

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES
SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES
INFORME TÉCNICO N° 004-2025-INAIGEM-DIG-SDRAG

EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE ALUVIÓN POR DESBORDE DE LAGUNA GLACIAR EN LA SUBCUENCA CASCA

Distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Autores:

Ing. Hilbert Villafane Gomez - Especialista en Hidrología

Ing. Adriana Caballero Bedriñana - Especialista en Ingeniería Civil

Ing. Enver Melgarejo Romero - Especialista en Geomática de Alta Montaña

Ing. Manuel Cosi Fajardo - Especialista en Gestión de Riesgos de Desastres – Geotecnia

Ing. Angel Salas Colca - Especialista en Geología

Bach. Leila Mamani Yampi - Especialista en Geofísica

Colaboradores

Bach. Hieraald Osnard Palomino Gutiérrez - Practicante Profesional en Modelamiento de Alta Montaña

Bach. Xavier Francisco Chavez Champi - Practicante Profesional en Ingeniería Geológica

Bach. Naldini Morales Villanueva - Practicante Profesional en Ingeniería Civil

Bach. Sara Cachay Villacorta - Asistente en Geología – Geotecnia

Revisores

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

Dr. Juan Carlos Montero Chirito - Subdirector de Riesgos Asociados a Glaciares

Editado por

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

Dirección de Investigación en Glaciares

Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares

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

Teléfono: (043) 643460

1ra edición

Julio 2026

Depósito legal N° 2026-01249

CONTENIDO

RESUMEN	5
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Objetivo General	8
1.2 Antecedentes	8
2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
2.1 Caracterización física	12
2.2 Caracterización geológica	15
2.3 Caracterización geomorfológica	18
3 METODOLOGÍA	26
3.1 Información física	26
3.2 Ensayos de laboratorio	27
3.3 Simulación de avalancha de hielo	28
3.4 Simulación del flujo de detritos	28
3.5 Ensayos geofísicos	29
3.6 Análisis de estabilidad de taludes	30
3.7 Evaluación del peligro	31
4 RESULTADOS	35
4.1 Potencial a avalancha de hielo	35
4.2 Potencial a deslizamientos de tierra en el entorno de la laguna Llaca	38
4.3 Escenarios de los factores desencadenantes del desborde	41
4.4 Susceptibilidad del dique artificial y la morrena frontal	42
4.5 Modelamiento del oleaje y desborde de la laguna	51
4.6 Identificación de las zonas de erosión	53
4.7 Simulación de aluvión	54
5 MAPA DE PELIGRO	57
5.1 Exposición	57
5.2 Evaluación del peligro	57
6 CONCLUSIONES	60
7 RECOMENDACIONES	62
7.1 Medidas del corto plazo	62
7.2 Medidas del mediano y largo plazo	63
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio	11
Figura 2. Laguna y glaciar Llaca	13
Figura 3. Cambios en el volumen de la laguna Llaca a través del tiempo	14
Figura 4. Mapa de unidades geológicas del entorno de la laguna Llaca	17
Figura 5. Área de salida de la laguna Llaca	19
Figura 6. Área del aluvión del 28 de abril	20
Figura 7. Río Casca en el caserío de Jinua	22
Figura 8. Mapa geomorfológico	23
Figura 9. Mapa de unidades geomorfológicas del entorno de la laguna Llaca	25
Figura 10. Batimetría de la laguna Llaca	27
Figura 11. Ubicación espacial de los ensayos geofísicos	29
Figura 12. Niveles del peligro en función de la intensidad y probabilidad	32
Figura 13. Metodología de evaluación del peligro por aluvión	34
Figura 14. Frente glaciar correspondiente al GPI- 6	35
Figura 15. Zonas potencialmente inestables de masa glaciar	36
Figura 16. Simulación de avalanchas de hielo	37
Figura 17. Deslizamiento en el talud izquierdo de la laguna Llaca	39
Figura 18. Cálculo del factor de seguridad mediante el método de equilibrio límite	40
Figura 19. Simulación dinámica del deslizamiento de tierra	41
Figura 20. Perfil longitudinal del recorrido del flujo	44
Figura 21. Vista frontal del dique de tierra de la laguna Llaca	45
Figura 22. Vista del canal de salida y de la rápida	47
Figura 23. Zona frontal de la laguna Llaca	48
Figura 24. Refracción Sísmica, MASW, MAM-01 en la laguna Llaca	49
Figura 25. Sondeo Eléctrico Vertical 1.	49
Figura 26. Refracción Sísmica, MASW, MAM 2	50

Figura 27. Sondeo Eléctrico Vertical 2	51
Figura 28. Simulación de las ondas de impulso	52
Figura 29. Mapa de zonas de erosión	54
Figura 30. Simulación de aluvión para el escenario pequeño	55
Figura 31. Simulación de aluvión para el escenario mediano	55
Figura 32. Simulación de aluvión para el escenario grande	56
Figura 33. Exposición de viviendas - rio Casca	57
Figura 34. Niveles de peligro por escenario	58
Figura 35. Mapa de peligro de aluvión	59
Figura 36. Resumen de las curvas granulométricas de las muestras de suelo	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lagunas de la subcuenca Casca	12
Tabla 2. Estudios de batimetría realizados en la laguna Llaca	14
Tabla 3. Valores del coeficiente n de Manning	28
Tabla 4. Coordenadas ubicación de ensayos Geofísicos	29
Tabla 5. límites permisibles para condiciones estáticas y pseudo	31
Tabla 6. Intensidad del aluvión	34
Tabla 7. Resultados de velocidad y tirante de las avalanchas de hielo	38
Tabla 8. Resultados del análisis de estabilidad en la zona de deslizamiento	40
Tabla 9. Volumen de avalanchas y deslizamiento que impactan a la laguna	41
Tabla 10. Evaluación del estado del sistema de captación y conducción	42
Tabla 11. Evaluación del estado del sistema de captación y conducción	44
Tabla 12. Evaluación del estado del sistema de canal de salida y rápida	45
Tabla 13. Características de la ola en la zona frontal	51
Tabla 14. Ubicación de las muestras de suelos ensayadas	87
Tabla 15. Propiedades físicas y clasificación SUCS de los suelos	87
Tabla 16. Densidad de los suelos	88

RESUMEN

El presente estudio, titulado “Evaluación del peligro de aluvión por desborde de laguna glaciar en la subcuenca Casca”, tiene como objetivo evaluar el mayor peligro de origen glaciar en la subcuenca Casca, el cual comprende un posible aluvión originado por el desborde de la laguna Llaca, ubicada en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, Áncash. El estudio integra la caracterización geológica y geomorfológica del entorno físico, junto con simulaciones numéricas que modelan escenarios potenciales de aluviones (pequeño, mediano y grande) y su intensidad. Los resultados indican la existencia de dos principales desencadenantes potenciales: zonas inestables del glaciar Llaca 1 con capacidad de impacto sobre la laguna, y taludes inestables en la morrena lateral, especialmente en el margen izquierdo, con evidencias de escarpas activas. Las simulaciones muestran que avalanchas de hielo y deslizamientos de tierra podrían impactar la laguna y generar ondas de impulso capaces de erosionar la zona frontal, donde se encuentra el dique artificial y la morrena terminal, pudiendo ocasionar un desembalse parcial o total de la laguna. El aluvión originado aguas abajo de la laguna alcanzaría la zona norte de la ciudad de Huaraz en aproximadamente 41, 25 y 22 minutos para los escenarios pequeño, mediano y grande, respectivamente. Las áreas de inundación simuladas afectarían en barrios como Palmira Alta, Palmira Baja, Acovichay, El Milagro y parte de Cascapampa, así como poblaciones de Jinua, Ucrumarán y otros. En conclusión, un posible aluvión originado desde la laguna Llaca representa un potencial peligro para la zona urbana al norte de la ciudad de Huaraz y los centros poblados cercanos al río Casca, por lo que se recomienda implementar las recomendaciones indicadas en este estudio con la finalidad de reducir el riesgo.

Agradecimientos

El INAIGEM agradece al Centre National d'Études Spatiales (Agencia Espacial Francesa, CNES) por facilitar el acceso al Modelo Digital de Superficie de alta resolución. La adquisición de las imágenes Pléiades correspondientes al año 2025 se realizó a través del dispositivo DINAMIS (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire), con datos © CNES/Airbus, y mediante el programa CEST² (licencia CC-BY-NC), bajo la responsabilidad científica de Pascal Lacroix. Los modelos digitales de superficie derivados de Pléiades fueron generados con el software Ames Stereo Pipeline (ASP), siguiendo la metodología descrita por Beyer et al. (2018) y Cusicanqui et al. (2026). Esta colaboración científica se enmarca en el acuerdo marco entre el INAIGEM y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD).

1 INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), en cumplimiento con sus competencias como entidad técnica-científica en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), ha elaborado el presente estudio “Evaluación del peligro por desborde de laguna glaciar en la subcuenca Casca”.

Este trabajo fue realizado por la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG), a través de la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares (SDRAG) contribuyendo de esta manera, con las entidades del SINAGERD, al ofrecer una información oportuna mediante la elaboración de un mapa de peligro por aluvión en el ámbito de la subcuenca Casca.

La metodología empleada para la determinación del peligro por aluvión se estructuró en tres etapas: campo, laboratorio y gabinete. En la primera etapa se realizaron trabajos geológicos y geomorfológicos en los sectores alto, medio y bajo de la subcuenca, además de actividades geotécnicas que incluyeron la recolección de muestras de suelo en los taludes internos de la laguna Llaca y en la llanura de inundación aguas abajo. La segunda etapa comprendió el análisis de laboratorio de dichas muestras, con el objetivo de determinar sus propiedades granulométricas, densidad, ángulo de fricción, cohesión y comportamiento reológico para las muestras de la llanura de inundación. Finalmente, en la etapa de gabinete, se utilizaron los resultados del laboratorio para el análisis de estabilidad de los taludes laterales internos de la laguna Llaca y la simulación hidráulica del posible aluvión bajo tres escenarios. La evaluación del peligro se realizó combinando la probabilidad de ocurrencia y la intensidad, lo que permitió elaborar un mapa de peligro por aluvión clasificado en tres niveles: muy alto, alto y medio.

Finalmente, el presente informe incluye conclusiones y recomendaciones, las cuales se ponen a disposición de los gobiernos locales 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 (INDECI); 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

- Evaluar el peligro de aluvión originado por el desborde de laguna glaciar en el ámbito de la subcuenca Casca, distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash, mediante el análisis de los factores desencadenantes, la simulación de escenarios probables y la estimación de la intensidad del fenómeno, a fin de generar información técnica especializada para la gestión del riesgo de desastres.

1.1.1 Objetivos específicos

- Identificar y analizar los principales factores desencadenantes del aluvión por desborde de la laguna glaciar Llaca, considerando su volumen, condiciones geomorfológicas y glaciológicas, y su potencial de generación de eventos de alta energía en la subcuenca Casca.
- Simular escenarios probables de avalanchas de hielo y el aluvión resultante, a partir de la evaluación de diferentes magnitudes y condiciones de ocurrencia, con el fin de estimar el comportamiento del flujo, su alcance y su intensidad aguas abajo.
- Elaborar el mapa de peligros de aluvión, integrando la probabilidad de ocurrencia y la intensidad del fenómeno, como insumo técnico para la planificación territorial, la prevención y la reducción del riesgo de desastres en el ámbito de estudio

1.2 Antecedentes

1.2.1 Desborde de las lagunas Palcacocha y Jircacocha 1941

El 13 de diciembre de 1941, durante las primeras horas de la mañana, se produjo uno de los desastres naturales más devastadores en la historia de Huaraz. Una gran masa de hielo y rocas se desprendió del nevado Palcaraju y cayó violentamente en la laguna Palcacocha, ubicada a más de 4 500 m.s.n.m. Este impacto generó una ola de gran altura que sobrepasó y destruyó la morrena frontal que contenía naturalmente la laguna. El agua, al mezclarse con sedimentos, rocas y hielo glaciar, se transformó en un aluvión de alta energía que descendió por la quebrada Cojup a una velocidad estimada entre 30 y 40 km/h, arrasando todo a su paso hasta alcanzar la ciudad de Huaraz (Carey, 2014).

Se estima que el aluvión de 1941 en Huaraz ocasionó aproximadamente 1 800 víctimas (Wegner, 2014) lo que evidencia la vulnerabilidad de las poblaciones en el Callejón de Huaylas. Este evento marcó un antes y un después en la gestión del riesgo en zonas de alta montaña en el Perú, motivando la creación de entidades especializadas en monitoreo glaciar y el inicio de estudios sistemáticos sobre las lagunas peligrosas en la Cordillera Blanca.

1.2.2 Desborde la laguna Palcacocha 2003

El 19 de marzo de 2003 se registró un nuevo incidente en la laguna Palcacocha, esta vez ocasionado por un deslizamiento en la morrena lateral izquierda que colapsó directamente sobre el espejo de agua. El impacto generó oleajes internos que superaron los 8 metros de altura, excediendo la capacidad de contención tanto del dique natural como de los muros artificiales construidos previamente como medida de protección (Wegner, 2014). Como resultado, se produjo un rebalse que erosionó parcialmente el dique secundario y destruyó parte de un muro de protección en esa zona. Este episodio no derivó en un aluvión catastrófico como el de 1941, pero sí activó las alarmas técnicas debido al comportamiento inestable de las laderas y la capacidad limitada de las obras de control existentes.

El rebalse provocó un incremento repentino del caudal y la turbidez de las aguas que descendieron por la quebrada Cojup, afectando directamente la captación de agua destinada al abastecimiento urbano. Esta situación generó el desabastecimiento del servicio de agua potable en aproximadamente el 60 % de la ciudad de Huaraz durante seis días, afectando a miles de personas (Wegner, 2014). El evento del 2003 puso en evidencia la persistente vulnerabilidad del sistema natural y de las infraestructuras asociadas, y resaltó la urgencia de fortalecer los sistemas de monitoreo, alerta temprana y mantenimiento de obras de seguridad ante el riesgo glacial en la cordillera Blanca.

1.2.3 Desborde de lagunas en la microcuenca Llaca en marzo 2025

El 26 de marzo de 2025 en la microcuenca Llaca ocurrió un GLOF como resultado del desborde súbito en cadena de dos lagunas ubicadas al suroeste del nevado Vallunaraju. Estas lagunas no tienen nombre oficial, por lo que en el Informe de inspección del evento se denominaron Laguna A (4 813.68 m s.n.m.) y Laguna B (4 805.97 m s.n.m.). Este desborde fue provocado por un movimiento en masa compuesto por detritos saturados, que se deslizó desde el fondo del valle aguas arriba de la Laguna A (INAIGEM & INGEMMET, 2025). El fenómeno desencadenó un flujo de detritos que descendió por la quebrada Llaca.

Si bien este evento fue de baja magnitud, ocasionó la destrucción de aproximadamente 20 metros de la carretera afirmada que conecta Huaraz con el refugio de la Laguna Llaca, interrumpiendo temporalmente el acceso a la zona. El impacto fue contenido dentro de la quebrada, sin afectar directamente a la ciudad de Huaraz ni a centros poblados cercanos. No se reportaron víctimas ni daños estructurales mayores.

1.2.4 Desborde de lagunas en la microcuenca Llaca en abril de 2025

El 28 de abril de 2025 en la quebrada Llaca ocurrió un GLOF de mayor magnitud. Este suceso fue desencadenado por un derrumbe proveniente del margen derecho de la Laguna A, donde un macizo rocoso intensamente fracturado, perteneciente al Grupo Chicama, se desprendió y cayó sobre la laguna. El impacto desplazó súbitamente todo el volumen de la Laguna A hacia la Laguna B, lo que produjo un aluvión violento que descendió por la quebrada Llaca y alcanzó la parte baja de la subcuenca Casca (INAIGEM & INGEMMET, 2025). A diferencia del evento anterior del 26 de marzo, el flujo alcanzó zonas pobladas, incluyendo sectores urbanos del distrito de Independencia.

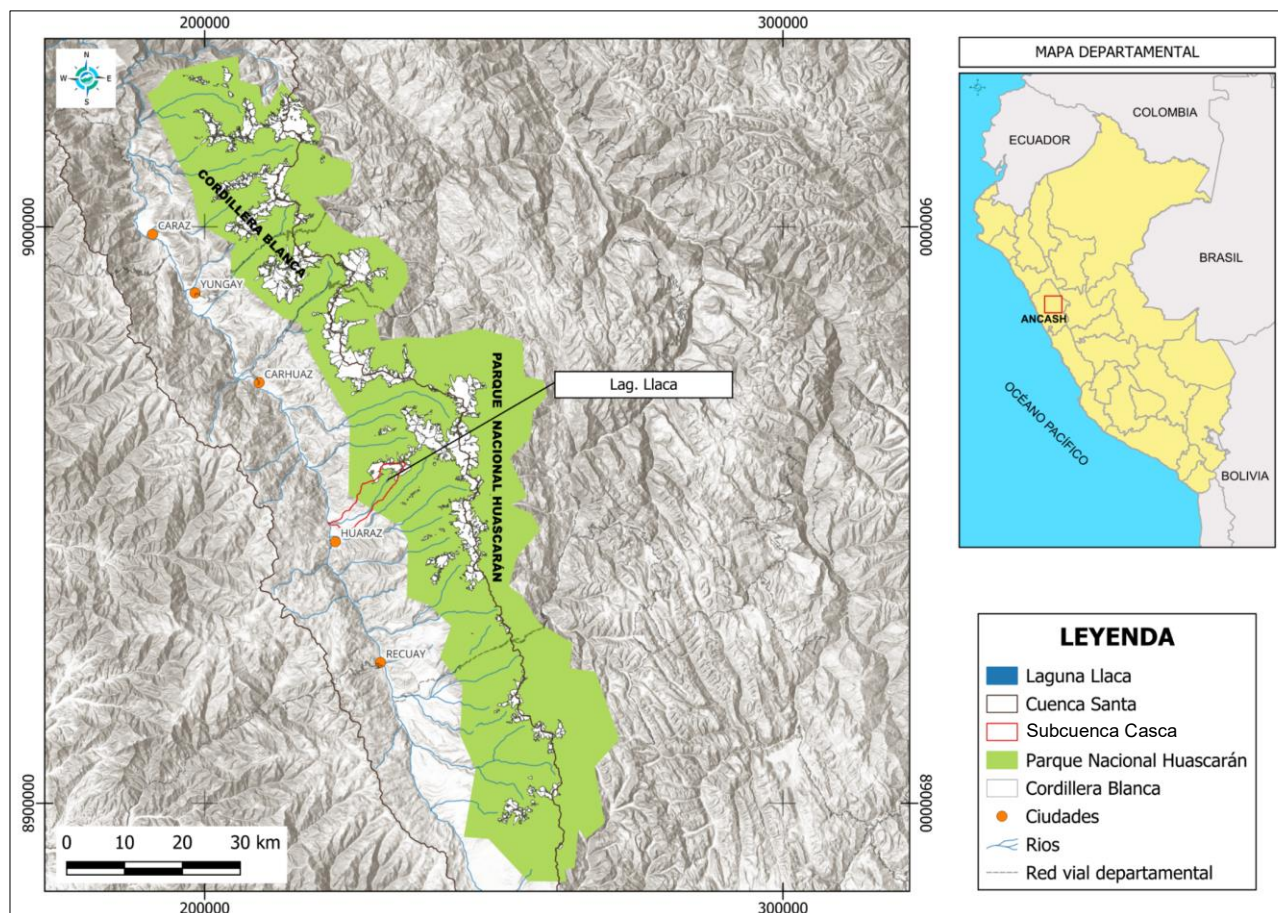
Como consecuencia del desastre, ocurrieron dos fatalidades: un infante de 10 meses y una joven de 23 años. Además, el evento causó graves daños en infraestructura pública clave. Se destruyeron alrededor de 100 metros de la carretera Huaraz–Laguna Llaca, lo que interrumpió el acceso vehicular a la laguna. También fueron afectados varios puentes importantes, como el puente del desvío Llaca–Willcahuain, el cruce de la avenida Centenario y el puente sobre la avenida Independencia, dificultando la conectividad en el distrito. Asimismo, se reportaron daños en canales de riego y en estructuras de protección como defensas ribereñas, lo que evidencia la vulnerabilidad de la infraestructura ante eventos de origen glaciológico (INAIGEM & INGEMMET, 2025).

El flujo aluvional avanzó con tal fuerza que se desbordó hacia el cauce del río Casca, llegando incluso al río Santa. A su paso, arrastró gran cantidad de detritos y lodo, causando daños significativos en infraestructura pública y privada. Se reportó la afectación de al menos 14 infraestructuras, incluyendo viviendas, tramos de la carretera Huaraz – Laguna Llaca, así como puentes y obras viales menores. Varias casas fueron destruidas o quedaron inhabitables, especialmente en las zonas urbanas aledañas al cauce del río Casca.

El aluvión impactó varios sectores del distrito de Independencia, entre ellos Paria-Willcahuain, Lirio, Jinua, Cachipampa, Ucrumaran y el sector de Palmiras. Estas áreas, ubicadas aguas abajo del evento glaciario, estuvieron expuestas a la fuerza del aluvión a medida que éste descendía desde la parte alta de la subcuenca Casca.

2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio



2.1 Caracterización física

El ámbito de estudio se localiza en la vertiente occidental de la cordillera Blanca, dentro de la cuenca del río Santa y específicamente en la subcuenca del río Casca. Desde el punto de vista político administrativo, se ubica en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz y departamento de Áncash. Esta zona se caracteriza por una marcada influencia de procesos glaciológicos y geomorfológicos de alta montaña, los cuales condicionan la dinámica hidrológica y los escenarios de peligro asociados a eventos de origen glaciar.

2.1.1 Subcuenca Casca

Se ubica geográficamente en la vertiente occidental de la Cordillera Blanca; su cauce principal atraviesa áreas rurales y urbanas, y desemboca en el río Santa, próximo al área urbana de la ciudad de Huaraz.

