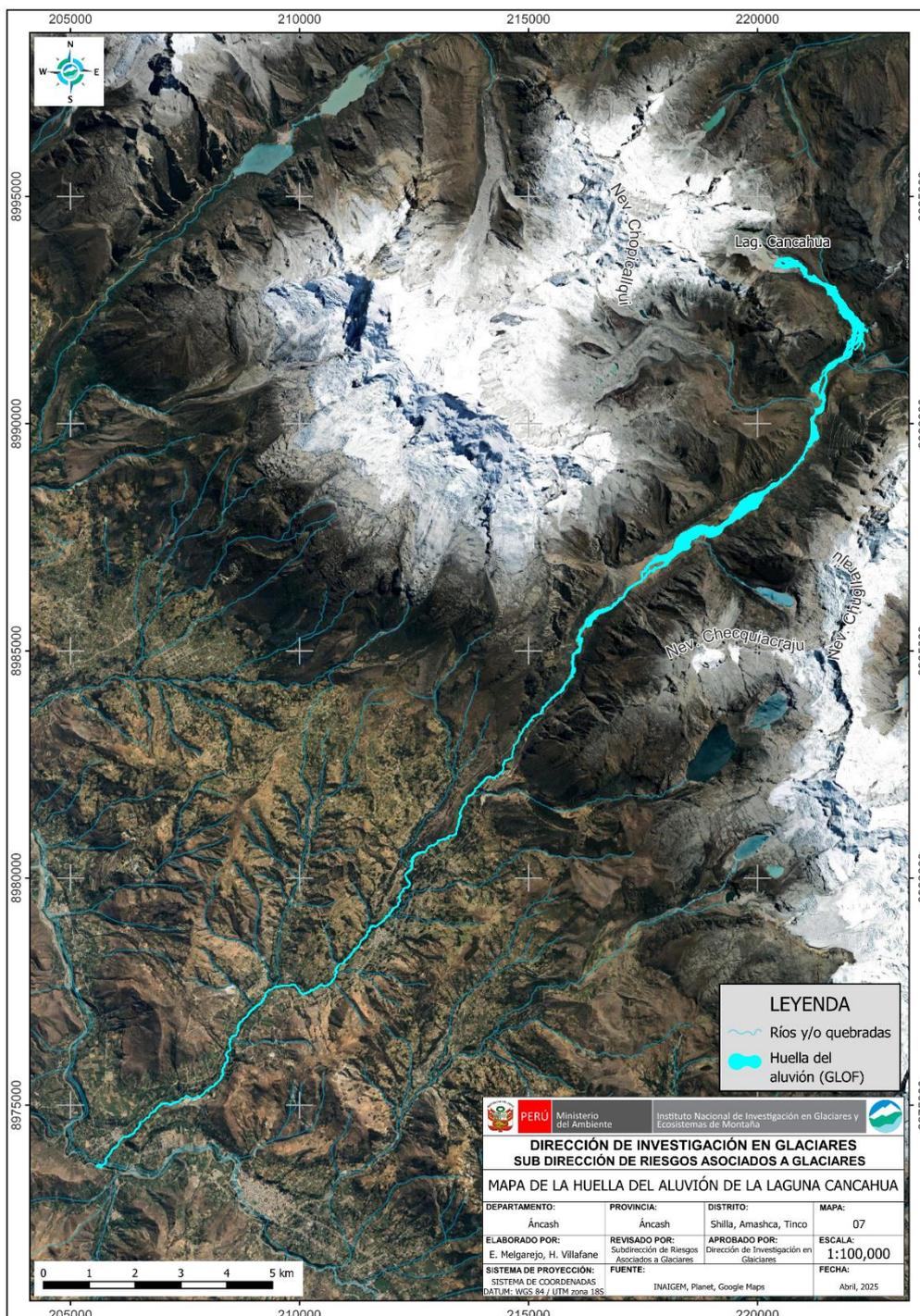
Figura 22. Mapa del aluvión del 3 de marzo de 2025 (B)



Fuente: INAIGEM (2025)

Para la validación de la modelación del aluvión, se tomó en consideración la huella del evento del 3 de marzo de 2025, el cual ha sido digitalizado utilizando las imágenes de los vuelos RPAS e imágenes satelitales, así como la identificación de los elementos expuestos (Figura 23).

Figura 23. Mapa de la huella del aluvión de la laguna Cancahua del 3 de marzo de 2025



Fuente: INAIGEM (2025)

5.6 Afectación

A continuación, se muestra los elementos expuestos (afectaciones e impactos) identificados en el mapa de la huella del aluvión de la Figura 23.