La cabecera de la subcuenca alberga un conjunto de glaciares y lagunas de origen glaciar. En la parte alta del valle, en su margen derecho, se encuentran tres lagunas: una laguna proglaciar en la zona superior y otras dos localizadas al pie del nevado Vallunaraju, las cuales, en el actual contexto de retroceso glaciar, son monitoreadas anualmente por el INAIGEM (INAIGEM & INGEMMET, 2025).

La laguna de mayor extensión se sitúa en el valle principal y se encuentra en crecimiento, por la cual constituye el motivo del presente estudio. Su represamiento está formado por una morrena, a lo que se suma un dique artificial construido como obra de seguridad.

Tabla 1. Lagunas de la subcuenca Casca

Laguna	Área (m ²)	Localización
B	5 878	Valle colgado del Vallunaraju
C	4 379	Pie del nevado Vallunaraju
D	9 688	Pie del nevado Vallunaraju
Llaca	121 336	Valle principal

2.1.2 Glaciar Llaca

El glaciar Llaca, comprende la parte de los nevados Ocshapalca (5 888 m s. n. m.) y Ranrapalca (6 162 m s. n. m.) que se encuentran dentro de la subcuenca Casca, en su parte más baja adopta la forma de una lengua glaciar cubierta por detritos los cuales están conformados principalmente por bloques angulosos que alcanzan varios metros de diámetro, la parte más distal de la lengua glaciar se presenta como islas, es decir, montículos con núcleo de hielo (Narro et al. 2023). Entre los años 2019 y 2024 ha perdido más de 11 millones de m³ de masa glaciar (INAIGEM, 2025).

Figura 2. Laguna y glaciar Llaca



2.1.3 Laguna Llaca

La laguna Llaca es una laguna proglaciar, que se encuentra en crecimiento, es represada por un sistema morrénico. Según las distintas evaluaciones técnicas, entre los años 2017 y 2023, realizadas por el Área de Evaluación de Glaciares y Laguna (AEGL) de la ANA mencionan que existen glaciares colgantes que podrían resultar peligrosos cuando el cuerpo de agua alcance su máximo desarrollo (ANA, 2024). Adicionalmente otras características, como su proximidad al glaciar, su área y la población expuesta a un posible desborde de la misma, la catalogan como una de las lagunas con riesgo de desborde muy alto (INAIGEM, 2024).

Latitud: 9° 26' 01" S

Este: 8956270 m S

Longitud: 77° 26' 34" O

Norte: 231754 m O

Altitud: 4 472 m s.n.m.

A través de los años, distintas entidades (como el INRENA y más tarde la ANA) han realizado estudios en la laguna y el glaciar Llaca, al determinar que poseía un riesgo de desborde se ejecutó una obra de seguridad en 1977, que comprende un dique, un canal

de entrada y de salida, en consecuencia, el volumen y el espejo de agua de la laguna disminuyeron, empero, en el presente siglo la laguna ha seguido creciendo (Tabla 1).

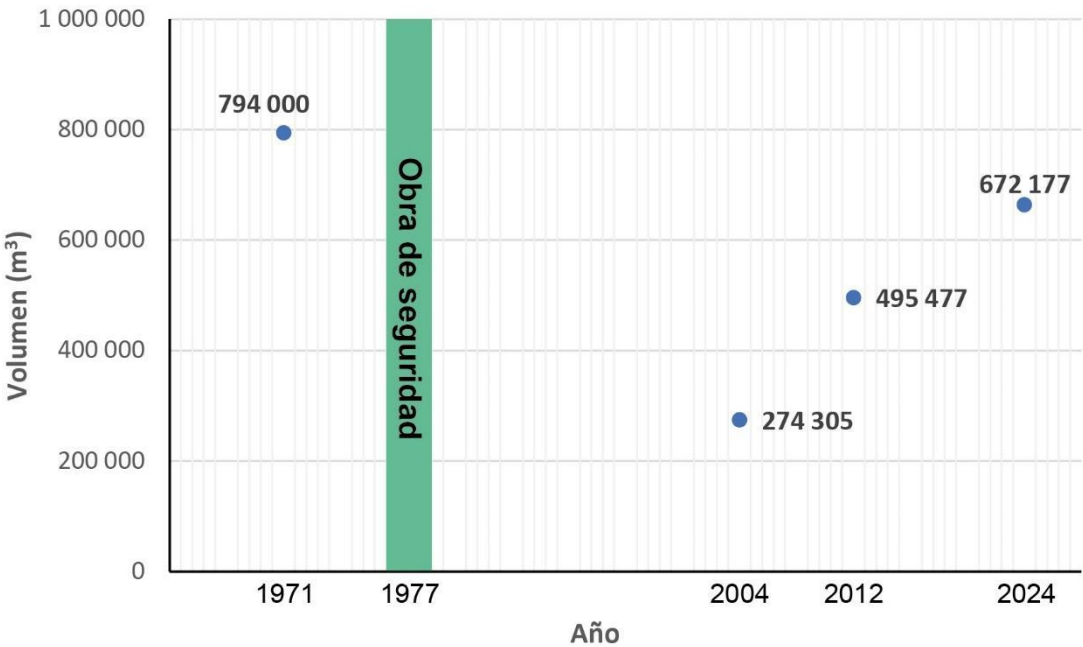
En abril del 2024 la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) Huarmey – Chicama realizó el levantamiento topográfico y batimétrico de la laguna Llaca, registró un volumen total de 672 177 m³, área máxima del espejo de agua de 121 336 m² y una profundidad máxima de 29.20 m, además del registró de un caudal de 607 l/s a en el canal de salida de la laguna.

La Figura 2 muestra el rápido aumento del volumen de la laguna Llaca en los últimos años, observándose que está próximo a alcanzar los niveles previos a la construcción de la obra de seguridad.

Tabla 2. Estudios de batimetría realizados en la laguna Llaca

Año	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Profundidad máxima (m)	Fuente
1971	63 312	794 000	29	ANA - 2020
2004	43 988	274 305	17	
2012	65 513	495 477	19	
2024	121 336	672 177	29	ANA - 2024

Figura 3. Cambios en el volumen de la laguna Llaca a través del tiempo



2.2 Caracterización geológica

2.2.1 Geología de la subcuenca Casca

Las unidades geológicas en el área de estudio fueron descritas en las cartas geológicas nacionales 1: 100 000 de Huari (Valdivia & Mamani, 2003), de Carhuaz (De la Cruz & Chacaltana, 2003), de Huaraz (Cobbing et al., 1996), y en su actualización a 1: 50 000 de Huari (Cueva & Torres, 2024) este informe está basado principalmente en tales descripciones.

El Batolito de la Cordillera Blanca abarca la parte superior de la subcuenca Casca, es exhumado a través de la falla de desprendimiento del mismo nombre, la litología observada en el área de la laguna es de granodiorita, en la parte próxima a la falla se ha identificado metagranodiorita y diorita (Cueva & Torres, 2024) en el área de la escarpa de falla se encuentra moderadamente vegetado, y el Grupo Chicama se encuentra como bloques colgantes, generalmente caracterizados por su coloración rojiza.

Los depósitos cuaternarios son variables, en el área de la Cordillera Blanca, en la parte superior se encuentran depósitos glaciares, los cuales forman morrenas, de diversos volúmenes y con diferentes grados de erosión; los depósitos aluviales se encuentran formando humedales. Al pie de los taludes de la Cordillera Blanca, se han formado depósitos coluviales cubiertos por vegetación.

En el área del Callejón de Huaylas se encuentra principalmente una variedad de depósitos aluviales que reflejan distintas etapas del levantamiento de la cordillera, forman diversas terrazas, algunas de ellas han sido ocupadas con fines de vivienda, entre ellas se encuentra la Formación Lloclla.

2.2.2 Geología en el entorno de la laguna Llaca

En la cabecera de la subcuenca Casca, sobresalen rocas intrusivas tipo granodioríticas perteneciente al Batolito de la Cordillera Blanca, siendo rocas leucocratas de color blanco con tonalidad parduzca y textura fanerítica de grano medio, conformados por minerales de cuarzo, ortosa y plagioclasas levemente orientados, y ferromagnesianos que se disponen de forma diseminada. Esta unidad rocosa conforma el relieve montañoso que se observa actualmente, presentando en las zonas cercanas al circo glaciar numerosas escarpas, donde presenta un diaclasamiento intenso producto del fenómeno de desglaciación, lo que origina consecuentemente el desprendimiento de rocas y derrumbes a lo largo de la quebrada Llaca.

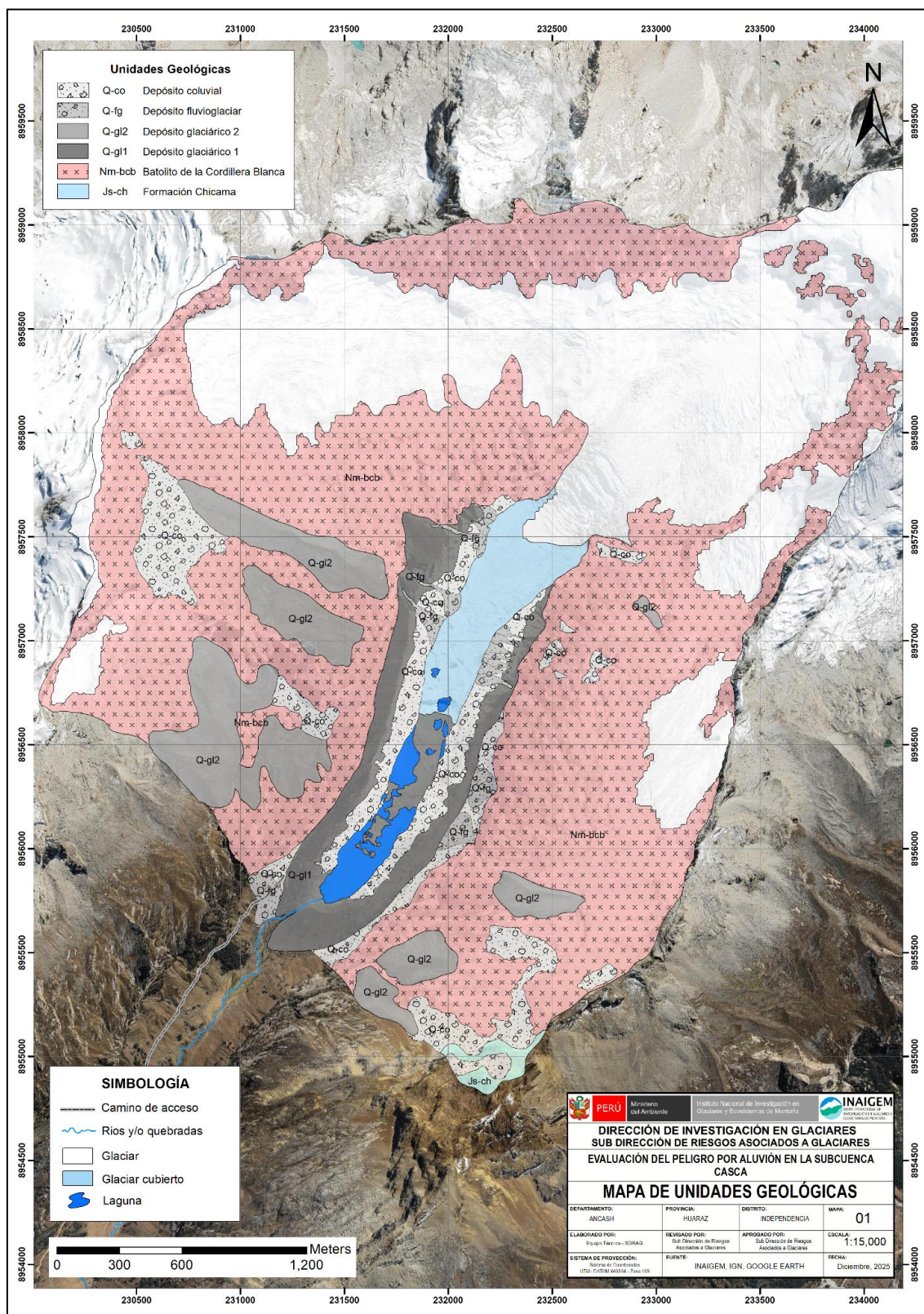
El afloramiento rocoso se encuentra cubierto a su vez por depósitos poco o nada coherentes de edad reciente, de extensión y grosor variable, conformados por material de litología homogénea y heterométrica, depositados desde el Pleistoceno y Cuaternario reciente. Siendo los depósitos glaciáricos y gravitaciones los que más

predominan, distribuyéndose principalmente en el fondo del valle glaciar y en las partes bajas de las laderas del relieve montañoso.

Los depósitos glaciáricos corresponden a la acumulación de materiales producto de la acción geodinámica de los glaciares, se caracterizan por presentar material heterogéneo carentes de estratificación y por no estar muy consolidados. Se presentan en forma de morrenas de fondo de valle actuando como embalse natural de la laguna Llaca y como morrenas colgantes en las laderas del macizo rocoso, siendo estas las unidades más recientes por su ubicación y cercanía al glaciar.

Por su parte, los depósitos de origen gravitacional se generan por la caída y desprendimiento por gravedad de material clástico, producto de la meteorización, erosión y alteración del macizo rocoso y de las laderas. Se trata de depósitos no consolidados, conformados por cantos y gravas subangulosas a angulosas, con una matriz fina subordinada. Estos depósitos se emplazan en las laderas en forma de conos de deyección y en los taludes internos de las morrenas, pudiendo evolucionar a flujos de detritos, especialmente cuando se encuentran saturados de agua, lo que incrementa su peligrosidad.

Figura 4. Mapa de unidades geológicas del entorno de la laguna Llaca



2.3 Caracterización geomorfológica

La clasificación de unidades y subunidades geomorfológicas utilizada en este trabajo se basa principalmente en la clasificación presentada por Villota (2005) y en la cartografía geomorfológica elaborada por el INGEMMET, adicionalmente se ha tenido en cuenta los movimientos en masa cartografiados en el trabajo de Valderrama *et al.* (2016). Este enfoque permite identificar las formas del relieve y los procesos geodinámicos activos y heredados, fundamentales para la evaluación del peligro por aluvión en la subcuenca Casca.

2.3.1 Geomorfología de la subcuenca Casca

El área de estudio abarca dos morfoestructuras: la Cordillera Blanca y el Callejón de Huaylas.

a. Montañas y lomadas

Montaña en roca plutónica

Comprende el área que se encuentra sobre la falla de desprendimiento de la Cordillera Blanca, en ella se ha formado un valle glaciar, el cual tiene entre 500 a 800 m de ancho, en su parte más estrecha tiene inclinaciones entre 68° a 83° (próxima a la laguna) y en su lado más ancho tiene inclinaciones entre 55° a 77° (Narro et al. 2023).

Lomada en roca sedimentaria

Se encuentra en el margen izquierdo de la quebrada Llaca, adyacente al Sistema Morrénico 1.

b. Glacial

Sistema Morrénico 1

Estas morrenas son las más voluminosas y se encuentran cortadas por la falla de desprendimiento, presentando un mayor grado de erosión.

Sistema Morrénico 2

Se encuentran en el valle de la quebrada Llaca, presentan un grado de erosión moderado, y abarcan toda la amplitud del valle.

Figura 5. Área de salida de la laguna Llaca



Sistema Morrénico 3

Se encuentran conteniendo a la laguna Llaca, tiene entre 60 a 80 m de altura, los taludes externos se encuentran cubiertos por vegetación entre árboles, arbustos y pastizales, por su parte, los taludes interiores se encuentran escasamente vegetados, y en ella se observan cicatrices de deslizamientos. En la parte frontal de la morrena se construyó una obra de seguridad que comprende un dique artificial, canales de entrada y salida, esta obra mantiene a un nivel constante el espejo de agua de la laguna, su objetivo es disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones asentadas aguas abajo.

Figura 6. Área del aluvión del 28 de abril



c. Piedemonte

Abanico aluvial

Son los sedimentos depositados por el agua, se encuentran, en la quebrada Llaca, originándose desde las montañas de roca plutónica, también se encuentra en la desembocadura del río Casca (parte norte de la ciudad de Huaraz), la actividad antrópica ha modificado también ha aplanado varias áreas de esta zona.

Recientemente como consecuencia del desborde total de la laguna A, el día 28 de abril del 2025, se originó un cono aluviónico en la quebrada Llaca (INAIGEM & INGEMMET, 2025), con bloques de hasta más de 3 m, lo cual ha represado el cauce de la quebrada Llaca, formando un pequeño cuerpo de agua, asimismo, la corriente de agua ha sido orillada hacia el extremo izquierdo del valle. Los sedimentos depositados por este aluvión representan una fuente de detritos que pueden incorporarse al flujo en el caso de que ocurriera un posible aluvión de la laguna Llaca.

Vertiente aluvial

Se originan como resultado de la erosión fluvial de las colinas. En algunas zonas, estas vertientes también han sido niveladas para el desarrollo de actividades agrícolas y de vivienda.

d. Planicies

Llanura aluvial

Se encuentran en la parte alta de la quebrada Llaca, generalmente están formando humedales.

Terrazas 1C

Son planicies ubicadas en ambos márgenes del río Casca, conexas a las Terrazas 2C, son las áreas más propensas a las inundaciones algunas de ellas se encuentran ocupadas por viviendas.

Terrazas 2C

Se encuentra en los márgenes del río Casca y la quebrada Llaca, en el área más baja de esta zona se encuentra la ciudad de Huaraz.

Terrazas 3C

Se encuentra principalmente en el margen izquierdo del río Casca, en ciertos sectores han sido nivelados, hasta la altura de las Terrazas 1C, para la ocupación de viviendas y construcción de carreteras.

Terraza S

Se localiza en el margen derecho del río Santa, en una zona que ha peneplanizado el abanico aluvial generado en la desembocadura del río Casca. Por esta razón, su límite hacia dicho abanico aluvial es difuso y difícil de delimitar con precisión.

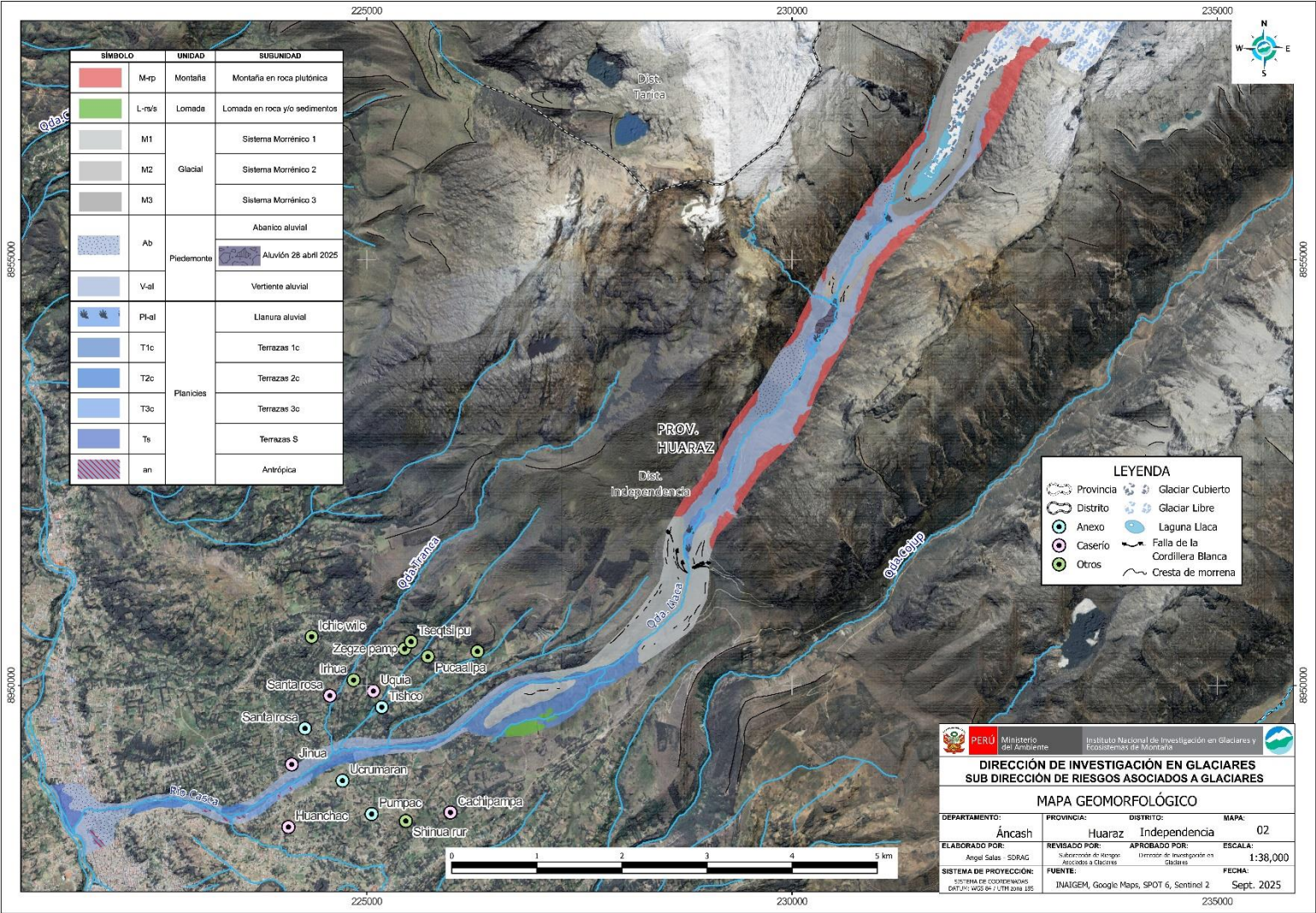
Antrópicas

Dentro de las vertientes aluviales y las Terrazas 3C, se han ejecutado excavaciones, principalmente para la construcción de viviendas. Estas intervenciones han generado un relleno y nivelación del terreno hasta alcanzar la altura de las Terrazas 1C, incrementando así su susceptibilidad a inundaciones. Paralelamente, en el área urbana de Huaraz se han acondicionado planicies mediante rellenos para la construcción de carreteras y viviendas.

Figura 7. Río Casca en el caserío de Jinua



Figura 8. Mapa geomorfológico



2.3.2 Geomorfología en el entorno de la laguna Llaca

El área de estudio corresponde a un valle glaciar en forma de “U” modelado por la dinámica glaciar y tectónica a la que ha sido sometido a lo largo del tiempo, emplazándose a lo largo de su extensión geoformas degradacionales y agradacionales de origen glaciar, gravitacional y fluvial, formando el relieve que se observa actualmente.

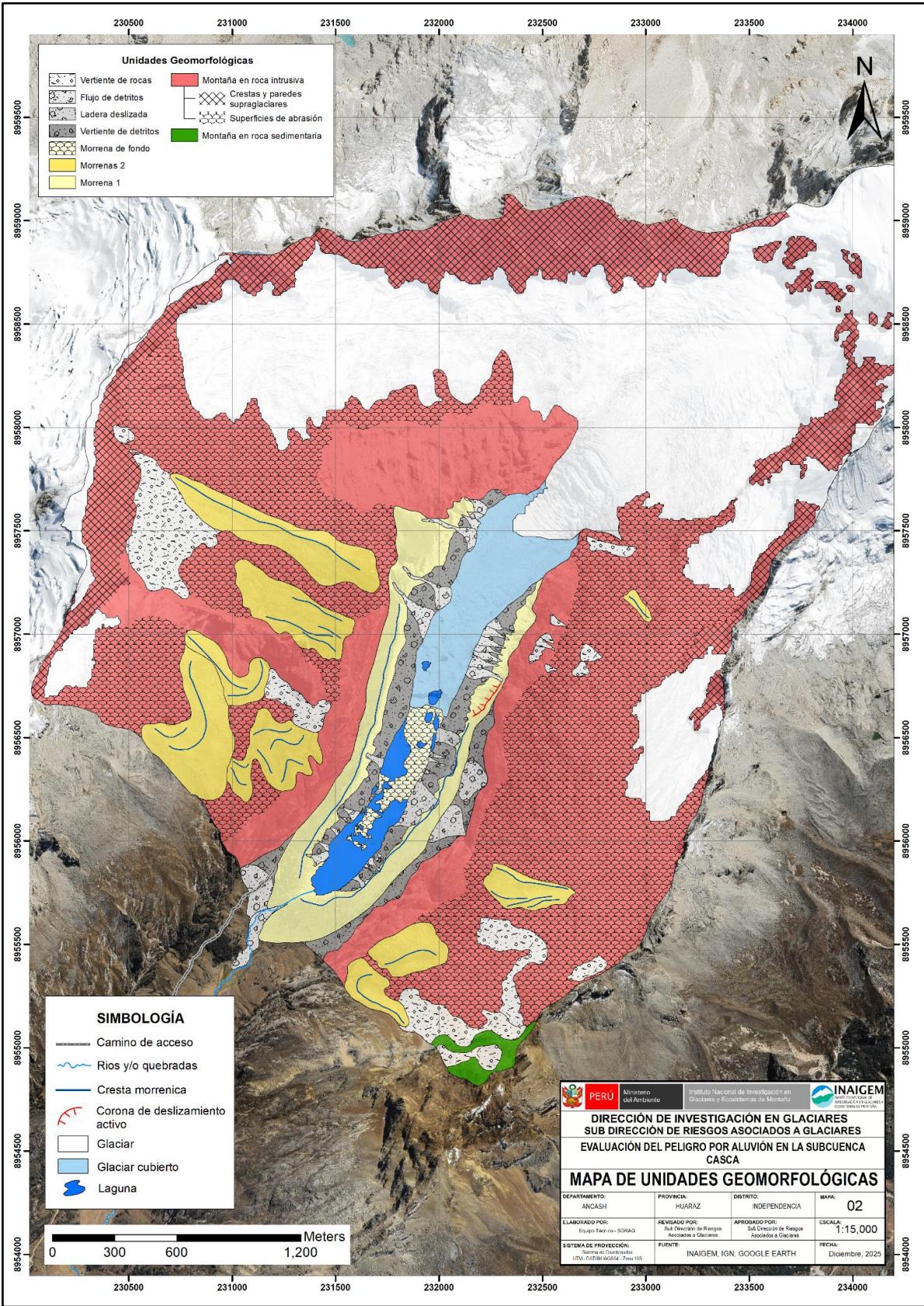
El relieve montañoso que conforma la Cordillera Blanca está constituido litológicamente por rocas ígneas intrusivas de naturaleza granodiorítica, donde predominan los procesos acumulativos y erosivos resultantes de la dinámica glaciar y periglacial actual y del pasado. Presentando una variación en el tipo de relieve según su ubicación, pendiente y grado de erosión. En los sectores más altitudinales correspondiente a los picos y crestas montañosas, el afloramiento rocoso presenta pendientes casi verticales con cobertura glaciar formando paredes y crestas supraglaciares, relacionados a antiguas caídas de rocas debido a la fragmentación por gelifracción (congelamiento y deshielo) del macizo rocoso, los cuales rellenan las laderas y forman depósitos de derrubios típicos de este tipo de meteorización.

Así mismo, en las zonas cercanas a la cobertura glaciar se observa gran parte de los afloramientos rocosos con texturas aborregadas, es decir, presentan superficies con huellas de abrasión glaciar, la cual es producto de la acción de desgaste o pulido realizada por el paso del hielo sobre su base rocosa. Dicha superficie presenta una superficie externa limpia y lisa con perfiles suavemente convexos (roca aborregada), sobre la que el paso de fragmentos o bloques particularmente duros marcan estrías (Muñoz, 1995); siendo a su vez un indicador de la antigua expansión de los glaciares en esta zona.

La textura y pendiente del macizo rocoso cambia conforme nos acercamos al fondo del valle glaciar, presentando pendientes moderadas con una erosión más marcada, las cuales por su grado de diaclasamiento generan caídas de rocas constantes, depositándose en las partes bajas de sus laderas. Siendo esta una zona donde predominan los procesos denudativos que consecuentemente generan gran cantidad de movimientos de masa

En el fondo del valle glaciar se ubica la laguna Llaca, la cual es una laguna proglacial que se encuentra en crecimiento y en contacto con un glaciar cubierto por detritos en su parte posterior. Dicho cuerpo de agua está embalsado de forma natural por una morrena de gran extensión, la cual es resultado de la acción mecánica del proceso de avance y retroceso glaciar durante la era cuaternaria. El interior de la morrena presenta pendientes en sus taludes internos de 35° a 45°, sin presencia de vegetación y con una gran cantidad de derrumbes y caídas de detritos antiguos y recientes, el cual denota el grado de inestabilidad que presenta. Caso contrario ocurre en los taludes externos de la morrena, presentando pendientes de 25° a 35°, con cobertura vegetal y sin material suelto o removido, lo cual le da cierto grado de estabilidad.

Figura 9. Mapa de unidades geomorfológicas del entorno de la laguna Llaca



3 METODOLOGÍA

3.1 Información física

3.1.1 Modelo digital de elevación

Para la caracterización topográfica del área de estudio se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) de alta resolución espacial (0.5 m), diferenciando su origen según el ámbito de análisis. En la parte alta y media de la subcuenca Casca se empleó un DEM generado a partir de imágenes satelitales Pléiades 2025 (© CNES/AIRBUS), mientras que para la parte baja de la subcuenca, así como para las áreas urbana y rural, se utilizó un DEM de 0.5 m de resolución elaborado por el INAIGEM (2025).

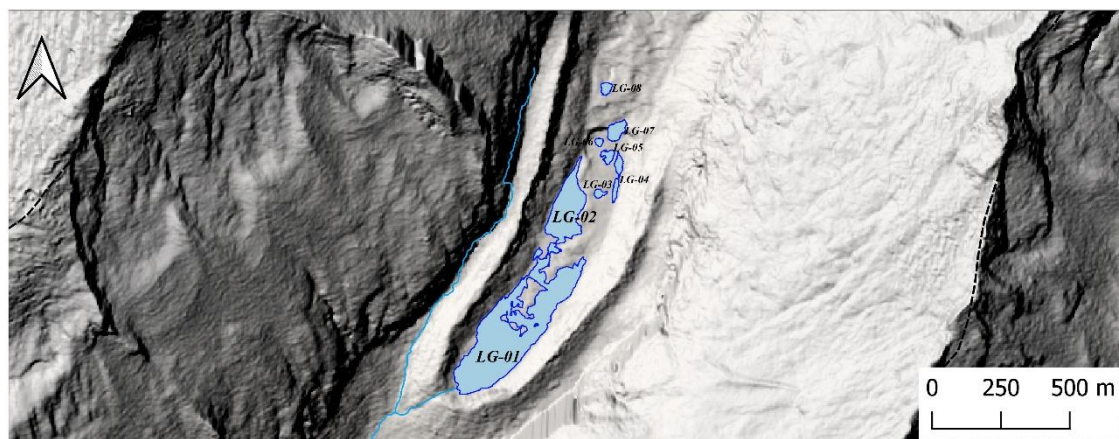
Durante el desarrollo del estudio se priorizó el alto nivel del detalle en la zona urbana, considerando que la red vial constituye un elemento fundamental para la conducción y redistribución del flujo aluvional, mientras que la representación geométrica de edificaciones e infraestructura resulta clave para simular efectos de obstrucción, canalización y desviación del flujo. Esta aproximación permitió mejorar el realismo de los escenarios de modelamiento hidráulico y de propagación del aluvión.

3.1.2 Batimetría

La laguna Llaca (Figura 10) está conformada por dos cuerpos principales de agua LG-1 y LG-2, además de otros cuerpos de agua proglaciar de menor tamaño. Para los cuerpos LG-1, LG-2 se utilizó la batimetría levantada en el año 2024 por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con un volumen total de 672 177 m³, la cual cuenta con curvas de nivel a intervalos de 2 metros, proporcionando una adecuada representación del fondo lacustre.

En el caso de los cuerpos de agua menores (LG-3, LG-4, LG-5, LG-6, LG-7 y LG-8), la información batimétrica fue generada por el INAIGEM en el marco del presente estudio, asegurando la coherencia geométrica y actualizada del conjunto del sistema lacustre para su posterior incorporación en los escenarios de simulación.

Figura 10. Batimetría de la laguna Llaca



Fuente: DSM Spot 6 (CONIDA, 2020)

3.1.3 Datos geotécnicos de campo

En los materiales inconsolidados que conforman el área de estudio se realizaron ensayos de densidad *in situ* mediante el método de cono de arena, lo que permitió determinar la densidad natural de los suelos en condiciones reales de emplazamiento. Asimismo, se extrajeron muestras representativas de suelos en diferentes sectores clave, particularmente en depósitos morrénicos, coluviales y aluviales, con el fin de caracterizar los materiales potencialmente susceptibles al arrastre durante un evento aluvional.

Las muestras recolectadas fueron debidamente acondicionadas y trasladadas al Laboratorio de Investigación en Geotecnia del INAIGEM para su análisis físico - mecánico.

3.2 Ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos geotécnicos de las muestras de suelos 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). Dichos ensayos son los siguientes:

- | | |
|--|--------------------------|
| ● Análisis granulométrico por tamizado | ASTM D422 / NTP 339.128 |
| ● Contenido de Humedad | ASTM D2216 / NTP 339.127 |
| ● Límites de Atterberg | ASTM D4318 / NTP 339.129 |
| ● Clasificación de suelos SUCS | ASTM D2487 / NTP 339.134 |
| ● Corte directo | ASTM D3080 / NTP 339.171 |

El objetivo de dichos ensayos es conocer la distribución del tamaño de las partículas del suelo y sus propiedades físicas, cuyos resultados servirán de insumo para los modelamientos de flujos, caracterización de los materiales susceptibles al arrastre, así como muestras para estudios y/o investigaciones posteriores.

3.3 Simulación de avalancha de hielo

Para la identificación de las zonas potencialmente inestables en el área glaciar se consideraron tres aspectos, el primero la composición, siendo que estas áreas presentan una estructura de acumulación de hielo de alta densidad; segundo las condiciones topográficas, donde las avalanchas se originan en pendientes pronunciadas (20° a 60°), y la energía potencial topográfica condiciona a la estabilización del glaciar y la tercera con el desarrollo de grietas en el glaciar (Tian et al., 2025).

Para la simulación de las avalanchas de hielo se empleó el modelo RAMMS, mediante su módulo avalancha, que emplea el modelo matemático de Voelmy-Salm, formulado con variables promediadas en profundidad para la altura de flujo $H(x, y, t)$ y la velocidad media $U(x, y, t)$. A partir de la conservación de masa y el momento se obtienen EDP que incluyen arrastre/deposito (Q), aceleración gravitatoria y fricción dividida en un término Coulomb seco (μ) y otro dependiente de la velocidad (ξ), lo que permite representar desde la aceleración hasta el run out de la avalancha. Las ecuaciones se resuelven en el tiempo sobre un mallado superficial derivado del DEM, restringido a un dominio computacional que rodea la trayectoria prevista. RAMMS usa un esquema de Volúmenes Finitos (RAMMS, 2025).

3.4 Simulación del flujo de detritos

La simulación del aluvión se desarrolló en el entorno de Hec RAS 6.6, iniciando las configuraciones para importar el modelo de elevación digital y crear la nueva geometría seguido de la creación de la malla computacional realizado en HEC-RAS 2025 que permite refinar áreas como calles y cauces de ríos de manera detallada, se utilizó para la simulación de flujo de baja concentración volumétrica de 30 %. Mientras que para flujo de alta concentración se empleó el modelo FLO-2D con una concentración volumétrica de 50 %. Se trabajó con este enfoque para comprender la dinámica y abordar la ocurrencia de los casos hipotéticos de flujo de alta o baja concentración. Para ambos casos se trabajó con el modelo reológico cuadrático de O'Brien, con valores de los coeficientes empíricos para el esfuerzo de fluencia de $\alpha_1 = 0.0473$, $\beta_1 = 21.1$ y viscosidad dinámica $\alpha_2 = 0.128$ y $\beta_2 = 12$. Los valores del coeficiente de Manning se emplearon mediante la zonificación de coberturas terrestres, conforme a la tabla 2.

Tabla 3. Valores del coeficiente n de Manning

Clases de cobertura terrestre	Coeficiente n de Manning
Cuerpo de agua	0.13
Bosque	0.16
Cauce fluvial	0.13
Campos de cultivo	0.14
Área construida	0.2
Pastizales	0.14

3.5 Ensayos geofísicos

Se utilizaron métodos geofísicos no invasivos que permitieron investigar el subsuelo de manera indirecta entre ellos: Refracción Sísmica (RS), Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal (MASW), Análisis de Micro trepidaciones en Arreglo Multicanal (MAM) y Sondajes Eléctricos Verticales (SEV). La finalidad principal fue caracterizar las propiedades de los materiales del subsuelo, identificar el contacto suelo-roca y obtener parámetros que sirvan como insumo para modelamientos de flujos y validación de modelos geotécnicos.

Se realizaron cuatro (04) líneas de Refracción Sísmica (RS) con longitud de tendidos de 194 y 125 m, cuatro (04) puntos de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), cuatro (04) puntos de Análisis de Micro trepidaciones en Arreglo Multicanal (MAM) y cuatro (04) puntos de Sondajes Eléctricos Verticales.

Figura 11. Ubicación espacial de los ensayos geofísicos

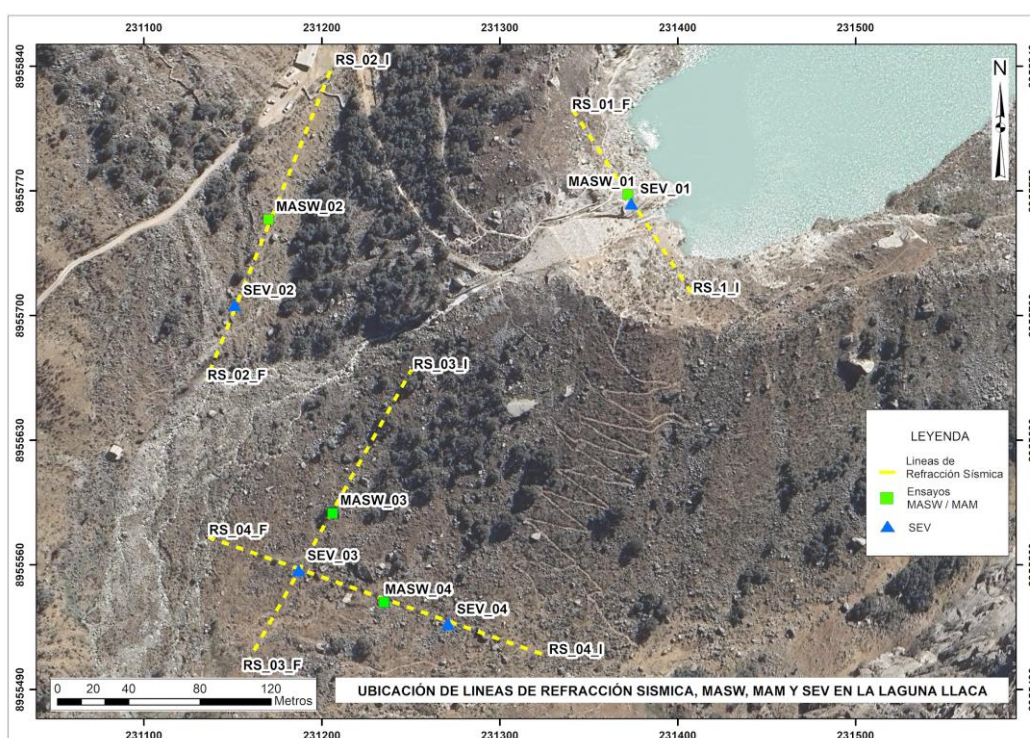


Tabla 4. Coordenadas ubicación de ensayos Geofísicos

Ensayo	Tramo	Este (m)	Norte (m)	Longitud de tendido (m)
RS_01	Inicio	231407	8955711	125
	Final	231340	8955817	
RS_02	Inicio	231206	8955839	194
	Final	231138	8955675	

RS_03	Inicio	231250	8955668	194
	Final	231160	8955510	
RS_04	Inicio	231326	8955508	194
	Final	231133	8955576	
MASW/MAM 1		231372	8955768	120
MASW/MAM 2		231170	8955754	120
MASW/MAM 3		231206	8955589	120
MASW/MAM 4		231235	8955539	120
SEV-01		231374	8955763	300
SEV-02		231151	8955706	300
SEV-03		231187	8955557	300
SEV-04		231271	8955527	300

3.6 Análisis de estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad en los taludes naturales se realizó mediante el Método de Equilibrio Límite (MEL), el cual se basa en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable sin considerar las deformaciones del terreno. Dicho método supone que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte circular, dividiendo a la masa deslizante en una serie de dovelas verticales, obteniendo las fuerzas actuantes y resultantes para cada dovela, y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo producido por estas fuerzas se obtiene el Factor de Seguridad (FS).

Para dicho análisis se generó inicialmente un perfil del área a evaluar, tomando como referencia el Modelo de Elevación Digital (DEM) de 0.5 m de resolución, generado a partir del vuelo dron realizado en el entorno de la laguna Llaca. Dicho perfil es importado en el software numérico, en el cual teniendo en cuenta la estratigrafía, los parámetros físicos y de resistencia de los materiales obtenidos a con ensayos de campo y laboratorio, como la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ); el contenido de agua en los poros que reduce la resistencia efectiva cortante y la fuerza sísmica, obteniendo los valores del FS para el talud en evaluación en condiciones estáticas y pseudo estáticas (que considerando el factor sísmico).

Cabe precisar que, la presencia de bloques de roca de gran tamaño en los taludes reduce considerablemente su FS, por ende su estabilidad, siendo que se generan en él zonas de debilidad (discontinuidades) que pueden llevar a formas de colapso, teniendo estos bloques, por su tamaño, predisposición al deslizamiento y caída cuando las fuerzas gravitacionales superan la resistencia de la adherencia bloque - matriz, influyendo directamente en la reducción de la resistencia global y facilitar el movimiento de grandes masa. Esta consideración es tomada en cuenta en el análisis de estabilidad de los taludes circundantes a la laguna Llaca.

Los valores del FS dependen de la estratigrafía, la resistencia de los materiales, la presión del agua de los poros y la carga. Siendo los límites permisibles para condiciones estáticas y pseudo estáticas según la Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones” los siguientes:

Tabla 5. límites permisibles para condiciones estáticas y pseudo

Condición de carga	FS mínimo
Estática	1.50
Pseudo estática	1.25

Cuando el FS es igual a 1.0, el talud está en un estado de falla incipiente. Generalmente un valor de 1.5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable (Das & Sobhan, 2014).

3.7 Evaluación del peligro

La evaluación del peligro de un posible aluvión originado por el desborde de la laguna glaciar Llaca se desarrolló a partir de la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un escenario determinado y la intensidad del fenómeno (GAPHAZ, 2017).

$$P = f(I, p)$$

Donde:

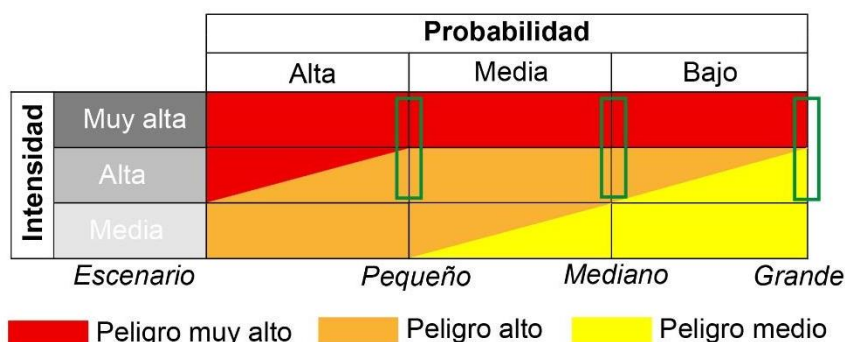
I: es la intensidad

p: es la probabilidad

Desde el punto de vista metodológico, la evaluación del peligro por aluvión consideró una clasificación conceptual de cuatro niveles: Muy Alto, Alto, Medio y Bajo. Esta diferenciación permite representar de manera más precisa el gradiente espacial del peligro, particularmente en sectores donde existen condiciones geomorfológicas y glaciológicas que evidencian susceptibilidad a procesos de remoción en masa (presencia de masa glaciar, morrenas y depósitos inconsolidados), pero donde la energía del flujo o la probabilidad de ocurrencia no son actualmente elevadas.