Punto 1. Bofedal



Fuente: INAIGEM (2025)

Punto 2. Puente de carretera Carhuaz – Chacas y alcantarillado



Fuente: INAIGEM (2025)

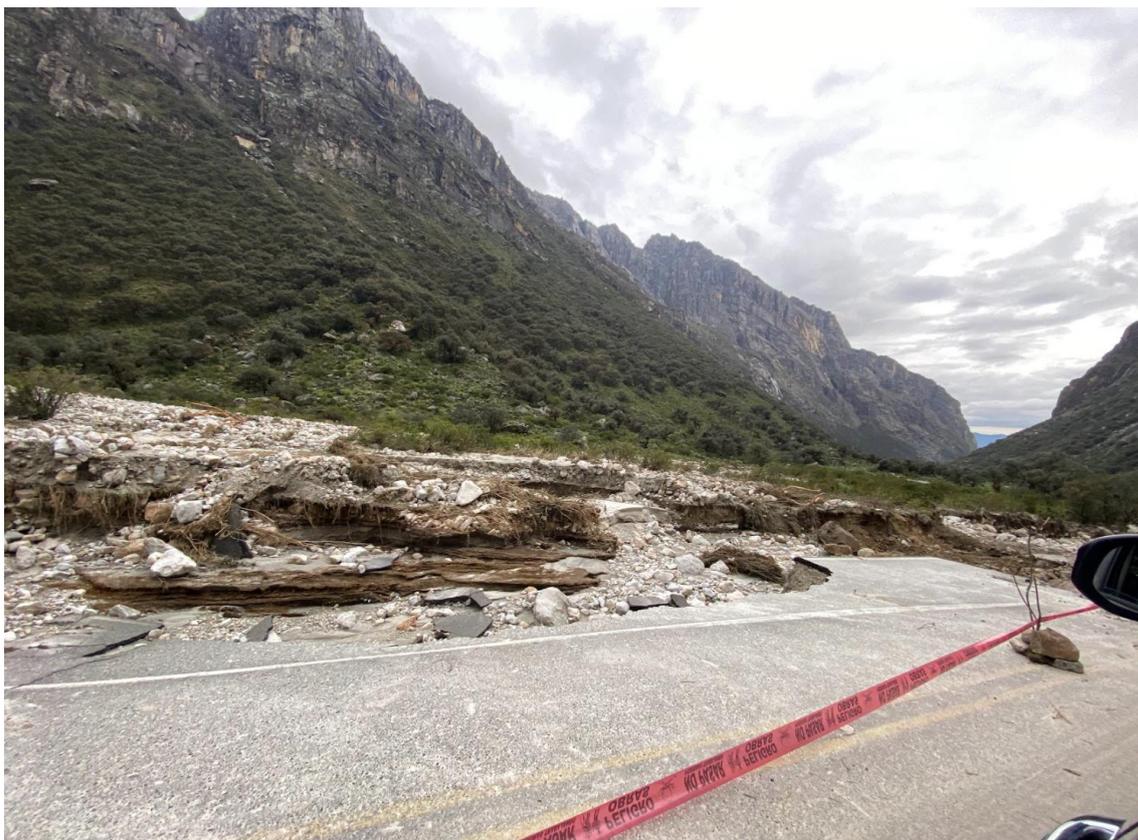


Fuente: INAIGEM (2025)

Punto 3. Tramo de carretera Carhuaz – Chacas



Fuente: INAIGEM (2025)



Fuente: INAIGEM (2025)

Punto 4. Piscigranja



Fuente: INAIGEM (2025)

Punto 5. Vivienda afectada



Fuente: INAIGEM (2025)

Punto 6. Piscigranja



Fuente: INAIGEM (2025)

6 CONCLUSIONES

- 6.1 El evento aluvional ocurrido el 3 de marzo de 2025 fue originado por una avalancha de hielo proveniente del sector glaciar contiguo a la laguna Cancahua Alta. Se estima que la masa de hielo desprendida, contó con una magnitud aproximada de 100,000 m³, la cual impactó en la laguna, generando una serie de procesos en cadena: formación de ola, desborde súbito de agua e impacto inmediato a la laguna Cancahua Baja. Este proceso desencadenó un flujo de detritos de alta energía, que descendió rápidamente por el valle, evidenciando su alta peligrosidad.
- 6.2 Las condiciones físicas del entorno de la laguna Cancahua fueron determinantes para la ocurrencia y magnitud del evento, tales como su cercanía del glaciar, su volumen de agua almacenado y, especialmente, el estado de saturación de los suelos (parte intermedia y baja de la quebrada Cancahuapampa) debido a las lluvias acumuladas, incrementando significativamente la inestabilidad del sistema.
- 6.3 El área glaciar desde donde se desprendió el bloque de hielo (cercana a la laguna Cancahua Alta) continúa presentando condiciones propicias para la generación de nuevos eventos de desprendimiento. La pendiente pronunciada y la fracturación evidente de esta zona, elevan las posibilidades de futuras avalanchas de similar o incluso mayor magnitud. La combinación de estos factores constituye un peligro alto para la población y sus medios de vida que se localice aguas debajo de las quebradas Cancahuapampa y Ulta.
- 6.4 La laguna Cancahua Alta puede volver a desbordarse con igual o mayor magnitud debido a que las condiciones que originaron el aluvión se mantienen. Por consiguiente, se determina al sector afectado como una zona crítica por peligro de desborde.

7 RECOMENDACIONES

Al Gobierno Regional de Áncash, la Municipalidad Provincial de Carhuaz y la Municipalidad Distrital de Shilla:

- 7.1 Solicitar asistencia técnica a las entidades técnico-científicas para la elaboración de estudios sobre evaluación de peligro y riesgo por desborde de las lagunas Cancahua Alta y Baja, para determinar otros posibles escenarios, que permitan determinar medidas estructurales y no estructurales para la reducción del riesgo identificado en las quebradas Cancahuapampa y Ulta y proteger a la población de las localidades de Shilla, Amashca y Tinco.
- 7.2 Incluir los estudios elaborados por las técnico-científicas como parte del diagnóstico territorial de los diferentes instrumentos de gestión territorial, así como los asociados a la gestión del riesgo de desastres como el Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres y el Plan de Gestión Reactiva. Que les permita priorizar y planificar sus recursos, e implementar medidas para reducir el riesgo en zonas críticas.
- 7.3 En el mediano plazo, solicitar asistencia técnica al INDECI y las entidades técnico-científicas para implementar un Sistema de Alerta Temprana en las lagunas Cancahua Alta y Baja, y aguas abajo en las quebradas Cancahuapampa y Ulta.

7.4 Solicitar asistencia técnica a las entidades técnico-científicas y el INDECI para la implementación de programas de sensibilización social en materia de gestión de riesgo de desastres en la población local urbana y rural expuestas al peligro de aluvión (por desborde de la laguna Cancahua), que les permita fortalecer su capacidad de respuesta ante emergencias y desastres.

7.5 Para reducir el riesgo asociado a la laguna Cancahua Alta y Baja, se recomienda implementar medidas de ingeniería:

- Implementación de un sistema de estructuras de protección y encauzamiento en zonas críticas, previa evaluación, donde la masa aluviónica alcanzaría la mayor fuerza de impacto, a fin de disipar la energía y disminuir la afectación a zonas pobladas, así como infraestructura básica y complementaria del área de estudio. Se podrán utilizar muros anclados, barreras dinámicas y barreras de disipación de la energía aluviónica.
- Se recomienda la construcción de puentes con pilares espaciados a distancias de aproximadas de 10 m (la mínima cantidad de pilares posible), ello en las coordenadas 1 (Latitud 9° 7'50.65"; Longitud 77°32'13.00"O) y 2 (Latitud 9° 7'51.38"S; Longitud 77°32'9.86"), parte baja de Cancahuapampa, a fin de minimizar la obstrucción y el impacto directo de un posible flujo aluviónico; los puentes deberán contar con protección local en los pilares y estribos a través de enrocados y/o la colocación de espigones que disipen la energía del flujo de detritos con presencia de bloques de regular tamaño (d= 0.50m).

Es recomendable que esta infraestructura propuesta, tenga baja densidad estructural bajo la calzada para reducir la posibilidad de que los escombros queden atrapado.