No obstante, con fines de síntesis cartográfica y comunicación del riesgo, el producto final de zonificación del peligro se consolidó en tres niveles de peligro: Muy Alto, Alto y Medio, integrando el nivel Bajo como una condición base de análisis y monitoreo. Esta decisión metodológica permite mantener el rigor técnico del análisis sin perder claridad en la representación cartográfica, evitando la sobrecarga de información y asegurando coherencia con los estándares nacionales de presentación de mapas de peligro.

Figura 12. Niveles del peligro en función de la intensidad y probabilidad



Fuente: Adaptado de GAPHAZ (2017)

En este enfoque la probabilidad de ocurrencia se encuentra asociada principalmente a la activación de factores desencadenantes, mientras que la intensidad del aluvión está controlada por los factores condicionantes presentes a lo largo del recorrido del flujo, tales como la pendiente, la geometría del valle, la disponibilidad de materiales movilizables y la presencia de zonas de confinamiento o expansión.

La aplicación de esta metodología permitió identificar las áreas expuestas al peligro de aluvión considerando distintos escenarios de ocurrencia. En términos generales, el escenario pequeño representa el evento de mayor probabilidad, mientras que el escenario grande corresponde a un evento de baja probabilidad, pero de consecuencias potencialmente más severas.

3.7.1 Probabilidad

La probabilidad de ocurrencia se evaluó de manera cualitativa, a partir de criterios técnicos relacionados con la dinámica del frente glaciar, los antecedentes históricos de eventos, la inestabilidad de laderas y morrenas, y el volumen potencial de material susceptible de desprendimiento. Con base en estos criterios se definieron tres escenarios de avalancha de hielo y deslizamientos de tierra: escenario pequeño, escenario mediano y escenario grande, diferenciados principalmente por el volumen inicial del desprendimiento.

De estos escenarios, el escenario pequeño se considera el más probable, debido a su menor volumen y mayor frecuencia estimada de ocurrencia, mientras que el escenario grande representa el evento de baja probabilidad, asociado a volúmenes significativamente mayores y a condiciones menos frecuentes de activación. Esta diferenciación permitió incorporar la incertidumbre inherente a los procesos glaciológicos y fortalecer la evaluación del peligro desde un enfoque preventivo y de gestión del riesgo.

3.7.2 Intensidad

La intensidad del aluvión se definió a partir de dos variables físicas fundamentales: la velocidad máxima de flujo y la altura máxima del flujo (tirante). Estas variables permiten representar de manera directa el nivel de energía del fenómeno y su capacidad de causar daño a las personas, animales, edificaciones e infraestructura expuesta.

De acuerdo con el enfoque metodológico propuesto por (GAPHAZ, 2017), la intensidad del peligro por aluvión se clasifica en tres niveles: Muy Alta, Alta y Media, los cuales se describen a continuación:

- **Intensidad muy alta:**

Las personas y los animales se encuentran expuestos a un alto riesgo de lesiones dentro de las edificaciones. Es posible la ocurrencia de daños severos a las construcciones, pudiendo presentarse colapsos parciales o totales de edificaciones y destrucción significativa de infraestructura.

- **Intensidad alta:**

Las personas y los animales enfrentan una amenaza significativa fuera de las edificaciones, mientras que dentro de estas el nivel de amenaza es menor. Se esperan daños ligeros a moderados en las construcciones, tales como afectación de muros, puertas, cercos e infraestructura secundaria.

- **Intensidad media:**

Las personas y los animales estarían amenazados ligeramente, aún fuera de las edificaciones. No obstante, existe riesgo de lesiones en presencia de bloques, rocas o material grueso transportado por el flujo, los cuales pueden causar daños puntuales. En las construcciones se esperan daños superficiales, como erosión local o acumulación de sedimentos.

El nivel de peligro Bajo, aunque no representado explícitamente en la matriz de intensidad, corresponde a zonas donde existe presencia de elementos glaciológicos, morrénicos o fluviales, pero que presentan condiciones geomorfológicas y geotécnicas relativamente estables, baja energía potencial del flujo y ausencia de factores desencadenantes activos en el corto plazo.

Estas áreas no deben interpretarse como zonas exentas de peligro, sino como áreas de condición latente, en las cuales el nivel de peligro podría incrementarse ante cambios en los factores condicionantes o la activación de nuevos factores desencadenantes. Por ello,

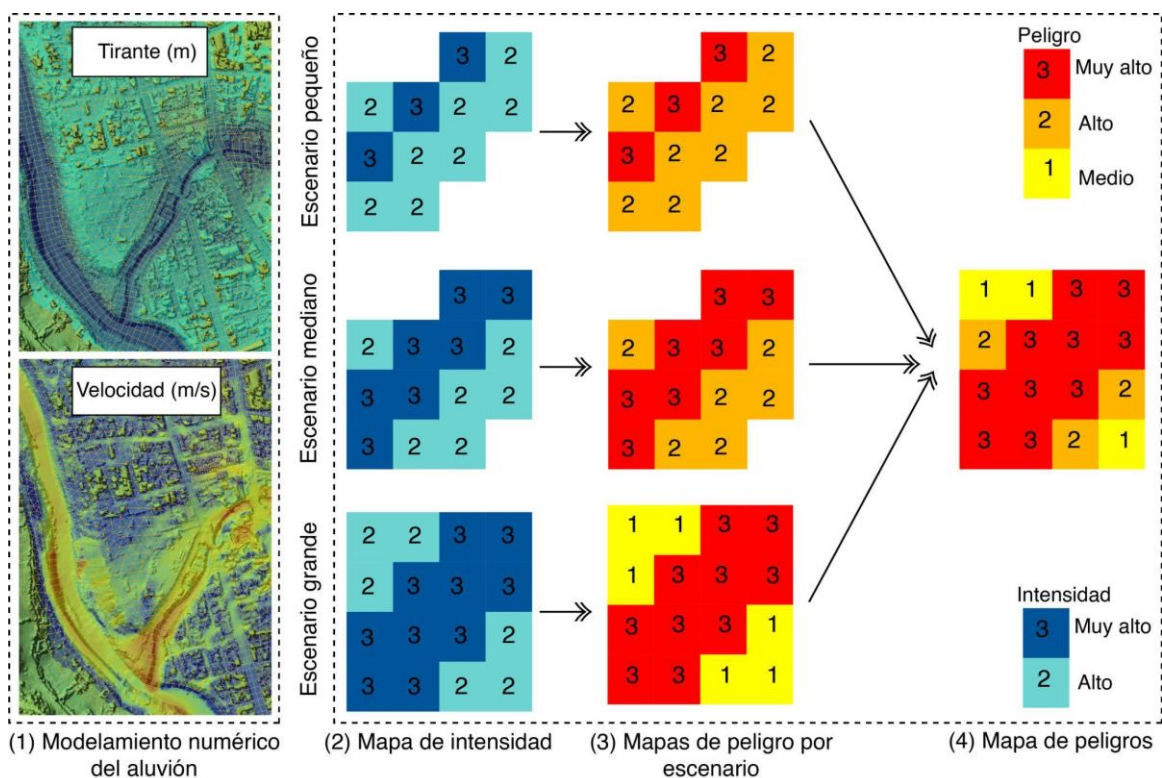
su identificación resulta relevante para fines de monitoreo, gestión preventiva y planificación territorial.

Tabla 6. Intensidad del aluvión

		Velocidad máxima (m/s)		
		Muy alta (> 1 m/s)	Alta (0 – 1 m/s)	Media
Tirante máximo de flujo (m)	Muy alta > 1 m	Intensidad muy alta	Intensidad alta	-
	Alta 0 – 1 m	Intensidad alta	Intensidad alta	-
	Media	-	-	-

Fuente: Adaptado de GAPHAZ (2017)

Figura 13. Metodología de evaluación del peligro por aluvión



4 RESULTADOS

Los factores condicionantes del peligro por aluvión corresponden a las características físicas, geológicas, geomorfológicas, glaciológicas y antrópicas que controlan la susceptibilidad del territorio frente a la ocurrencia de un evento desencadenante. En el caso de la laguna Llaca, estos factores determinan la magnitud, propagación y efectos del aluvión una vez activado el proceso.

4.1 Potencial a avalancha de hielo

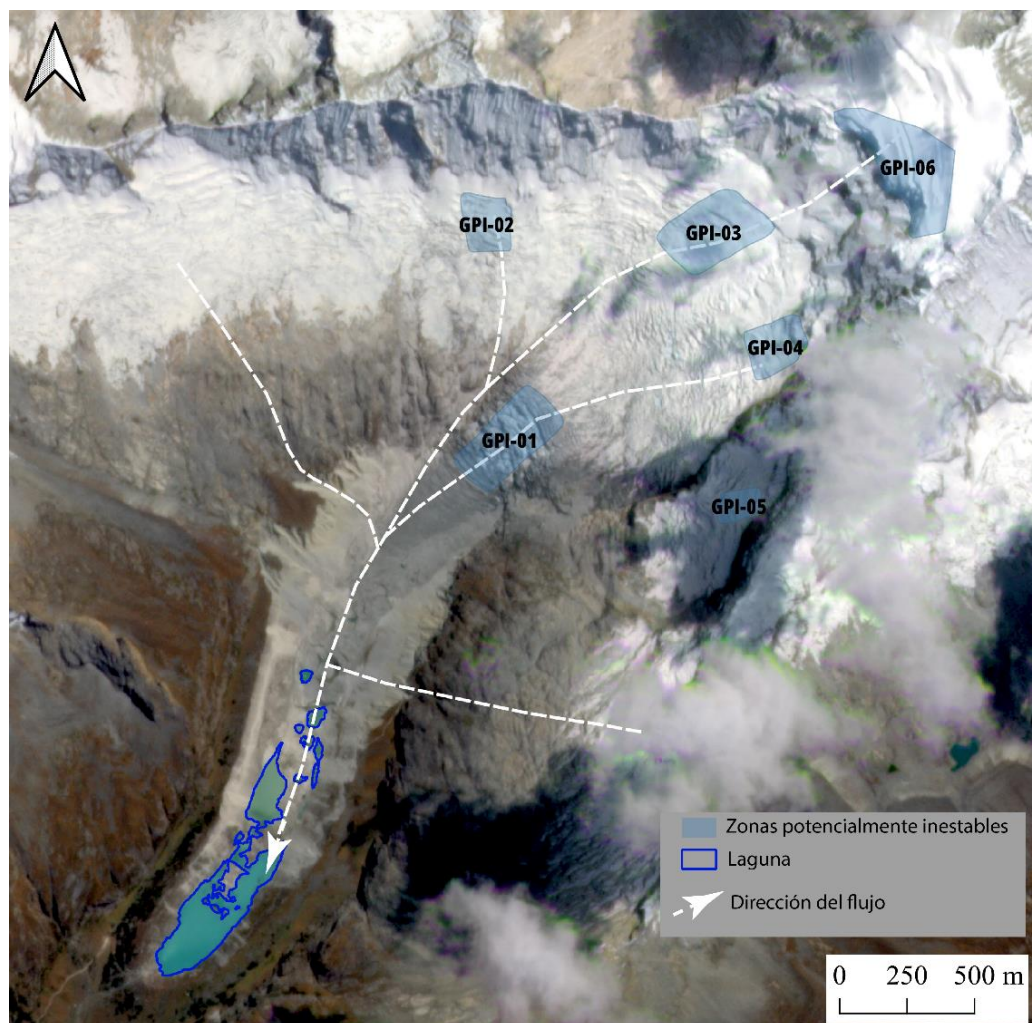
Las avalanchas de hielo constituyen uno de los principales mecanismos desencadenantes de eventos de desbordes de lagunas glaciares (GLOF) en la Cordillera Blanca, por lo que su evaluación resulta crítica dentro del análisis integral del peligro asociado a la laguna Llaca. En este sentido, la identificación y delimitación de zonas con potencial de inestabilidad glaciar permite establecer escenarios físicamente plausibles de impacto sobre el cuerpo de agua.

En el entorno de la laguna Llaca, las zonas con mayor probabilidad de desprendimiento de masa glaciar se concentran en el glaciar Llaca 1, donde se identifican pendientes pronunciadas comprendidas entre 20° y 60°, así como un alto grado de agrietamiento y desestructuración del hielo, condiciones que favorecen procesos de inestabilidad gravitacional. La Figura 15 muestra la distribución espacial de estas áreas potencialmente inestables, definidas a partir del análisis geomorfológico, topográfico y de la dinámica glaciar actual.

Figura 14. Frente glaciar correspondiente al GPI- 6



Figura 15. Zonas potencialmente inestables de masa glaciar



Nota. Las notaciones GPI-01, GPI-02, GPI-03, GPI-04, GPI-05 y GPI-06 son glaciares potencialmente inestables identificados en ámbito glaciar de la laguna Llaca.

Con base en estas condiciones se definieron tres escenarios de avalancha de hielo, diferenciados según el volumen inicial de desprendimiento:

- Escenario pequeño, con un volumen inicial de $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Escenario mediano, con un volumen inicial de $6.0 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Escenario grande, con un volumen inicial de $7.9 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Los resultados del modelamiento numérico indican que, en los tres escenarios evaluados, las avalanchas de hielo alcanzan e impactan directamente el espejo de agua de la laguna Llaca, generando condiciones favorables para la formación de oleajes impulsivos. La Figura 16 presenta los resultados del modelamiento de los tres escenarios, mientras que la Tabla 7 resume los principales parámetros de flujo obtenidos en la zona de ingreso a la laguna.

Los valores de velocidad y tirante de flujo muestran una relación inversa con el volumen de la avalancha, donde el escenario pequeño presenta las mayores velocidades de impacto, mientras que los escenarios de mayor volumen generan tirantes significativos con velocidades menores, comportamiento consistente con la dinámica de avalanchas de hielo en entornos confinados. Estos resultados constituyen insumos fundamentales para la simulación del oleaje inducido en la laguna, etapa clave en la evaluación del peligro por aluvión aguas abajo.

Figura 16. Simulación de avalanchas de hielo

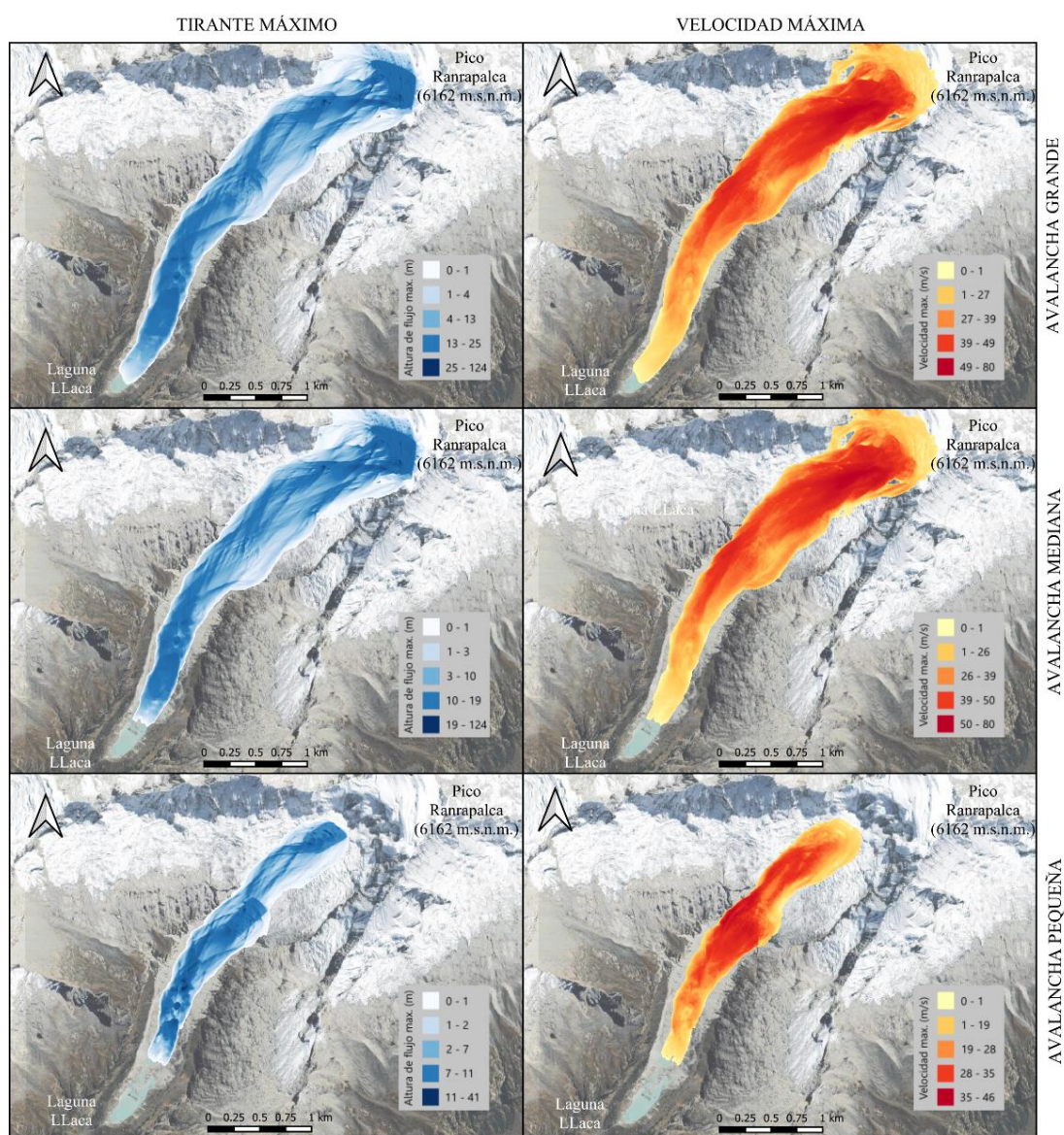


Tabla 7. Resultados de velocidad y tirante de las avalanchas de hielo

Escenarios de avalancha de hielo	Volumen de avalancha hielo que impacta la laguna ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Velocidad que ingresa a la laguna (m/s)	Tirante que ingresa a la laguna (m)
Pequeño	0.6	34.9	36.1
Mediano	2.6	18.6	29.9
Grande	3.9	8.2	6.1

4.2 Potencial a deslizamientos de tierra en el entorno de la laguna Llaca

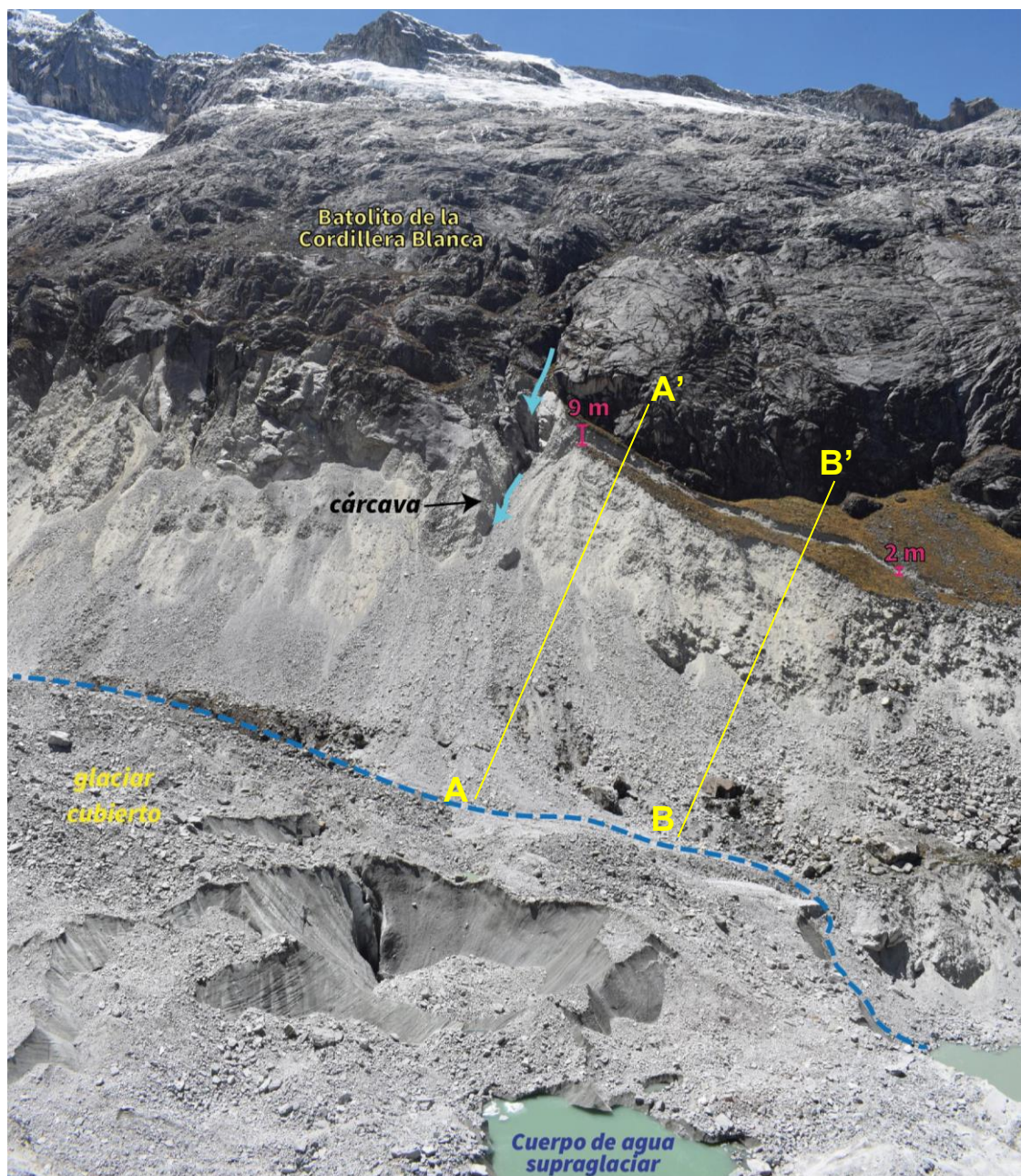
La laguna Llaca presenta numerosos taludes internos inestables, uno de los más críticos está ubicado en el lado izquierdo, es una zona geodinámicamente activa, en la cual la morrena aporta continuamente detritos con derrumbes pequeños. En dicha zona, los factores que condicionan la inestabilidad del talud son: 1) Las pendientes pronunciadas, 2) la presencia de agua por fusión glaciaria que satura material y moviliza los finos, 3) la ausencia de vegetación y 4) la composición del suelo.