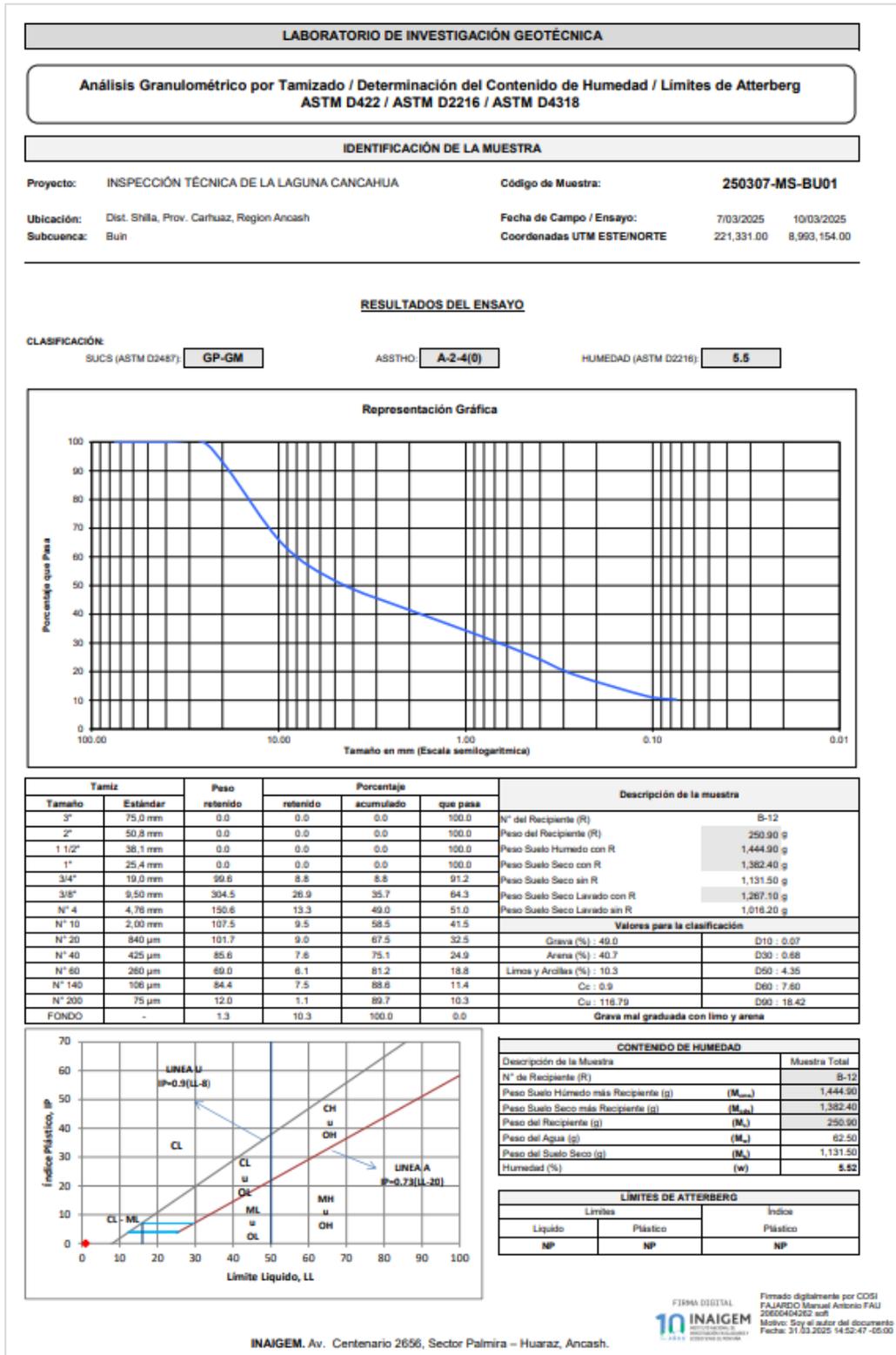
- En el tramo de carretera Carhuaz – Chacas – Ruta AN 107, afectado por el aluvión, en su plataforma, se recomienda la construcción de un muro de contención, pudiendo ser de mampostería de piedra, concreto armado, muros anclados u otro, ello protegería la estabilidad de la plataforma de la vía; asimismo es recomendable colocar barreras adyacentes que disipen la energía de impacto hacia el muro.
- Implementación de proyectos de infraestructura natural a lo largo de la Unidad Hidrográfica Buin, considerando los terrenos menos estables. Se sugiere la aplicación de reforestación, revegetación de pastura, control de cárcavas, estabilización de suelos, entre otros, ello con la asistencia técnica debida, a fin de mejorar las condiciones del terreno.
- Se recomienda el mantenimiento periódico, a corto plazo, de las obras de seguridad existentes en lagunas que se emplazan en la U.H Buín (laguna Huallcacocho y laguna Arteza), lo cual comprende el reemplazo de la capa de protección del dique en sus zonas deterioradas, así como la reparación de deterioros en los canales de ingreso y salida; asimismo ampliar la aleta de ingreso en los canales de aducción.

8 BIBLIOGRAFÍA

- HIDRANDINA. (1989). *Inventario de Glaciares del año 1989*.
- INAIGEM. (2023a). *Inventario Nacional de Bofedales 2023*.
- INAIGEM. (2023b). *Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar 2023*.
- INAIGEM. (2024). *Evaluación nacional de lagunas glaciares con riesgo de desborde 2024*.
- Kinzl, H. (1940). *La ruptura del lago glacial en la Quebrada de Ulta en el año 1938*.
- Schneider, D., Huggel, C., Cochachin, A., Guillén, S., & García, J. (2014). Mapping hazards from glacier lake outburst floods based on modelling of process cascades at Lake 513, Carhuaz, Peru. *Advances in Geosciences*, 35, 145-155. <https://doi.org/10.5194/adgeo-35-145-2014>
- Somos-Valenzuela, M. A., Chisolm, R. E., Rivas, D. S., Portocarrero, C., & McKinney, D. C. (2016). Modeling a glacial lake outburst flood process chain: The case of Lake Palcacocha and Huaraz, Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2519-2543. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2519-2016>
- Wilson, J., Reyes, L., & Garayar, J. (1995). *Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*. INGEMMET.

9 ANEXOS

Anexo 1. Resultados de ensayos de laboratorio: Análisis Granulométrico por Tamizado / Determinación del Contenido de Humedad / Límites de Atterberg
ASTM D422 / ASTM D2216 / ASTM D4318