Este deslizamiento activo ha incrementado su velocidad de movimiento durante los últimos dos años, presentando un escarpe con altura variable desde los 1.5 m hasta 9 m aproximadamente (Figura 17), aumentando conforme se acerca a la zona de escorrentía superficial proveniente de la fusión glaciaria. En el cuerpo de la maza deslizante se observan grietas paralelas al escarpe principal, llegando a tener 1.2 m de ancho y 1 m de profundidad, así como vegetación removida típico de una zona de deslizamiento.

Por otro lado el material que conforma el sistema morrénico que contiene a la laguna Llaca en su mayor parte está conformado por depósitos de arenas limosas con presencia de grava (SM), sin plasticidad, densidad natural de 1.84 gr/cm^3 y parámetros de resistencia de cohesión y el ángulo de fricción con valores de 1.2 kPa y 25.1° respectivamente, siendo valores característicos para suelos arenosos sin cohesión con poca presencia de finos, por lo que este material no tiene propiedad de adherencia entre sus partículas y son más propensos a sufrir derrumbes y deslizamientos.

El macizo rocoso no se encuentra en contacto directo con la laguna, por ello cualquier caída o avalancha de rocas impactaría primero sobre la lengua glaciaria antes de alcanzar la laguna.

Figura 17. Deslizamiento en el talud izquierdo de la laguna Llaca



Nota. A-A' y B-B' son la ubicación de las secciones de análisis de estabilidad de taludes que se muestra en la Figura 18.

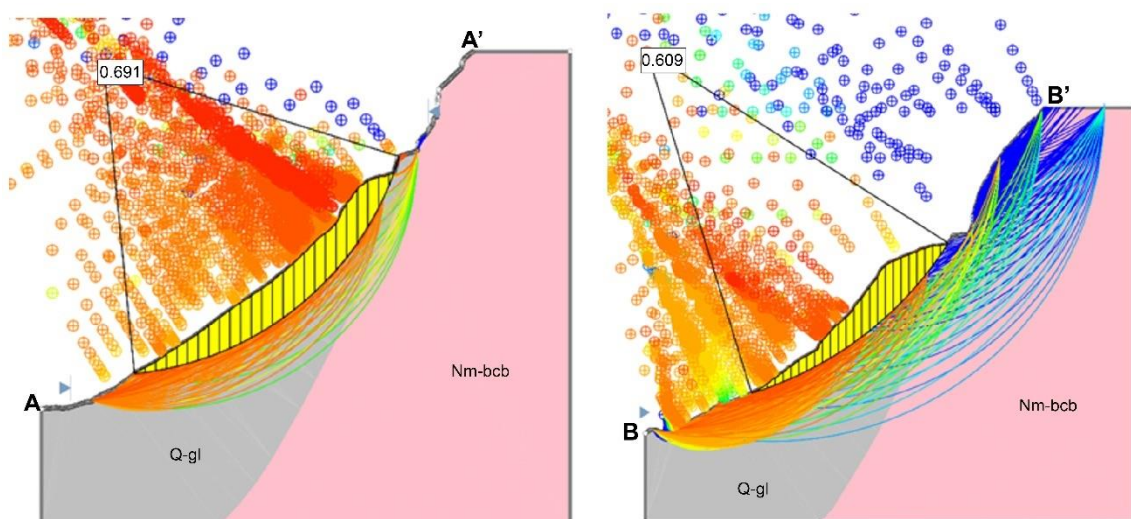
Al estar el deslizamiento en mención activo, se consideró como escenario crítico el movimiento de dicha masa de suelo, la cual se encuentra limitada por una superficie circular de rotura, proyectada a partir del escarpe principal. La simulación numérica (Figura 18) para análisis de estabilidad mediante método de equilibrio límite (MEL) muestra valores de FS menores a 1.3 en condiciones estáticas y menores a 1 en

condiciones pseudo estáticas, resultando que dicho talud corresponde a una masa crítica para la ocurrencia de un deslizamiento de tierra (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados del análisis de estabilidad en la zona de deslizamiento

Perfil	Condición estática			Condición pseudoestática		
	Método Bishop	Método Janbu	Método GLE / Morgenstern-Price	Método Bishop	Método Janbu	Método GLE / Morgenstern-Price
P-01	0.691	0.624	0.695	0.512	0.450	0.519
P-02	0.609	0.586	0.605	0.441	0.418	0.443
P-03	0.622	0.605	0.626	0.449	0.430	-

Figura 18. Cálculo del factor de seguridad mediante el método de equilibrio límite

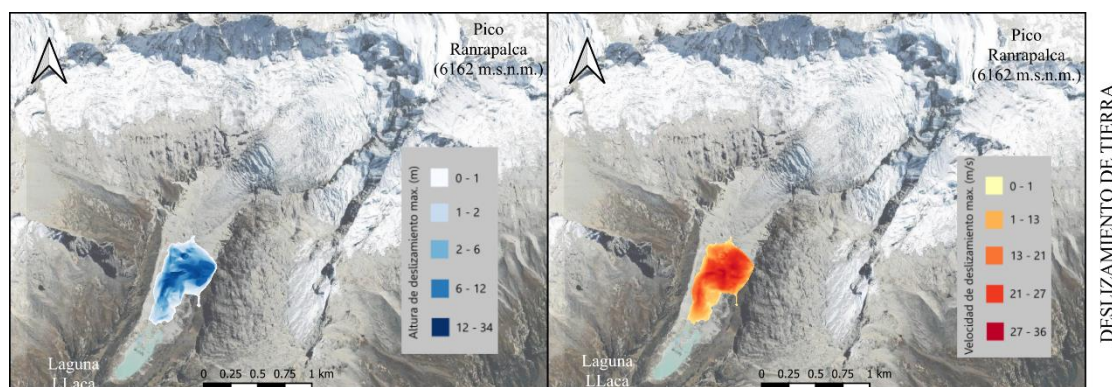


Nota. Q-gl: depósitos glaciáricos y Nm-bcb: batolito de la Cordillera Blanca

Así mismo, a partir de la superficie de rotura de tipo circular generada a lo largo del cuerpo del deslizamiento, se estimaron el área y el volumen de la masa inestable de suelo, obteniéndose un área de 27 751.63 m² y un volumen de 531 290.87 m³. Este volumen movilizado tendría un impacto directo sobre el glaciar cubierto ubicado en la parte posterior de la laguna Llaca y los cuerpos de agua supraglaciares.

Por otro lado, los resultados de la simulación numérica de la dinámica del deslizamiento potencial muestran que la masa inestable podría alcanzar el cuerpo de agua situado aguas abajo, con un espesor de flujo de 9.47 m y una velocidad de 24.03 m/s (ver Figura 19).

Figura 19. Simulación dinámica del deslizamiento de tierra



4.3 Escenarios de los factores desencadenantes del desborde

De acuerdo con el enfoque de gestión del riesgo, los procesos que originan el desborde de la laguna Llac pueden ser interpretados como factores desencadenantes, entendidos como eventos o procesos dinámicos que activan el peligro bajo determinadas condiciones previas. En el presente informe técnico, los principales factores desencadenantes identificados corresponden a avalanchas de hielo y deslizamientos de tierra que impactan directamente el cuerpo de agua.

Los escenarios definidos para un posible desborde de la laguna Llac constituyen la combinación de una avalancha de hielo y un deslizamiento de tierra. En otras palabras, se contempla un evento simultáneo: la avalancha se produciría al mismo tiempo que un deslizamiento de tierra de la morrena lateral izquierda. La Tabla 9 muestra los volúmenes de las avalanchas de hielo y deslizamiento de tierra que ingresan a la laguna como resultados de simulación.

Tabla 9. Volumen de avalanchas y deslizamiento que impactan a la laguna

Escenarios	Volumen de avalancha hielo que impacta la laguna ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Volumen de deslizamiento que impacta a la laguna ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
Pequeño	0.623	0.387
Mediano	2.635	0.387
Grande	3.857	0.387

4.4 Susceptibilidad del dique artificial y la morrena frontal

La susceptibilidad de la zona frontal de la laguna Llaca constituye un elemento crítico en la evaluación del peligro por aluvión, dado que en este sector se concentran tanto estructuras artificiales de control hidráulico como depósitos morrénicos naturales que actúan como embalse. Desde el punto de vista geotécnico e hidráulico, la interacción entre la morrena frontal y el dique artificial condiciona el comportamiento del sistema ante escenarios de sobrecarga hidráulica, oleaje por impacto y procesos de erosión interna y superficial.

En este contexto, se evalúan a continuación las principales características constructivas, funcionales y el estado de conservación del dique artificial que forma parte del Sistema de Alivio y Seguridad de la laguna Llaca, considerando su antigüedad, condiciones actuales y rol frente a los escenarios de aluvión modelados.

4.4.1 Dique Artificial

En el sector frontal de la laguna Llaca se emplaza una estructura artificial cuya función es de seguridad denominado dique de tierra con revestimiento de mampostería de piedra. A continuación, se detallan las características geométricas y constructivas de los componentes que integran el Sistema de Alivio y Seguridad de la laguna y su estado actual:

a) Sistema de Captación y Conducción

Cuenta con una zona de transición, diseñada para conectar de forma eficiente elementos con diferentes geometrías o regímenes de flujo (laguna – canal de ingreso – ducto que pasa el dique), por su estado actual presenta una alta prioridad de atención.

Tabla 10. Evaluación del estado del sistema de captación y conducción

Componente	Descripción Técnica	Estado de Conservación
Transición de Ingreso (Estructura de Captación)	Elementos de captación hidráulica de forma parabólica del volumen de agua desde el cuerpo lagunar y su conducción hacia el exterior, conecta con el canal de ingreso. Construido con mampostería de piedra (roca) y mortero (combinación de cemento, arena fina y agua).	DETERIORADO: De acuerdo con los daños presentes, se considera un estado de conservación deteriorado, con la necesidad de mantenimiento a corto plazo. Asimismo, se requiere la reposición de parte de su estructura.
Canal de Ingreso	Canal de sección trapezoidal con una longitud total de 11.0 metros, medidos desde la transición de	DETERIORADO: Los daños visibles, como rajaduras, desprendimiento en

	ingreso hasta la sección del conducto. Mampostería de piedra con mortero de cemento y arena fina.	algunas zonas del tarrajeo en la corona, denotan un estado deteriorado, con la necesidad de mantenimiento a corto plazo, a fin de que los deterioros no progresen.
Conducto	Consiste en una tubería ARMCO que atraviesa el cuerpo del dique. Conducto: Estructura hidráulica de paso, emplazada longitudinalmente bajo el cuerpo de la presa de tierra (obra principal). Configuración: Compuesto por una tubería ARMCO, con dos barrotes de sección rectangular cuyas dimensiones son 4 pulgadas por 5 pulgadas como protección en la zona de ingreso.	La zona de ingreso al conducto está protegida por una estructura de rejas metálicas diseñada para la retención de sólidos flotantes. Se evidencia la corrosión de la tubería ARMCO y de los barrotes de protección; de otra parte, se visualiza la proliferación de vegetación invasiva coronando el cabezal de ingreso.

Figura 20. Perfil longitudinal del recorrido del flujo



b) Estructura principal de represamiento (presa de tierra)

Estructura cuya función principal es la protección y seguridad frente a eventos de oleajes generados por avalanchas y deslizamientos de tierra que puedan impactar la laguna, por su estado actual presenta una alta prioridad de atención. La Figura 21 muestra la estructura principal emplazada en la zona frontal de la laguna Llaca.

Tabla 11. Evaluación del estado del sistema de captación y conducción

Componente	Descripción Técnica	Estado de Conservación
Presa de tierra	Dique construido con un núcleo de tierra compactada. Los taludes aguas arriba, aguas abajo y la corona de la presa están protegidos por un revestimiento de enrocado con material de mampostería de	El deterioro de componentes importantes de la presa implica un deterioro en el cuerpo y cimentación de la misma, ya que al verse afectadas las capas de revestimiento en las caras anterior y posterior de la presa, así como la corona, ello permite el ingreso del agua que facilita el movimiento de los finos en el cuerpo y cimentación de la presa, lo que pone en riesgo la estabilidad de la presa, pudiendo generar el inadecuado comportamiento ante la sobre elevación del

	piedra y mortero de cemento y arena.	nivel de agua de la laguna, que sobresature de manera prolongada la base y cuerpo del dique, generando su colapso.
--	--------------------------------------	--

Figura 21. Vista frontal del dique de tierra de la laguna Llaca



c) Canal de Salida y Rápida

Se cuenta con una zona de transición, diseñada para conectar de forma eficiente elementos con diferentes geometrías o regímenes de flujo (laguna – canal de ingreso – ducto que pasa el dique), por su estado actual presenta una alta prioridad de atención.

Tabla 12. Evaluación del estado del sistema de canal de salida y rápida

Componente	Descripción Técnica	Estado de Conservación
Canal de Salida	El canal de salida se ubica inmediatamente después del conducto que atraviesa el cuerpo del dique de seguridad, tiene una longitud de 8 m, sección trapezoidal, con 1.65 m de ancho y	DETERIORADO: De acuerdo con los daños presentes, se considera un estado de conservación deteriorado, con la necesidad de mantenimiento a corto

	base de 1.0 m, además de una altura de 1.25 m. Su función principal es recibir el agua que ha pasado por el ducto y prepararla para ser conducida por la rápida, su diseño busca minimizar las pérdidas de carga y estabilizar el flujo después de su paso por el ducto.	plazo. Asimismo, se requiere la reposición de parte de su estructura, debido a que se visualiza un deterioro considerable del revestimiento de las paredes del canal, las cuales al acrecentarse pueden generar una afectación drástica de la estructura de las paredes.
Rápida	Estructura de sección trapezoidal con una longitud total de 11.0 metros, medidos desde la transición de ingreso hasta la sección del conducto. Material: mampostería de piedra con mortero de cemento y arena fina.	DETERIORADO: Los daños son visibles, daños como rajaduras, grietas, desprendimiento del mortero y del tarrajeo en algunas partes del canal de salida, siendo el caso de corona y paredes desprendimiento en algunas zonas del tarrajeo en la corona, denotan un estado deteriorado, con la necesidad de mantenimiento a corto plazo, a fin de que los deterioros no progresen.

Figura 22. Vista del canal de salida y de la rápida



En general, los componentes de la obra de seguridad de la laguna Llaca, se encuentran deteriorados, con daños en la mayor parte del recubrimiento de las estructuras de transición, canal de ingreso, dique principal y conducto, canal de salida y rápida; ello debido a la falta de mantenimiento de estos, situación que ha permitido que deterioros advertidos años atrás se hayan acrecentado, y se corre el riesgo que estos progresen, generando una condición de mayor vulnerabilidad de los componentes internos, es el caso del cuerpo del dique de tierra; así como de las estructuras que permiten el tránsito adecuado del agua que sale de la laguna.

De otra parte, no obstante, a que las estructuras que forman parte de la obra de seguridad de la laguna Llaca, hayan superado el tiempo de 50 años de antigüedad, y las condiciones del entorno para las cuales fueron diseñadas son muy distintas (presencia de numerosos glaciares inestables, incremento del volumen de la laguna, presencia de depósitos glaciáricos inestables, entre otros), dichas estructuras requieren un mantenimiento de manera urgente, a fin de que no se acrecientan los deterioros y afecten el funcionamiento adecuado de la obra de seguridad; ello considerando que la ejecución del proyecto de inversión necesario a ejecutar requerirá de un plazo que permita formular el perfil del proyecto, expediente y ejecución.

En el sentido descrito, cabe precisar que las condiciones actuales de la obra de seguridad de la laguna Llaca, no ofrece la garantía de un adecuado comportamiento frente al impacto de la ola que se generaría en los 3 escenarios del proceso en cadena avalancha, ondas de impulso y el impacto contra la zona frontal de la laguna, lo cual posteriormente resultaría en un flujo de detritos aguas abajo de la laguna.

4.4.2 Susceptibilidad de la morrena frontal con estudios geofísicas

La zona frontal de la laguna Llaca, corresponde a depósitos glaciares acumulados directamente por la acción geodinámica de los glaciares, por lo tanto, la zona frontal está compuesta por material heterogéneo (bloques que van de tamaños pequeños hasta de varios metros tamaño, los cuales están en una matriz de arenas y limos) y la matriz que envuelve a los fragmentos de roca es de compacidad baja, poco estable y fácilmente erosionable.

Figura 23. Zona frontal de la laguna Llaca



Los estudios geofísicos (prospección sísmica y ensayos geoeléctricos) realizados en la zona frontal de la laguna permitieron comprender la composición del subsuelo, identificando la existencia de zonas de debilidad, niveles freáticos y la profundidad del material más competente, ya sea roca altamente fracturada y/o suelos altamente compactos; con esta información se determinó la profundidad del material que podría ser removido como consecuencia del impacto de la ola ocasionada por la avalancha de hielo con la zona frontal de la laguna y que podría ser removido, permitiendo el desembalse total o parcial de la misma.

Figura 24. Refracción Sísmica, MASW, MAM-01 en la laguna Llaca

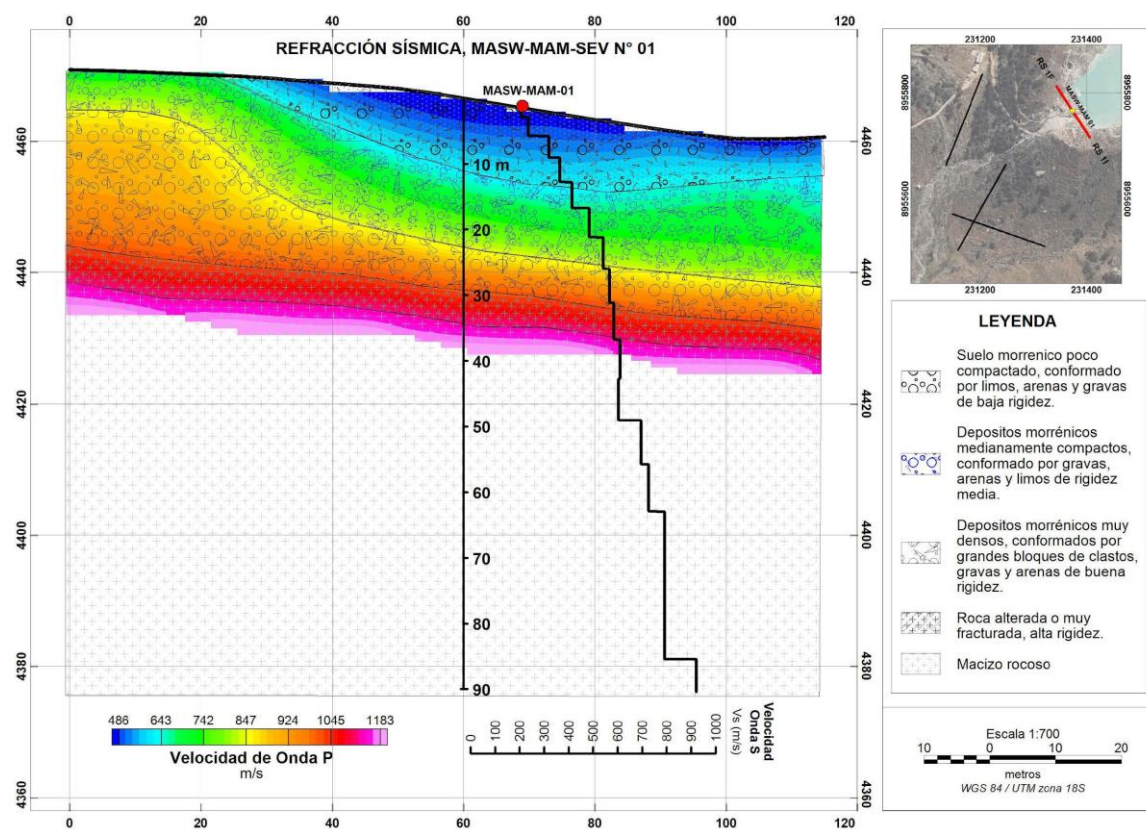
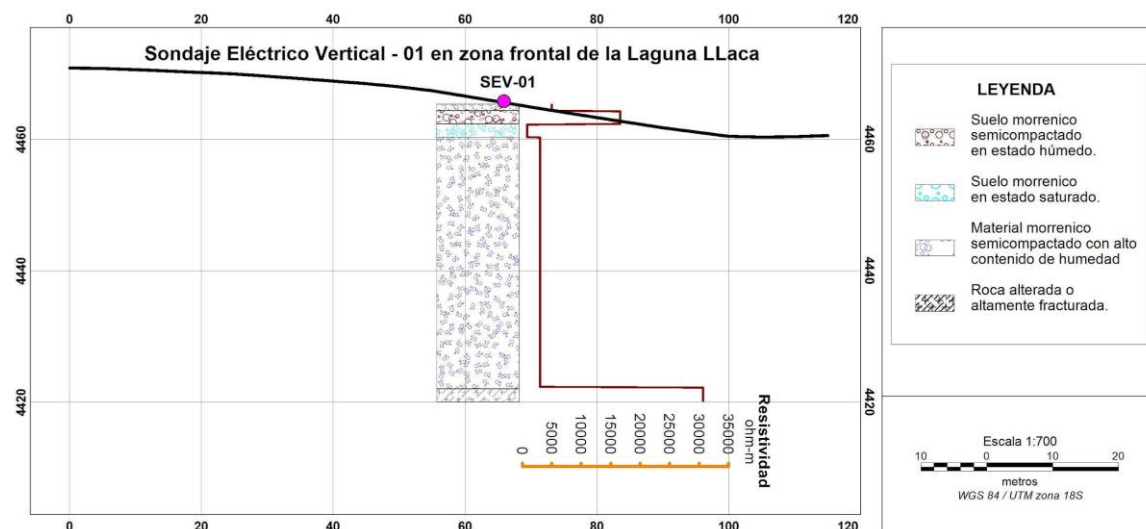


Figura 25. Sondeo Eléctrico Vertical 1.