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA																																																																																																											
Análisis Granulométrico por Tamizado / Determinación del Contenido de Humedad / Límites de Atterberg ASTM D422 / ASTM D2216 / ASTM D4318																																																																																																											
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA																																																																																																											
Proyecto:	INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA LAGUNA CANCAHUA	Código de Muestra:	250307-MS-BU02																																																																																																								
Ubicación:	Dist. Shilla, Prov. Carhuaz, Region Ancash	Fecha de Campo / Ensayo:	7/03/2025 10/03/2025																																																																																																								
Subcuenca:	Buin	Coordenadas UTM ESTE/NORTE	221,400.00 8,993,102.00																																																																																																								
RESULTADOS DEL ENSAYO																																																																																																											
CLASIFICACIÓN:																																																																																																											
SUICS (ASTM D2487):	SP-SM	ASSTHO: A-2-4(1)	HUMEDAD (ASTM D2216): 5.9																																																																																																								
Representación Gráfica																																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th colspan="3">Porcentaje</th> </tr> <tr> <th>Tamaño</th> <th>Estándar</th> <th>retenido</th> <th>acumulado</th> <th>que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>75.0 mm</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.8 mm</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.1 mm</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.4 mm</td><td>175.6</td><td>15.8</td><td>84.2</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.0 mm</td><td>57.7</td><td>5.2</td><td>79.0</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.50 mm</td><td>151.1</td><td>13.6</td><td>65.5</td></tr> <tr><td>N° 4</td><td>4.75 mm</td><td>122.8</td><td>11.0</td><td>45.6</td></tr> <tr><td>N° 10</td><td>2.00 mm</td><td>132.2</td><td>11.9</td><td>57.4</td></tr> <tr><td>N° 20</td><td>840 µm</td><td>132.4</td><td>11.9</td><td>69.3</td></tr> <tr><td>N° 40</td><td>425 µm</td><td>97.5</td><td>8.8</td><td>79.1</td></tr> <tr><td>N° 60</td><td>250 µm</td><td>68.1</td><td>6.1</td><td>84.2</td></tr> <tr><td>N° 140</td><td>106 µm</td><td>76.6</td><td>6.9</td><td>91.1</td></tr> <tr><td>N° 200</td><td>75 µm</td><td>12.0</td><td>1.1</td><td>92.2</td></tr> <tr><td>FONDO</td><td>-</td><td>3.9</td><td>7.8</td><td>100.0</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz	Peso retenido	Porcentaje			Tamaño	Estándar	retenido	acumulado	que pasa	3"	75.0 mm	0.0	0.0	100.0	2"	50.8 mm	0.0	0.0	100.0	1 1/2"	38.1 mm	0.0	0.0	100.0	1"	25.4 mm	175.6	15.8	84.2	3/4"	19.0 mm	57.7	5.2	79.0	3/8"	9.50 mm	151.1	13.6	65.5	N° 4	4.75 mm	122.8	11.0	45.6	N° 10	2.00 mm	132.2	11.9	57.4	N° 20	840 µm	132.4	11.9	69.3	N° 40	425 µm	97.5	8.8	79.1	N° 60	250 µm	68.1	6.1	84.2	N° 140	106 µm	76.6	6.9	91.1	N° 200	75 µm	12.0	1.1	92.2	FONDO	-	3.9	7.8	100.0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Descripción de la muestra</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>N° del Recipiente (R)</td><td></td><td>B-08</td></tr> <tr><td>Peso del Recipiente (R)</td><td></td><td>256.80 g</td></tr> <tr><td>Peso Suelo Húmedo con R</td><td></td><td>1,435.40 g</td></tr> <tr><td>Peso Suelo Seco con R</td><td></td><td>1,370.20 g</td></tr> <tr><td>Peso Suelo Seco sin R</td><td></td><td>1,113.40 g</td></tr> <tr><td>Peso Suelo Seco Lavado con R</td><td></td><td>1,269.70 g</td></tr> <tr><td>Peso Suelo Seco Lavado sin R</td><td></td><td>1,029.90 g</td></tr> </tbody> </table>		Descripción de la muestra			N° del Recipiente (R)		B-08	Peso del Recipiente (R)		256.80 g	Peso Suelo Húmedo con R		1,435.40 g	Peso Suelo Seco con R		1,370.20 g	Peso Suelo Seco sin R		1,113.40 g	Peso Suelo Seco Lavado con R		1,269.70 g	Peso Suelo Seco Lavado sin R		1,029.90 g
Tamiz	Peso retenido	Porcentaje																																																																																																									
Tamaño	Estándar	retenido	acumulado	que pasa																																																																																																							
3"	75.0 mm	0.0	0.0	100.0																																																																																																							
2"	50.8 mm	0.0	0.0	100.0																																																																																																							
1 1/2"	38.1 mm	0.0	0.0	100.0																																																																																																							
1"	25.4 mm	175.6	15.8	84.2																																																																																																							
3/4"	19.0 mm	57.7	5.2	79.0																																																																																																							
3/8"	9.50 mm	151.1	13.6	65.5																																																																																																							
N° 4	4.75 mm	122.8	11.0	45.6																																																																																																							
N° 10	2.00 mm	132.2	11.9	57.4																																																																																																							
N° 20	840 µm	132.4	11.9	69.3																																																																																																							
N° 40	425 µm	97.5	8.8	79.1																																																																																																							
N° 60	250 µm	68.1	6.1	84.2																																																																																																							