Interpretación de los resultados RS-01/MASW/MAM-01 y SEV-01

Los resultados obtenidos mediante los ensayos SEV y los ensayos sísmicos (Refracción Sísmica, MASW y MAM), se muestran que el SEV-01 (Figura 25) identifica el nivel freático a aproximadamente 3 m de profundidad, asociado a valores de resistividad cercanos a $807 \Omega \cdot m$. seguidamente, se reconoce una capa saturada con resistividades del orden de $2995 \Omega \cdot m$, que se prolonga hasta los 48 m. Esta condición indica la presencia de material susceptible al arrastre y socavación ante un eventual desborde de la laguna, debido a su alto grado de saturación y menor compacidad.

Por otro lado, los ensayos sísmicos (Figura 24) delimitan en la parte superficial un suelo con velocidades $V_s < 500$ m/s que según la norma IBC 2015, corresponde a suelos rígidos, mientras que bajo la clasificación NTP se consideran suelos intermedios. Ambos métodos coinciden que las capas superficiales corresponden a materiales inestables, condicionados por su alto contenido de humedad y saturación, mientras que las capas más profundas reflejan un incremento progresivo en la resistencia y compacidad del terreno, evidenciado tanto por los valores de resistividad como por las velocidades sísmicas.

Figura 26. Refracción Sísmica, MASW, MAM 2

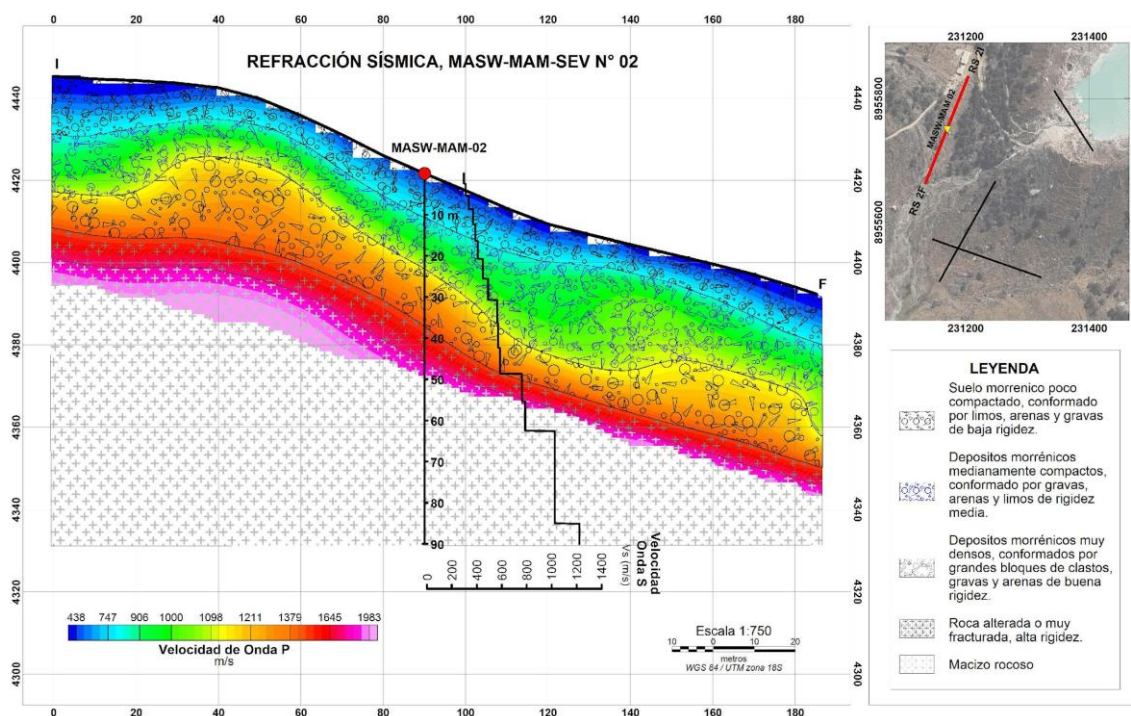
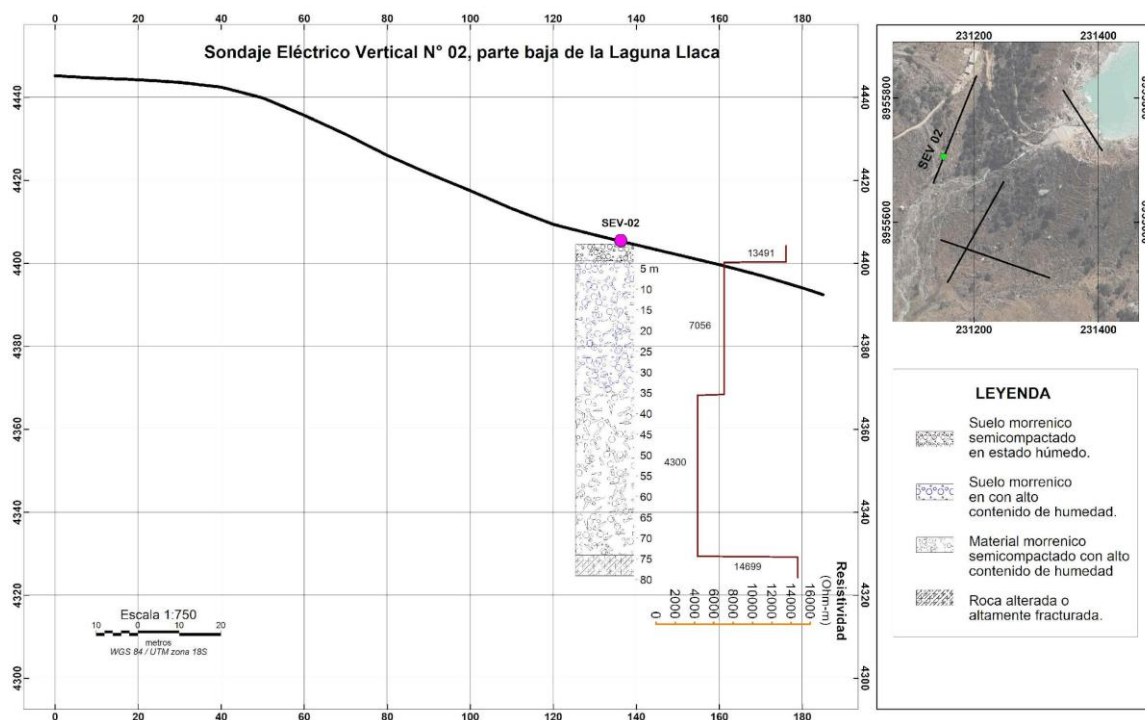


Figura 27. Sondeo Eléctrico Vertical 2



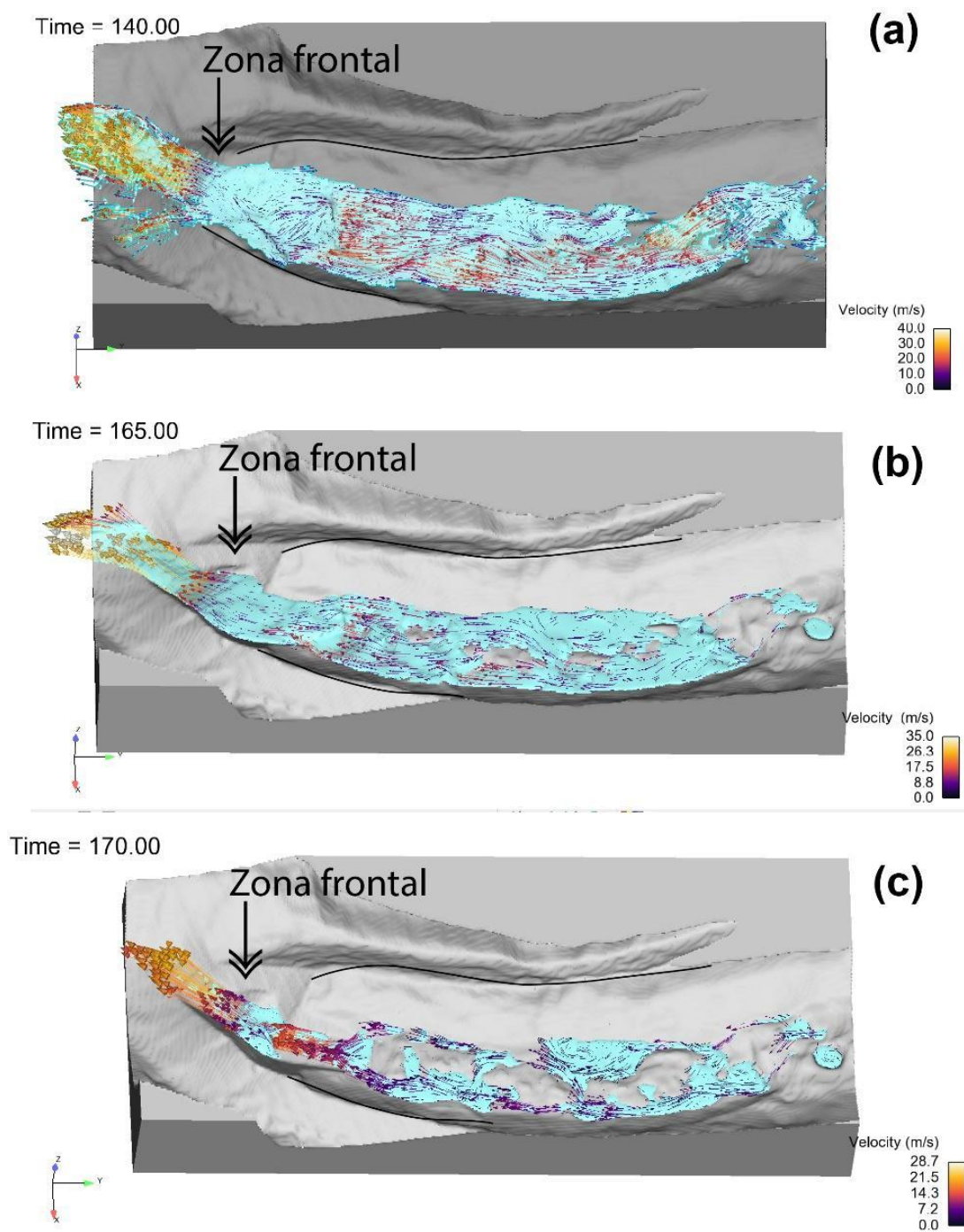
4.5 Modelamiento del oleaje y desborde de la laguna

Al impactar las avalanchas con la laguna, generan olas de gran magnitud que se desplazan gran cantidad de agua en sentido longitudinal de la laguna en dirección hacia la morrena frontal. El desborde ocurre cuando la onda remonta la zona frontal y el dique artificial como se muestra en la Figura 28. El tiempo total desde el inicio de la avalancha hasta el desborde de onda es de aproximadamente 1.5 minutos. Así mismo para este proceso se tomó en cuenta la profundidad total de la laguna, como profundidad máxima de erosión ante el evento de desborde simulado. Las descargas máximas de la laguna Llaca durante el hipotético desborde se aproximan a 53.8×10^3 , 42.3×10^3 y 9.2×10^3 , m³/s para los escenarios grande, mediano y pequeño, respectivamente.

Tabla 13. Características de la ola en la zona frontal

Escenarios	Velocidad en la zona frontal (m/s)	Tirante de agua en la zona frontal (m)
Pequeño	10.0	0.5
Mediano	14.7	15
Grande	29.0	33

Figura 28. Simulación de las ondas de impulso



Nota. (a) muestra para el escenario grande, (b) para el escenario mediano y (c) para el escenario pequeño

4.6 Identificación de las zonas de erosión

En el área de estudio aguas abajo de la laguna Llaca (llanura de inundación) están conformadas por sedimentos con diversos grados de consolidación, distribuidos en ambos márgenes de la quebrada Llaca - río Casca, son principalmente el resultado de la dinámica fluvial y en menor parte resultado de la actividad antropogénica, estos materiales presentan características físicas variables, que condiciona el grado de arrastre de sus materiales cuando es afectado de forma directa por los flujos de detritos.

4.6.1 Zona ligeramente erosiva

Corresponde a la zona conformada por los depósitos aluviales y morrénicos antiguos, los primeros se encuentran alejados del cauce principal formando terrazas de varios metros de altitud, y tienen un mayor grado de compactación, las morrenas se encuentran situados en el margen de la falla.

4.6.2 Zona moderadamente erosiva

Se encuentran inmediatamente en los márgenes del río Casca, están cubiertos por una escasa vegetación, llegan a formar humedales, es un área que se encuentra ocupada parcialmente por actividad humana.

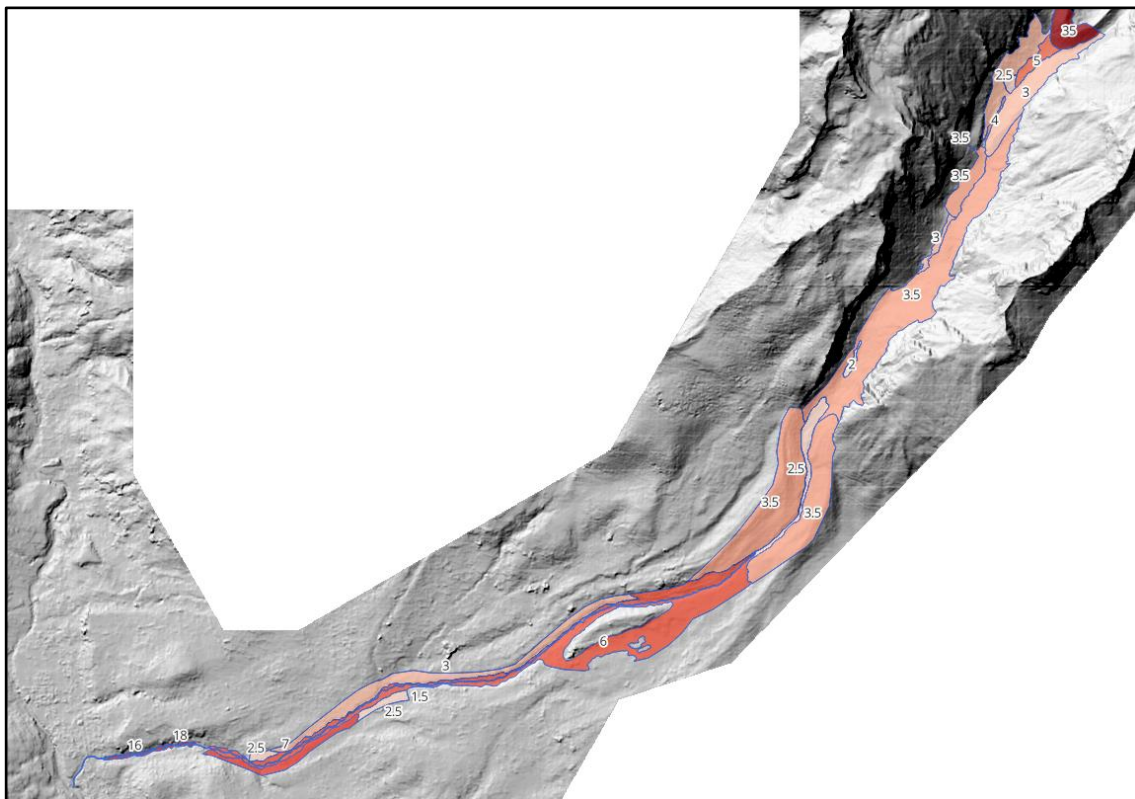
4.6.3 Zona fuertemente erosiva

Están conformados principalmente por los sedimentos fluviales de la quebrada Llaca – río Casca, y por la terraza adyacentes a este cauce, que actualmente forman parte de la llanura de inundación. También se encuentran los sedimentos depositados por el aluvión del 28 de abril en la quebrada Llaca.

4.6.4 Zona extremadamente erosiva

En la parte alta del área de estudio, está conformado principalmente por el dique morrénico que represa a la laguna Llaca, donde en caso de ocurrir la ruptura completa del dique representa la mayor fuente de detritos. Otras zonas se encuentran principalmente en zonas meandricas, ubicadas aguas abajo, que presentan mayor susceptibilidad a la erosión, por el cambio abrupto en la dirección del cauce. La Figura 29 muestra las zonas erosión y la estimación de la profundidad se erosión.

Figura 29. Mapa de zonas de erosión



Fuente: DSM Spot 6 (CONIDA, 2020)

4.7 Simulación de aluvión

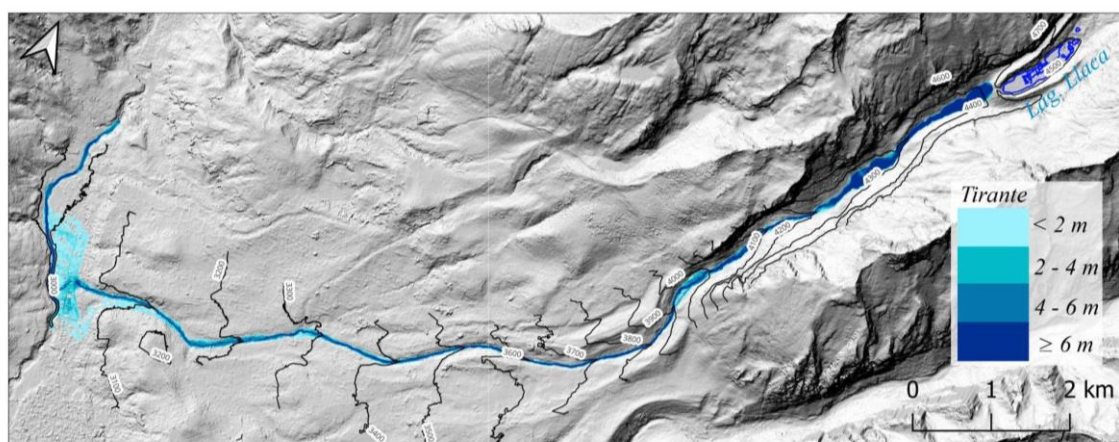
4.7.1 Escenario pequeño

De acuerdo con los resultados del modelamiento del aluvión, se muestran mayores tirantes de flujo a lo largo del cauce del río Casca y el cauce del río Santa. Así mismo, el modelo muestra una derivación del flujo hacia la carretera a Willcahuain, ubicada en la margen izquierda del río Casca (similar a los observado en el evento del 28 de abril del 2025).

Las mayores velocidades se concentran en tramos de alta pendiente del terreno y en secciones de cauce estrechas, donde la topografía favorece la aceleración del flujo durante su propagación. En contraste, en las zonas periféricas de la huella de inundación se registran velocidades bajas, asociadas a menores pendientes del terreno. En el área urbana, se estiman valores medios de velocidad de 1.44 m/s y tirante de 2.32 m. Se estima un tiempo de viaje de 41 minutos para llegar al norte de la ciudad de Huaraz.

El volumen total de desembalse de este escenario de acuerdo al hidrograma de entrada es de 124 483 m³ (agua) y para una concentración volumétrica de sólidos de 30 % y 50 %.

Figura 30. Simulación de aluvión para el escenario pequeño



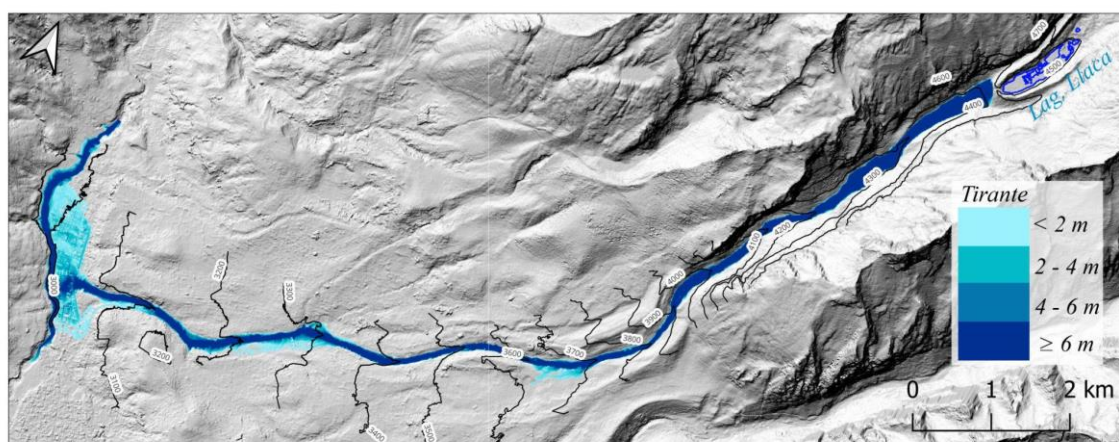
Fuente: DSM Spot 6 (CONIDA, 2020)

4.7.2 Escenario mediano

Para este escenario se muestra un área de inundación mayor en comparación al escenario pequeño. Además, se muestra una pequeña área inundada por desvío en la zona media de la cuenca. En la zona urbana se muestran valores medios de velocidad de 2.38 m/s y tirante de 3.50 m. Se estima un tiempo de viaje de 25 minutos para llegar al norte de la ciudad de Huaraz.

Con un volumen total de desembalse para este escenario de acuerdo al hidrograma de entrada es de 515 177 m³ (agua) y para una concentración volumétrica de sólidos de 30 % y 50 %.