N° 140	106 µm	76.6	6.9	91.1																																																																																																							
N° 200	75 µm	12.0	1.1	92.2																																																																																																							
FONDO	-	3.9	7.8	100.0																																																																																																							
Descripción de la muestra																																																																																																											
N° del Recipiente (R)		B-08																																																																																																									
Peso del Recipiente (R)		256.80 g																																																																																																									
Peso Suelo Húmedo con R		1,435.40 g																																																																																																									
Peso Suelo Seco con R		1,370.20 g																																																																																																									
Peso Suelo Seco sin R		1,113.40 g																																																																																																									
Peso Suelo Seco Lavado con R		1,269.70 g																																																																																																									
Peso Suelo Seco Lavado sin R		1,029.90 g																																																																																																									
		Valores para la clasificación																																																																																																									
		Grava (%): 45.6 D10 : 0.18 Arena (%): 46.6 D30 : 0.61 Limos y Arcillas (%): 7.8 D50 : 3.44 Cc : 0.6 D60 : 6.73 Cu : 41.46 D90 : 29.14																																																																																																									
Arena mal graduada con limo y grava																																																																																																											
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">CONTENIDO DE HUMEDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Descripción de la Muestra</td> <td>Muestra Total</td> </tr> <tr> <td>N° de Recipiente (R)</td> <td>B-08</td> </tr> <tr> <td>Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)</td> <td>(M_{húmedo}) 1,435.40</td> </tr> <tr> <td>Peso Suelo Seco más Recipiente (g)</td> <td>(M_{seco}) 1,370.20</td> </tr> <tr> <td>Peso del Recipiente (g)</td> <td>(M_r) 256.80</td> </tr> <tr> <td>Peso del Agua (g)</td> <td>(M_a) 65.20</td> </tr> <tr> <td>Peso del Suelo Seco (g)</td> <td>(M_s) 1,113.40</td> </tr> <tr> <td>Humedad (%)</td> <td>(w) 5.86</td> </tr> </tbody> </table>		CONTENIDO DE HUMEDAD		Descripción de la Muestra	Muestra Total	N° de Recipiente (R)	B-08	Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{húmedo}) 1,435.40	Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{seco}) 1,370.20	Peso del Recipiente (g)	(M _r) 256.80	Peso del Agua (g)	(M _a) 65.20	Peso del Suelo Seco (g)	(M _s) 1,113.40	Humedad (%)	(w) 5.86																																																																																						
CONTENIDO DE HUMEDAD																																																																																																											
Descripción de la Muestra	Muestra Total																																																																																																										
N° de Recipiente (R)	B-08																																																																																																										
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{húmedo}) 1,435.40																																																																																																										
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{seco}) 1,370.20																																																																																																										
Peso del Recipiente (g)	(M _r) 256.80																																																																																																										
Peso del Agua (g)	(M _a) 65.20																																																																																																										
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s) 1,113.40																																																																																																										
Humedad (%)	(w) 5.86																																																																																																										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="3">LÍMITES DE ATTERBERG</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Límites</th> <th>Índice</th> </tr> <tr> <th>Líquido</th> <th>Plástico</th> <th>Plástico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NP</td> <td style="text-align: center;">NP</td> <td style="text-align: center;">NP</td> </tr> </tbody> </table>		LÍMITES DE ATTERBERG			Límites		Índice	Líquido	Plástico	Plástico	NP	NP	NP																																																																																												
LÍMITES DE ATTERBERG																																																																																																											
Límites		Índice																																																																																																									
Líquido	Plástico	Plástico																																																																																																									
NP	NP	NP																																																																																																									
FIRMA DIGITAL Firmado digitalmente por COSI FAJARDO Manuel Antonio FAU 2060040262 soft Móvil: Soy el autor del documento Fecha: 31.03.2025 14:53:07 -05:00																																																																																																											
INAIGEM. Av. Centenario 2656, Sector Palmira – Huaraz, Ancash.																																																																																																											

Anexo 2. Resultados de ensayos de laboratorio: Ensayo de Corte Directo MTC E 123 - ASTM D 3080

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA								
Ensayo de Corte Directo MTC E 123 - ASTM D 3080								
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA								
Proyecto:	INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA LAGUNA CANCAHUA			Código de Muestra:	250307-MS-BU01			
Ubicación:	Dist. Shilla, Prov. Carhuaz, Region Ancash			Fecha de Campo / Ensayo:	7/03/2025	10/03/2025		
Subcuenca:	Buln			Coordenadas UTM ESTE/NORTE	221,331.00	8,993,154.00		
DATOS DE LA MUESTRA								
SUCS:	GP-GM			TIPO:	SUELO		CONDICION DE MUESTRA: ALTERADA	
DATOS DEL ENSAYO								
MUESTRA:	Mat. < N°4			VELOCIDAD:	0.50 mm/min		DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³): 2.2	
ESTADO:	REMOLDEADO			HUMEDAD (%):	5.52		DENSIDAD SECA (gr/cm ³): 2.08	
DATOS DEL ESPECIMEN								
ESFUERZO NORMAL (kPa)	ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03			
	38.71		77.41		154.83			
Etapa	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final		
Altura (cm)	2.60	2.57	2.60	2.60	2.60	2.60		
Diámetro (cm)	6.33	6.33	6.33	6.33	6.33	6.33		
Humedad (%)	5.52	11.78	5.52	9.05	5.52	11.67		
Densidad (gr/cm ²)	2.013	2.033	2.013	2.014	2.013	2.016		
DATOS DEL ENSAYO (DEFORMACIÓN Y ESFUERZO)								
ESPECIMEN 01	ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03					
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de corte (kPa)	Esfuerzo Normaliz. (kPa)	Deform. Tangencial (mm)	Esfuerzo de corte (kPa)	Esfuerzo Normaliz. (kPa)	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de corte (kPa)	Esfuerzo Normaliz. (kPa)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.16	0.98	0.63	0.16	1.74	1.12	0.16	4.88	3.14
0.32	3.15	2.03	0.32	4.37	2.82	0.32	8.29	5.34
0.47	5.90	3.80	0.47	5.84	3.76	0.47	10.68	6.88
0.63	7.65	4.93	0.63	8.38	5.40	0.63	12.87	8.29
0.79	10.21	6.58	0.79	9.94	6.40	0.79	16.02	10.32
0.95	11.23	7.24	0.95	13.11	8.44	0.95	20.18	13.00
1.26	14.30	9.21	1.26	15.49	9.98	1.26	24.87	16.02
1.58	16.09	10.36	1.58	18.05	11.63	1.58	31.74	20.45
1.90	17.97	11.58	1.90	20.59	13.26	1.90	38.37	24.71
2.21	19.53	12.58	2.21	21.69	13.97	2.21	44.57	28.71
2.53	20.40	13.14	2.53	23.90	15.39	2.53	47.35	30.50
2.84	20.53	13.23	2.84	25.81	16.62	2.84	48.89	31.49
3.16	20.57	13.25	3.16	27.81	17.91	3.16	52.61	33.89
3.48	20.45	13.17	3.48	28.63	18.44	3.48	55.93	36.02
3.79	20.95	13.49	3.79	30.19	19.45	3.79	59.19	38.12
4.11	20.81	13.41	4.11	31.27	20.14	4.11	60.33	38.86
4.42	20.61	13.28	4.42	32.64	21.03	4.42	61.71	39.75
4.74	20.60	13.27	4.74	33.55	21.61	4.74	64.92	41.82
5.06	19.45	12.53	5.06	34.27	22.08	5.06	65.96	42.48
5.37	19.07	12.28	5.37	34.97	22.52	5.37	66.92	43.10
5.69	18.63	12.00	5.69	35.34	22.76	5.69	67.12	43.23
6.00	18.57	11.96	6.00	35.10	22.61	6.00	68.83	44.33
6.32	18.43	11.87	6.32	34.30	22.09	6.32	68.30	43.99
6.64	18.04	11.62	6.64	34.04	21.93	6.64	69.61	44.84
6.95	18.17	11.70	6.95	33.85	21.80	6.95	70.58	45.46
7.27	18.41	11.86	7.27	33.68	21.69	7.27	70.85	45.64
7.58	18.36	11.82	7.58	33.26	21.42	7.58	71.51	46.06
7.90	18.19	11.72	7.90	32.76	21.10	7.90	71.63	46.14
8.69	18.19	11.72	8.69	32.68	21.05	8.69	72.79	46.89
9.48	18.05	11.62	9.48	32.62	21.01	9.48	73.74	47.49
10.27	17.95	11.56	10.27	32.29	20.80	10.27	74.60	48.05
11.06	18.77	12.09	11.06	32.28	20.79	11.06	75.70	48.76
INAIGEM. Av. Centenario 2656, Sector Palmira – Huaraz, Ancash.								

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA			
Ensayo de Corte Directo MTC E 123 - ASTM D 3080			
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Proyecto:	INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA LAGUNA CANCAHUA	Código de Muestra:	250307-MS-BU01
Ubicación:	Dist. Shilla, Prov. Carhuaz, Region Ancash	Fecha de Campo / Ensayo:	7/03/2025 10/03/2025
Subcuenca:	Bulín	Coordenadas UTM ESTE/NORTE	221,331.00 8,993,154.00

DATOS DE LA MUESTRA		
SUCS: GP-GM	TIPO: SUELO	CONDICION DE MUESTRA: ALTERADA
DATOS DEL ENSAYO		
MUESTRA : Mat. < N°4	VELOCIDAD: 0.50 mm/min	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3): 2.2
ESTADO : REMOLDEADO	HUMEDAD (%): 5.52	DENSIDAD SECA (gr/cm3): 2.08

CURVA DE RESISTENCIA

Esfuerzo Normal - Esfuerzo Cortante

OBSERVACIONES: La muestra ha sido remoldeado según sus condiciones naturales.

INAIGEM. Av. Centenario 2656, Sector Palmira – Huaraz, Ancash.