Figura 31. Simulación de aluvión para el escenario mediano



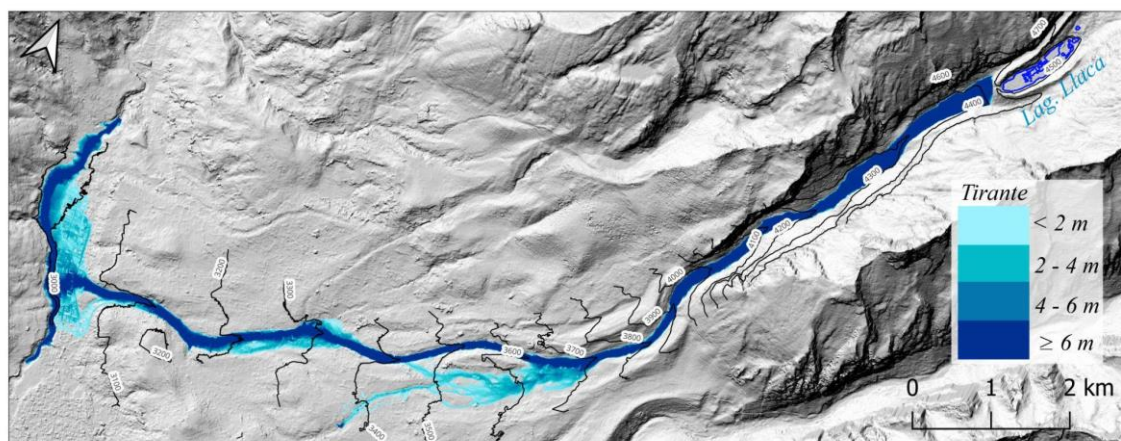
Fuente: DSM Spot 6 (CONIDA, 2020)

4.7.3 Escenario grande

Este escenario muestra mayor área de inundación en comparación con los demás escenarios debido a su gran magnitud. Se muestra un desvío en la trayectoria del flujo a la altura de la cuenca media, donde existe una diferencia de elevación entre 3 a 5 m en esa zona, además de una derivación de un canal de agua y material depositado por el flujo de detritos del 28 de abril del 2025. En la zona urbana se muestran valores medios de velocidad de 2.72 m/s y tirante de 3.87 m. Se estima un tiempo de viaje de 21 minutos para llegar al norte de la ciudad de Huaraz.

El escenario grande muestra el volumen total de desembalse del flujo de detritos de 1 228 119 m³ (agua) y para una concentración volumétrica de sólidos de 30 % y 50 %.

Figura 32. Simulación de aluvión para el escenario grande



Fuente: DSM Spot 6 (CONIDA, 2020)

5 MAPA DE PELIGRO

5.1 Exposición

Las áreas de inundación identificadas permiten reconocer la exposición de barrios como Palmira Alta, Palmira Baja, Acovichay y El Milagro en la zona urbana, así como centros poblados como Jinua y Ucrumarán. A partir del área de posible impacto, se realiza una estimación de la exposición poblacional y habitacional, calculándose aproximadamente 8880 habitantes y 2604 viviendas potencialmente expuestas, sin considerar una representación cartográfica adicional de la exposición. La Figura 33 muestra viviendas en la margen derecha del río Casca, expuestas al peligro de aluvión.

La estimación se basa en información censal y densidades promedio asociadas a las áreas inundables identificadas.

Figura 33. Exposición de viviendas - río Casca

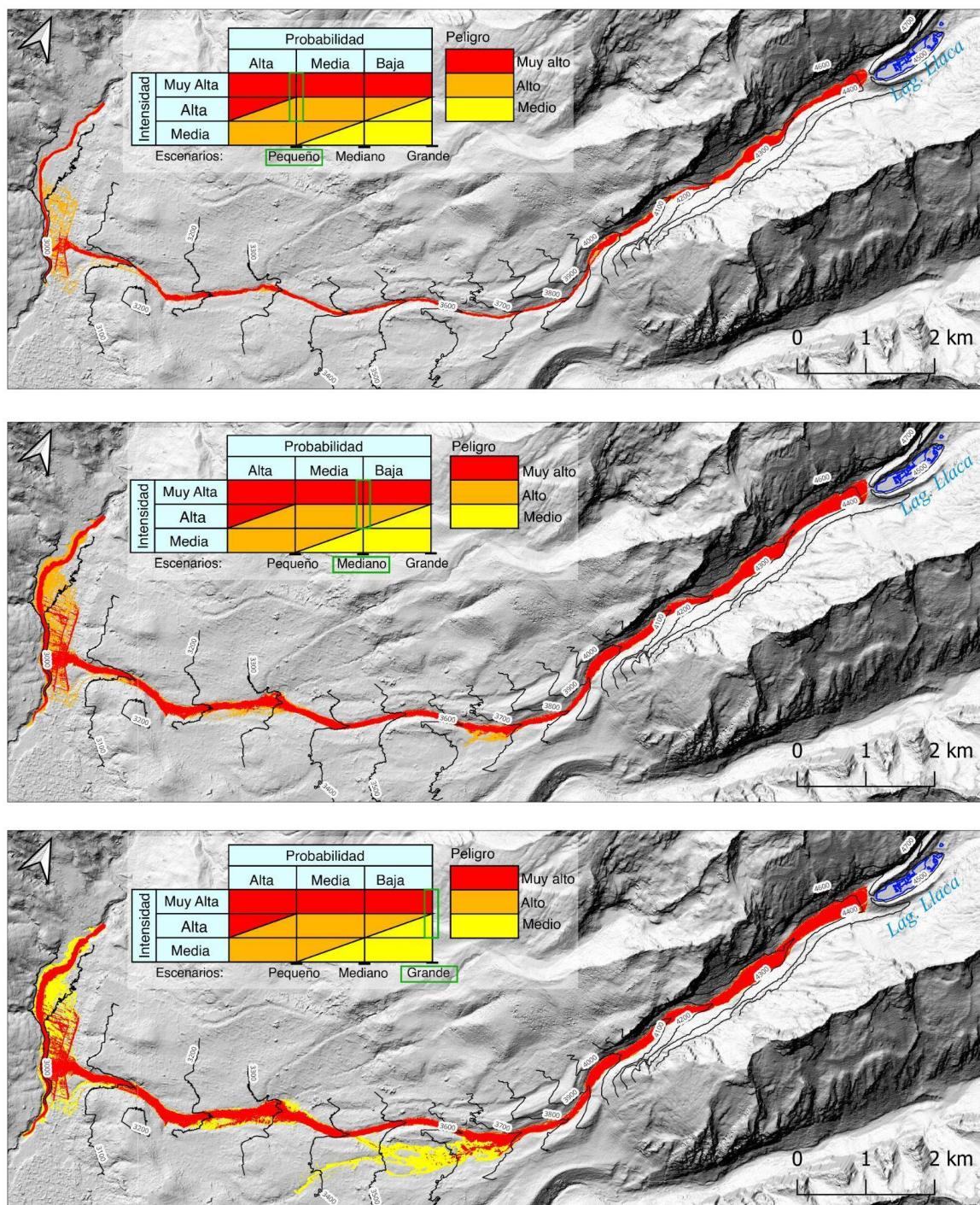


5.2 Evaluación del peligro

Los mapas de peligro por escenario por el desborde de la laguna Llaca se muestran en la Figura 34, son resultados de la metodología mostrada y corresponden a los escenarios pequeño, mediano y grande, además estratificado en tres niveles: peligro muy alto (color rojo), peligro alto (color naranja) y peligro medio (color amarillo).

Finalmente, la Figura 35 muestra el mapa de peligros, que es el resultado del análisis y procesamiento de los mapas de peligro por escenario, de la misma manera presenta estratificado en tres niveles: peligro muy alto (color rojo), peligro alto (color naranja) y peligro medio (color amarillo).

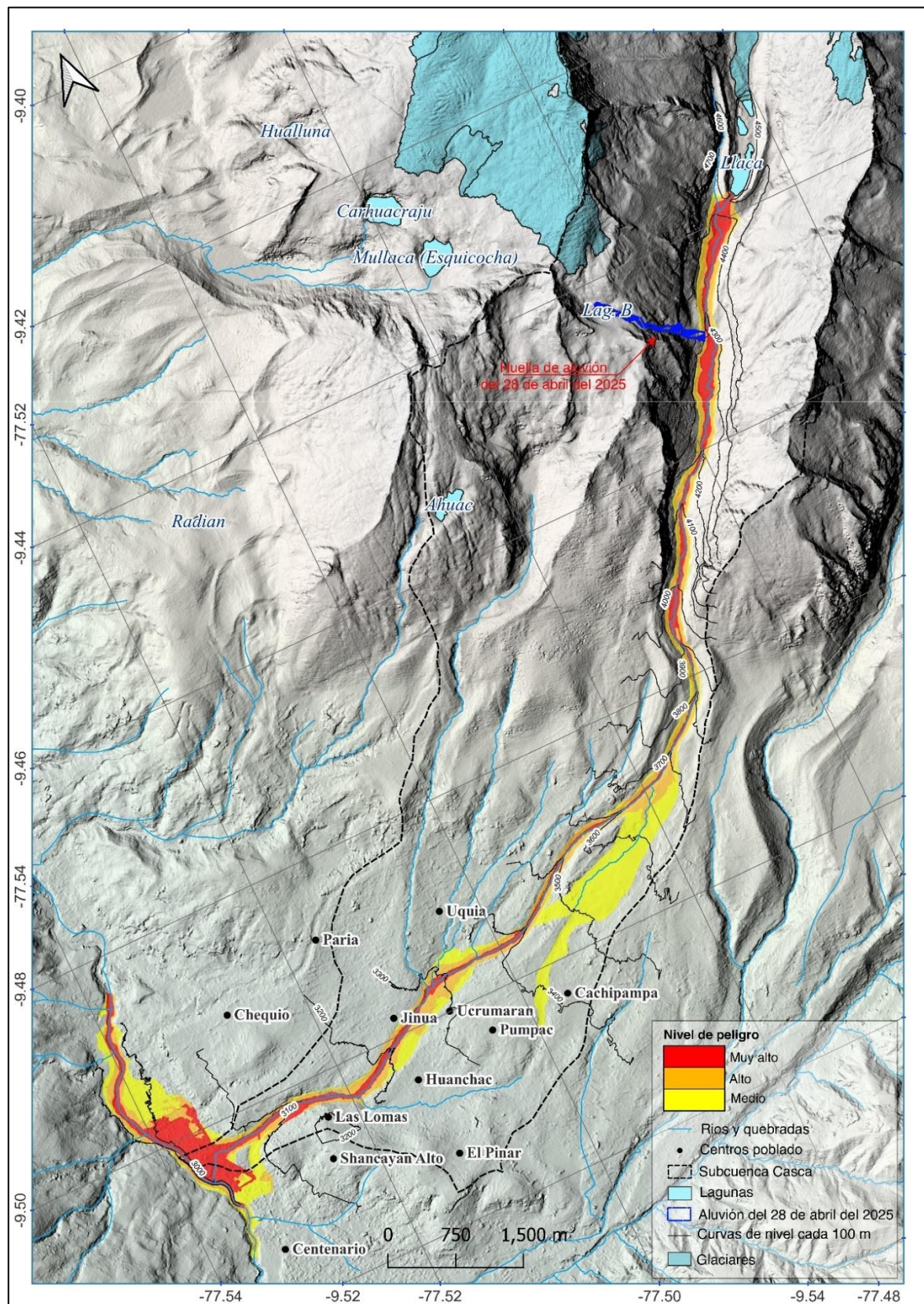
Figura 34. Niveles de peligro por escenario



Fuente: DSM Spot 6 (CONIDA, 2020)

Cada uno de estos escenarios ha sido representado cartográficamente mediante una clasificación estratificada en tres niveles de peligro, de acuerdo con la metodología adoptada en el presente estudio: peligro muy alto (color rojo), peligro alto (color naranja) y peligro medio (color amarillo).

Figura 35. Mapa de peligro de aluvión



Fuente: DSM Spot 6 (CONIDA, 2020)

6 CONCLUSIONES

- A nivel de la subcuenca Casca se identifican diversas lagunas de origen glaciar con distintos grados de susceptibilidad a procesos de desborde, asociados al actual contexto de retroceso glaciar. Entre ellas, la laguna glaciar Llaca destaca como el cuerpo lacustre de mayor tamaño y volumen, así como por su localización en el eje principal de drenaje, lo que la convierte en el escenario de mayor peligrosidad potencial para las áreas ubicadas aguas abajo, justificando su priorización para el análisis desarrollado.
- En el ámbito físico de la laguna Llaca se identificaron zonas potencialmente inestables de glaciar y suelo los cuales indican que los desencadenantes de un posible aluvión podrían ser avalanchas de hielo y deslizamiento de tierra. En el área glaciar se identificaron 5 zonas potencialmente inestables de glaciar con probabilidad de desprendimiento e impacto en la laguna Llaca. En la morrena lateral izquierdo se identificó un talud de suelo con inicios de deslizamiento en los últimos dos años y con un volumen de 531 290.87 m³.
- En el ámbito físico de la laguna Llaca se identificaron zonas con potencial de inestabilidad tanto glaciar como de suelo, lo que evidencia que los principales factores desencadenantes de un posible aluvión corresponden a avalanchas de hielo y deslizamientos de tierra. En el área glaciar se identificaron 5 zonas potencialmente inestables, con probabilidad de desprendimiento y capacidad de impactar directamente la laguna Llaca. Asimismo, en la morrena lateral izquierda se identificó un talud de suelo con deslizamiento activo, desarrollado durante los últimos dos años, con un volumen estimado de 531 290.87 m³, lo que representa un escenario crítico de aporte súbito de material hacia la laguna.
- El estado actual de los componentes de la obra de seguridad de la laguna Llaca (dique, canal de ingreso y salida, estructuras de transición y rápida) evidencia un deterioro generalizado, asociado principalmente a la falta de mantenimiento y al prolongado tiempo de operación (aproximadamente 50 años). Este deterioro incrementa la vulnerabilidad del sistema, comprometiendo la integridad estructural del dique de tierra y reduciendo la capacidad de las estructuras para disipar adecuadamente la energía de las ondas de rebose generadas en los escenarios evaluados. De manera complementaria los resultados de los ensayos geofísicos sugieren que la morrena frontal presenta condiciones de alta saturación y baja compacidad, lo que incrementa su susceptibilidad ante procesos de erosión.
- La simulación numérica de avalanchas de hielo, considerando tres escenarios (pequeño, mediano y grande) muestra velocidades de impacto sobre la laguna Llaca de 8.2, 18.6 y 34.9 m/s, así como volúmenes de hielo que ingresan a la laguna del

orden de 0.6, 2.6 y 3.9×10^6 m³ respectivamente. Como consecuencia, las simulaciones de desborde indican descargas máximas aproximadas de 9.2, 42.3 y 53.8×10^3 m³/s, evidenciando un incremento significativo de la magnitud del evento conforme aumenta el volumen del escenario considerado.

- El modelamiento de flujo de detritos aguas abajo muestra un comportamiento típico de aluviones de origen glaciar, caracterizado por la formación de un abanico aluvial en el tramo final del cauce principal, en la confluencia con el río Santa, en la zona urbana presentan velocidades promedios 1.44, 2.38 y 2.72, m/s y altura de flujos promedio 2.32, 3.50 y 3.87 m, con tiempos de viaje para llegar al norte de la ciudad de Huaraz de 41, 25 y 22 minutos para los escenarios pequeño, mediano y grande, respectivamente. Las áreas de inundación simuladas evidencian afectación en barrios como Palmira Alta, Palmira Baja, Acovichay y El Milagro de la zona urbana y de la parte rural Jinua y Ucrumarán.
- La zonificación del peligro por aluvión evidencia que los niveles de peligro Muy Alto se concentran principalmente en el cauce de la quebrada Llaca y en algunas vías urbanas que confluyen directamente con dicho cauce, mientras que los niveles de peligro Medio se distribuyen en sectores más alejados del eje de la quebrada y en áreas con pendientes bajas y menor energía del flujo, información clave para la gestión territorial y la toma de decisiones en materia de reducción del riesgo de desastres.
- El presente estudio evidencia que el peligro por aluvión de origen glaciar en la subcuenca Casca responde a un sistema dinámico y evolutivo, condicionado por la interacción entre procesos glaciares activos, inestabilidad progresiva de los taludes internos de las morrenas, y la antigüedad de las obras de seguridad existentes, por lo que su gestión no debe abordarse como un evento aislado sino como un proceso continuo que requiere monitoreo permanente, planificación territorial informada y medidas integrales de reducción del riesgo.

7 RECOMENDACIONES

7.1 Medidas del corto plazo

A la Municipalidad Distrital de Independencia y la Municipalidad Provincial de Huaraz, con participación de la comunidad organizada y el COER Huaraz:

- Fortalecer la capacidad de respuesta institucional y comunitaria, frente al peligro de aluvión, mediante la implementación de acciones de gestión reactiva del riesgo de desastres, bajo la asistencia técnica directa del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Estas acciones deberán asegurar una respuesta articulada, oportuna y eficiente ante eventos de origen glaciar, minimizando la pérdida de vidas humanas y reduciendo los impactos sobre la infraestructura crítica y los servicios básicos.
- Elaborar y/o actualizar los mapas de rutas de evacuación y zonas seguras, tomando como insumo principal el mapa de peligro por aluvión desarrollado en el presente estudio. Dichos instrumentos deberán ser validados técnicamente por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), garantizando su coherencia con los niveles del peligro identificado y con los escenarios de modelamientos evaluados.
- Implementar señalización preventiva y de evacuación en función de los niveles del peligro identificados, priorizando los sectores de mayor concurrencia poblacional y las áreas críticas de tránsito. La señalización deberá incluir:
 - señales direccionales de evacuación con flechas y pictogramas universalmente reconocidos;
 - señalización de zonas seguras y puntos de encuentro, y
 - señalización informativa que incorpore códigos QR vinculados a mapas de peligro y material informativo oficial.
- Diseñar y ejecutar un plan integral de comunicación, sensibilización y educación comunitaria en gestión del riesgo de desastres, orientado al peligro de aluvión de origen glaciar. Este plan deberá considerar la elaboración de materiales educativos accesibles, la realización de talleres y charlas comunitarias, la ejecución periódica de simulacros de evacuación, la capacitación de actores clave y brigadas comunitarias, así como la incorporación progresiva del enfoque de GRD en el currículo escolar local, en coordinación con las instancias competentes.
- Implementar un Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SATC) para el peligro de aluvión, que permita advertir oportunamente a la población expuesta sobre la posible ocurrencia de eventos críticos. El SATC deberá basarse en el monitoreo de variables relevantes, tales como lluvias intensas, ocurrencia de avalanchas de

hielo, caudales en la quebrada Llaca y cambios visibles en la estabilidad de glaciares, morrenas y taludes, combinando saberes ancestrales, observación comunitaria organizada con el uso de instrumentos tecnológicos básicos (pluviómetros, sensores y registros visuales). El involucramiento activo de la comunidad es clave para fortalecer la preparación y reducir la vulnerabilidad.

- Fortalecer las capacidades técnicas de las autoridades locales y del personal municipal en la interpretación del mapa de peligro por aluvión y de los escenarios modelados en el presente estudio, a fin de evitar decisiones de uso del territorio que incrementen la exposición al riesgo. Esta capacitación debe realizarse con la asistencia técnica del INAIGEM y del CENEPRED, y orientarse a la correcta aplicación de los instrumentos de gestión del riesgo de desastres.

7.2 Medidas del mediano y largo plazo

Al Gobierno Regional de Áncash:

- Evaluar e implementar una obra de seguridad en la zona frontal de la laguna Llaca, considerando explícitamente la dinámica del oleaje y los escenarios de desborde modelados en el presente estudio. El diseño de dicha obra deberá basarse en estudios de ingeniería de detalle y considerar los volúmenes, tirantes y velocidades obtenidos en las simulaciones de avalanchas, deslizamientos y oleaje impulsivo.

A gobiernos locales y Gobierno Regional de Áncash:

- Incorporar el mapa de peligro por aluvión como parte del diagnóstico territorial en los instrumentos de gestión, desarrollo y planificación territorial, tales como planes de desarrollo urbano y acondicionamiento territorial. Para ello, se recomienda a los gobiernos locales y regionales solicitar la asistencia técnica del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) y del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), asegurando la integración del enfoque de gestión del riesgo de desastres.
- Utilizar el mapa de peligro por aluvión como insumo técnico para la gestión prospectiva y correctiva del riesgo, especialmente en el marco de la formulación y actualización del Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, bajo la asistencia técnica del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), conforme a la normativa vigente.
- Promover la continuidad de estudios de mayor nivel de detalle en peligro, vulnerabilidad y riesgo, por parte de los gobiernos locales y del Gobierno Regional de Áncash, en el marco de sus competencias establecidas en la Ley N.º

29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), con el fin de fortalecer la toma de decisiones y la implementación de medidas estructurales y no estructurales sostenibles.

Al Gobierno Regional de Áncash, con apoyo de INDECI:

- Implementar un Sistema de Alerta Temprana SAT de carácter tecnológico, complementario al SAT comunitario, bajo la asistencia técnica del INDECI, para el ámbito expuesto de la subcuenca Casca. Este sistema deberá considerar el monitoreo en tiempo real de las áreas de mayor susceptibilidad, en particular los glaciares potencialmente inestables y los depósitos morrénicos y coluviales que presentan Factor de Seguridad inaceptables.

A la Presidencia del Consejo de Ministros, Ministerio del Ambiente y Gobierno Regional de Áncash:

- Incorporar de manera explícita el riesgo por aluvión de origen glaciar en las estrategias de adaptación al cambio climático y en la planificación de largo plazo del territorio, considerando escenarios de retroceso glaciar, formación de nuevas lagunas proglaciares y mayor frecuencia de eventos extremos. Esta acción corresponde al MINAM y al Gobierno Regional de Áncash, con la asistencia técnica del INAIGEM, así como a la consolidación de un esquema interinstitucional permanente de gestión del riesgo glaciar, articulado en el marco del SINAGERD y liderado desde la PCM.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autoridad Nacional del Agua – ANA. (2020). Lagunas reservas de agua dulce en Áncash: Resultados de estudios de batimetría en 38 lagunas glaciares. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4718>

Autoridad Nacional del Agua – ANA. (2024). Topografía y Batimetría de la laguna Llaca.