FIRMA DIGITAL

 Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAUJ
 20600404202 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 31.03.2025 14:53:21 -05:00

Anexo 3. Resultados de Ensayos de Campo: Ensayo de densidad del suelo in situ
 método del cono de arena

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA
ENSAYO DE DENSIDAD DEL SUELO IN SITU
METODO DEL CONO DE ARENA
ASTM D-1556 / MTC E117
REGISTRO DE RESULTADOS

DATOS DEL PROYECTO						
PRODUCTO:	Inspección técnica de la laguna Cancahua					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Carhuaz	Distrito:	Shilla
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Buin	Laguna:	Cancahua

DATOS DE LA EXCAVACION						
CODIGO:	250307-MS-BU01		Ubicación:	Norte:	8,993,154.00	Dimensiones:
CODIGO DE CAMPO:	MS-01			Este:	221,331.00	Ancho (m.)
Fecha de Registro:	7 de Marzo de 2025			Cota:	4,378.00	Largo (m.)
Método de Excavación:	Manual					
						Prof. (m.)

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6462.50
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	2418.70
3	Peso de la arena empleada	[01-02] (gr)	4043.80
4	Peso de la arena entre el cono y la placa	(gr)	1554.00
5	Peso de la arena en el hoyo	[03-04] (gr)	2489.80
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44
7	Volumen del hoyo	[05/06] (cm3)	1729.03
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	4047.10
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30
10	Peso de la muestra extraída del hoyo	[08-09] (gr)	3797.80
11	Densidad húmeda in situ	[10/07] (gr/cm3)	2.20
12	Densidad seca in situ	[11/(1+(19/100))] (gr/cm3)	2.08
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-12
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1444.90
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1382.40
16	Peso del agua	[14-15] (gr)	62.50
17	Peso del recipiente	(gr)	250.90
18	Peso de la muestra seca	[15-17] (gr)	1131.50
19	Contenido de humedad	[16/18*100] (%)	5.52

REGISTRO FOTOGRAFICO



Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Realización del ensayo de densidad, c) Vista de la morrena empleada en la margen izquierda del canal de salida de la laguna Cancahua.

Observaciones
 El depósito glaciario que conforma la morrena en la parte frontal de la laguna Cancahua, corresponde a un suelo gravoso en una matriz arenosa, con poca presencia de material fino. Así mismo, en la inspección de campo se observó en el corte del talud, generado por la erosión del canal de salida de laguna, varios puntos de filtración de agua, lo cual da a entender que dicho material presentaba condiciones de sobresaturación.

FIRMA (1/1/14)
10 AÑOS **INAIGEM**
 INSTITUTO NACIONAL DE
 INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 205049432 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 31.03.2025 14:53:33 -05:00



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA
ENSAYO DE DENSIDAD DEL SUELO IN SITU
METODO DEL CONO DE ARENA
ASTM D-1556 / MTC E117
REGISTRO DE RESULTADOS

DATOS DEL PROYECTO						
PRODUCTO:	Inspección técnica de la laguna Cancahua					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Carhuaz	Distrito:	Shila
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Buin	Laguna:	Cancahua

DATOS DE LA EXCAVACIÓN						
CODIGO:	250307-MS-BU02	Ubicación:	Norte:	8.993.102.00	Dimensiones:	Ancho (m.)
			Este:	221.400.00		Largo (m.)
CODIGO DE CAMPO:	MS-02		Cota:	4.353.00		Prof. (m.)
Fecha de Registro:	7 de Marzo de 2025					
Método de Excavación:	Manual					

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6221.10
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	1974.90
3	Peso de la arena empleada	[01-02] (gr)	4246.20
4	Peso de la arena entre el cono y la placa	(gr)	1554.00
5	Peso de la arena en el hoyo	[03-04] (gr)	2692.20
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44
7	Volumen del hoyo	[05/06] (cm3)	1869.58
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	4728.80
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30
10	Peso de la muestra extraída del hoyo	[08-09] (gr)	4479.50
11	Densidad húmeda in situ	[10/07] (gr/cm3)	2.40
12	Densidad seca in situ	[11/(1+(19/100))] (gr/cm3)	2.26
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-08
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1435.40
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1370.20
16	Peso del agua	[14-15] (gr)	65.20
17	Peso del recipiente	(gr)	256.80
18	Peso de la muestra seca	[15-17] (gr)	1113.40
19	Contenido de humedad	[16/18*100] (%)	5.86

REGISTRO FOTOGRAFICO



Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Realización del ensayo de densidad, c) Vista de la morrena emplazada en la margen izquierda del canal de salida de la laguna Cancahua.

Observaciones

El depósito glaciario que conforma la morrena en la parte frontal de la laguna Cancahua, corresponde a un suelo gravoso en una matriz arenosa, con poca presencia de material fino. Así mismo, en la inspección de campo se observó en el corte del talud, generado por la erosión del canal de salida de laguna, varios puntos de filtración de agua, lo cual da a entender que dicho material presentaba condiciones de sobresaturación.

FIRMA DIGITAL
10 AÑOS **INAIGEM**
 INSTITUTO NACIONAL DE
 INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAJ
 20609404262 scif
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 31.03.2025 14:53:42 -05:00