Beyer, R. A., Alexandrov, O., & McMichael, S. (2018). The Ames Stereo Pipeline: NASA's open source software for deriving and processing terrain data. *Earth and Space Science*, 5, 537–548. <https://doi.org/10.1029/2018EA000409>

Cusicanqui, D., Loarte, E., Gómez, W. et al. Small event, big impact: insights from Vallunaraju cascade event on April 28, 2025. *npj Nat. Hazards* 3, 51 (2026). <https://doi.org/insu.bib.cnrs.fr/10.1038/s44304-026-00229-0>

Carey, M. (2014). Glaciares, cambio climático y desastres naturales. Institut français d'études andines, Instituto de estudios peruanos. <https://doi.org/10.4000/books.ifea.11289>

Cobbing, J., Sánchez, A., Martínez, W., & Zárate, H. (1996). GEOLOGÍA DE LOS CUADRÁNGULOS DE HUARAZ, RECUAY, LA UNIÓN, CHIQUIAN Y YANAHUANCA. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/199>

Cueva, E. & Torres, D. (2024). Geología de los Cuadrángulos de Huari (hojas 19i1, 19i2, 19i3, 19i4) y Singa (hojas 19j3, 19j4). Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 213 p. INGEMMET, Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional Escala 1: 50 000. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/5071>

Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of geotechnical engineering (8th ed.)*. Cengage Learning.

De la Cruz, J., & Chacaltana, C. (2003). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL CUADRÁNGULO DE CARHUAZ (19-h). <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12544/2156>

GAPHAZ. (2017). Evaluación de peligros por glaciares y permafrost en regiones de montaña (S. Allen, H. Frey, & C. Huggel (eds.)).

INAIGEM (2024). EVALUACIÓN NACIONAL DE LAGUNAS GLACIARES CON RIESGO DE DESBORDE 2024. INAIGEM. Huaraz, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/608>

INAIGEM (2025). Informe del balance de masa del glaciar Shallap por método geodésico 2019–2024. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). <https://hdl.handle.net/20.500.12748/638>

INAIGEM & INGEMMET. (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.
<https://hdl.handle.net/20.500.12748/633>

Narro, R., Eyles, C., Lee, R., Dávila, L. & Maclachlan, J. C. (2023). Landsystem analysis of a tropical moraine-dammed supraglacial lake, Llaca Lake, Cordillera Blanca, Perú. *Boreas*, 52(2), 272–293. <https://doi.org/10.1111/bor.12611>

Tian, X., Yao, X., & Zhou, Z. (2025). Distribution patterns and risk assessment of potential ice avalanches and glacier lake outburst floods in southeastern Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 179(March), 114217. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114217>

Valderrama, P., Silva, C., Dueñas, S. & Araujo, G. (2016) - Peligros geológicos por procesos glaciales, Cordillera Blanca - río Santa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 63, 149 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/285>

Valdivia, W., & Mamani, C. (2003). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL CUADRÁNGULO DE HUARI (19-i). <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12544/2157>

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Wegner, S. (2014). Lo que el agua se llevó – Consecuencias y Lecciones del Aluvión de Huaraz de 1941. Nota Técnica N° 7. Lima: Ministerio de Ambiente.



ANEXO A
GRANULOMETRÍA DE SUELOS Y CORTE DIRECTO



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 LLACA Código de Muestra: 250528-MS-LL01
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 28/05/2025 18/06/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 231,342.00 8,955,865.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487):

GP-GM

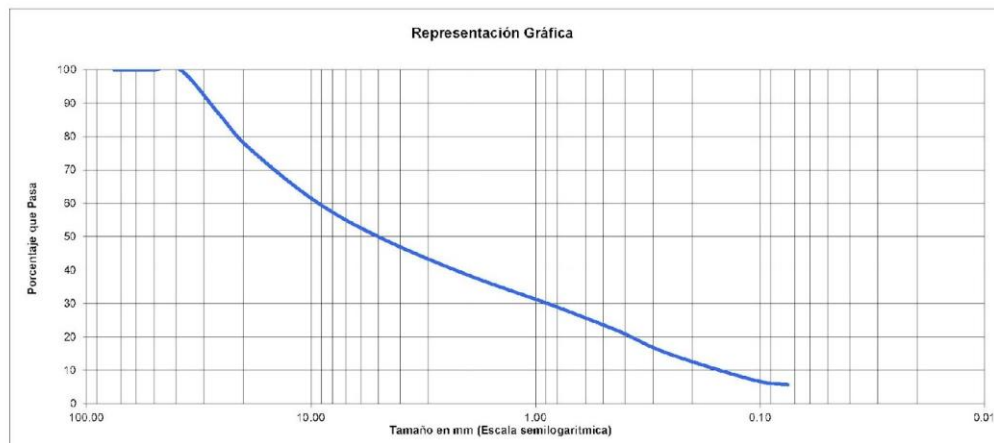
ASSTHO:

A-2-4(1)

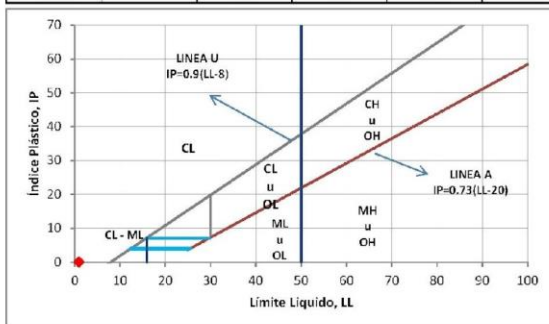
HUMEDAD (ASTM D2216):

3.1

Representación Gráfica



Tamiz		Peso retenido	Porcentaje			Descripción de la muestra	
Tamaño	Estándar		retenido	acumulado	que pasa		
3"	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R) 3-01	
2"	50.8 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 258.40 g	
1 1/2"	38.1 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R 1,323.10 g	
1"	25.4 mm	140.4	13.6	13.6	86.4	Peso Suelo Seco con R 1,290.70 g	
3/4"	19.0 mm	99.1	9.6	23.2	76.8	Peso Suelo Seco sin R 1,032.30 g	
3/8"	9.50 mm	168.0	16.3	30.5	60.5	Peso Suelo Seco Lavado con R 1,235.10 g	
N° 4	4.75 mm	115.9	11.2	50.7	49.3	Peso Suelo Seco Lavado sin R 976.70 g	
N° 10	2.00 mm	111.0	10.8	61.5	38.5	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm	93.9	9.1	70.5	29.5	Grava (%): 50.7 D10 : 0.18	
N° 40	425 µm	80.2	7.8	78.3	21.7	Arena (%): 43.6 D30 : 0.89	
N° 60	250 µm	67.4	6.5	84.8	15.2	Limos y Arcillas (%): 5.7 D50 : 4.96	
N° 140	106 µm	84.2	8.2	93.0	7.0	Cc: 0.5 D60 : 9.20	
N° 200	75 µm	14.0	1.4	94.3	5.7	Cu : 50.88 D60 : 27.93	
FONDO	-	2.9	5.7	100.0	0.0	Grava mal graduada con limo y arena	



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-01
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,323.10
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	1,290.70
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	258.40
Peso del Agua (g)	(M _w)	32.40
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,032.30
Humedad (%)	(w)	3.14

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

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 LLACA Código de Muestra: 250528-MS-LL02
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 28/05/2025 18/06/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 231,445 00 8,955,067.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487):

GP-GM

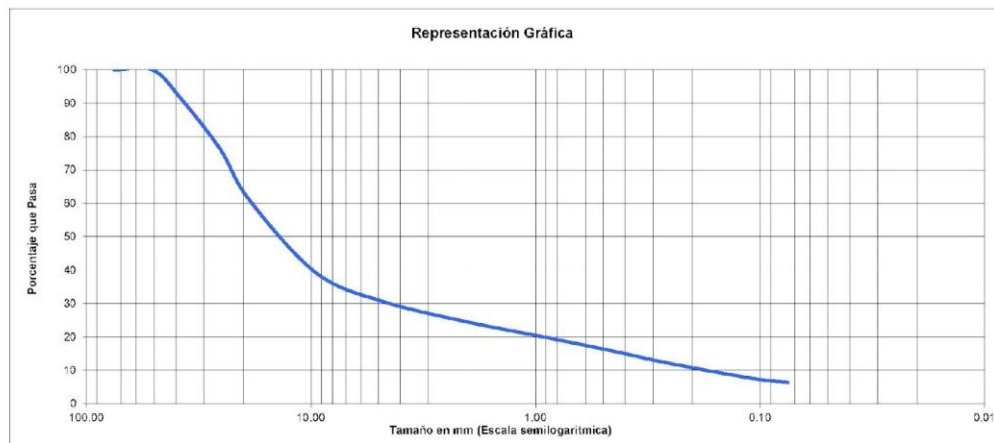
ASSTHO:

A-2-4(1)

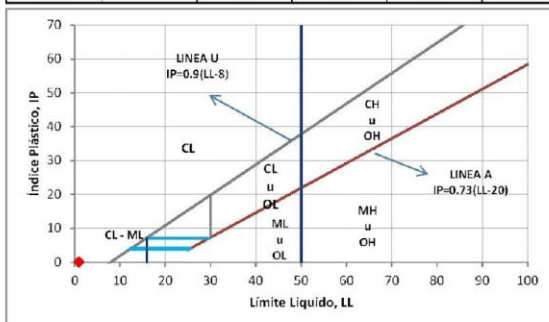
HUMEDAD (ASTM D2216):

3.2

Representación Gráfica



Tamiz		Peso retenido	Porcentaje			Descripción de la muestra	
Tamaño	Estándar		retenido	acumulado	que pasa		
3"	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R) B-11	
2"	50.8 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 252.80 g	
1 1/2"	38.1 mm	95.0	8.4	8.4	91.6	Peso Suelo Húmedo con R 1,415.90 g	
1"	25.4 mm	172.0	15.3	23.7	76.3	Peso Suelo Seco con R 1,379.80 g	
3/4"	19.0 mm	187.8	14.9	38.6	61.4	Peso Suelo Seco sin R 1,127.00 g	
3/8"	9.50 mm	250.3	22.2	60.8	39.2	Peso Suelo Seco Lavado con R 1,311.40 g	
N° 4	4.75 mm	97.8	8.7	69.4	30.6	Peso Suelo Seco Lavado sin R 1,058.60 g	
N° 10	2.00 mm	68.5	6.1	75.5	24.5	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm	55.3	5.0	80.5	19.5	Grava (%) : 69.4	D10 : 0.20
N° 40	425 µm	48.1	4.1	84.6	15.4	Arena (%) : 24.2	D30 : 4.38
N° 60	260 µm	35.9	3.2	87.8	12.2	Limos y Arcillas (%) : 6.4	D50 : 13.30
N° 140	106 µm	53.1	4.7	92.5	7.5	Cc : 5.4	D60 : 18.17
N° 200	75 µm	12.2	1.1	93.6	6.4	Cu : 92.33	D60 : 36.40
FONDO	-	3.9	6.4	100.0	0.0	Grava mal graduada con limo y arena	



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-11
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,415.90
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	1,379.80
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	252.80
Peso del Agua (g)	(M _w)	35.10
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,127.00
Humedad (%)	(w)	3.20

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

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 LLACA Código de Muestra: 160625-MS-LL01
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 18/08/2025 18/08/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 229.494.00 8,952.940.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487):

ML

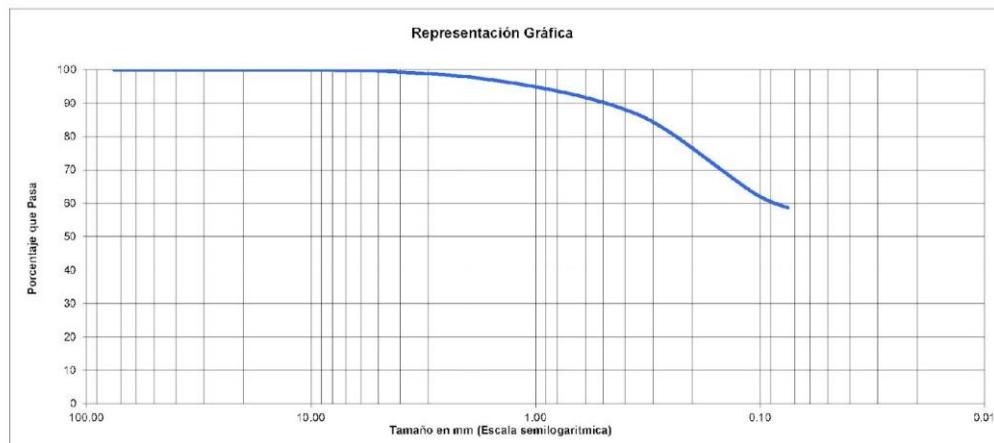
ASSTHO:

A-4(0)

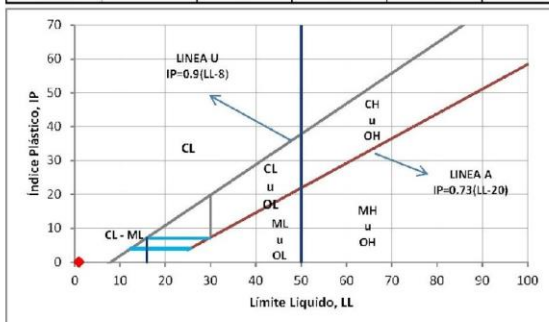
HUMEDAD (ASTM D2216):

52.9

Representación Gráfica



Tamiz	Tamaño Estándar	Peso retenido	retenido	Porcentaje acumulado	que pasa	Descripción de la muestra	
3"	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R)	B-13
2"	50.8 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R)	250.70 g
1 1/2"	38.1 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R	1,137.10 g
1"	25.4 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Seco con R	830.30 g
3/4"	19.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Seco sin R	579.60 g
3/8"	9.50 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Seco Lavado con R	494.40 g
N° 4	4.75 mm	2.5	0.4	0.4	99.6	Peso Suelo Seco Lavado sin R	243.70 g
N° 10	2.00 mm	9.9	1.7	2.1	97.9	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm	22.5	3.9	5.0	94.0	Grava (%) : 0.4	D10 : 0.00
N° 40	425 µm	30.3	5.2	11.2	88.8	Arena (%) : 40.9	D30 : 0.01
N° 60	250 µm	39.8	6.9	18.1	81.9	Limos y Arcillas (%) : 58.7	D50 : 0.04
N° 140	106 µm	109.1	18.8	36.9	63.1	Cc : 0.4	D60 : 0.09
N° 200	75 µm	25.5	4.4	41.3	58.7	Cu : 44.32	D90 : 0.50
FONDO	-	4.1	58.7	100.0	0.0		



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-13
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,137.10
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	830.30
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	250.70
Peso del Agua (g)	(M _w)	306.80
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	579.60
Humedad (%)	(w)	52.93

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

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 LLACA Código de Muestra: 160625-MS-LL02
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 18/08/2025 18/08/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 227,857.00 8,950,161.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487):

SM

ASSTHO:

A-4(0)

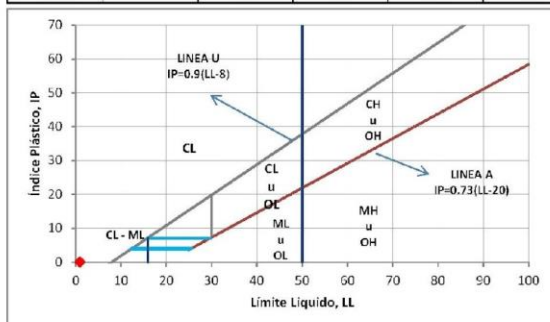
HUMEDAD (ASTM D2216):

15.6

Representación Gráfica



Tamiz	Tamaño	Estándar	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado	que pasa	Descripción de la muestra	
3"	75.0 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R)	3-07
2"	50.8 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R)	254.70 g
1 1/2"	38.1 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R	1,791.00 g
1"	25.4 mm		54.0	4.1	4.1	95.9	Peso Suelo Seco con R	1,584.00 g
3/4"	19.0 mm		13.3	1.0	5.1	94.9	Peso Suelo Seco sin R	1,320.30 g
3/8"	9.50 mm		102.2	7.7	12.8	87.2	Peso Suelo Seco Lavado con R	1,115.30 g
N° 4	4.75 mm		49.7	3.7	16.5	83.5	Peso Suelo Seco Lavado sin R	860.00 g
N° 10	2.00 mm		89.7	6.7	23.2	76.8	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm		104.1	7.8	31.1	68.9	Grava (%)	16.5
N° 40	425 µm		94.8	7.1	38.2	61.8	Arena (%)	48.1
N° 60	250 µm		95.5	7.3	45.5	54.5	Limos y Arcillas (%)	35.4
N° 140	106 µm		195.1	14.7	60.1	39.9	Cc	1.2
N° 200	75 µm		55.9	4.4	64.6	35.4	Cu	111.56
FONDO			2.3	35.4	100.0	0.0	Arena limosa con grava	



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-07
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,791.00
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	1,584.00
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	254.70
Peso del Agua (g)	(M _w)	207.00
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,329.30
Humedad (%)	(w)	15.57

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

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 LLACA Código de Muestra: 160625-MS-LL03
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Región Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 18/08/2025 18/08/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 225,732.00 8,949,299.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487):

SM

ASSTHO:

A-2-4(0)

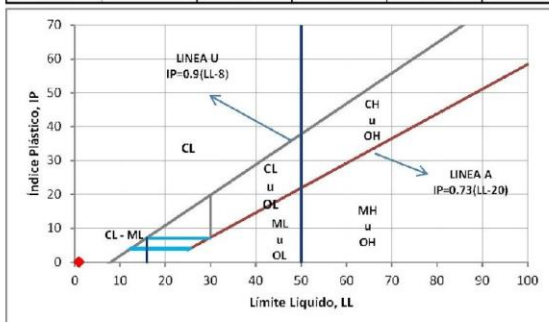
HUMEDAD (ASTM D2216):

15.0

Representación Gráfica



Tamiz		Peso retenido	Porcentaje			Descripción de la muestra
Tamaño	Estándar		retenido	acumulado	que pasa	
3"	75.0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R) 3-04
2"	50.8 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 251.00 g
1 1/2"	38.1 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R 1,228.20 g
1"	25.4 mm	44.4	5.2	5.2	94.8	Peso Suelo Seco con R 1,101.20 g
3/4"	19.0 mm	0.0	0.0	5.2	94.8	Peso Suelo Seco sin R 840.30 g
3/8"	9.50 mm	0.0	0.0	5.2	94.8	Peso Suelo Seco Lavado con R 850.00 g
N° 4	4.75 mm	3.8	0.4	5.7	94.3	Peso Suelo Seco Lavado sin R 589.00 g
N° 10	2.00 mm	4.3	0.5	9.2	93.8	Valores para la clasificación
N° 20	840 µm	8.4	1.0	7.2	92.8	
N° 40	425 µm	37.2	4.4	11.6	88.4	
N° 60	250 µm	147.0	17.3	28.9	71.1	
N° 140	106 µm	308.5	36.3	65.2	34.8	
N° 200	75 µm	40.3	4.7	99.9	30.1	Limos y Arcillas (%): 30.1
FONDO	-	5.1	30.1	100.0	0.0	
						Cu: 51.56
						Arena limosa



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-04
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,228.20
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	1,101.20
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	251.00
Peso del Agua (g)	(M _w)	127.00
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	849.30
Humedad (%)	(w)	14.95

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

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 LLACA Código de Muestra: 170625-MS-LL04
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 17/08/2025 18/08/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 227.581.00 8,949,995.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487):

SM

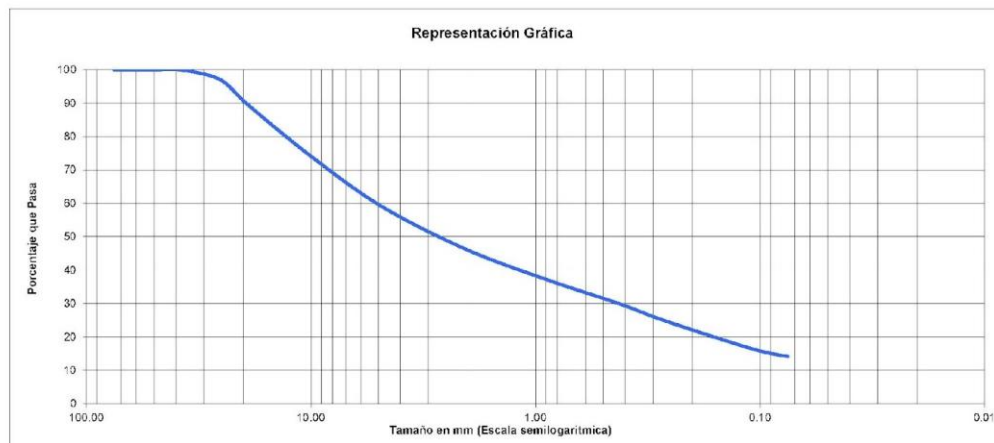
ASSTHO:

A-2-4(0)

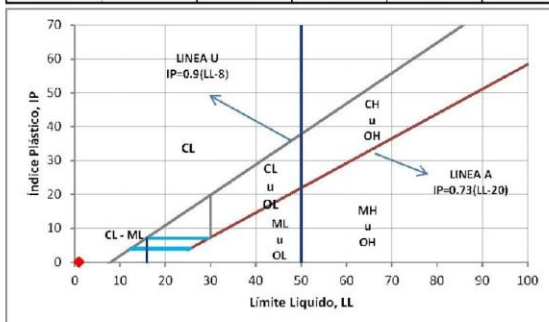
HUMEDAD (ASTM D2216):

8.7

Representación Gráfica



Tamiz	Estándar	Peso retenido	Porcentaje		Descripción de la muestra
			retenido	que pasa	
3"	75.0 mm	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R)
2"	50.8 mm	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R)
1 1/2"	38.1 mm	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R
1"	25.4 mm	32.5	2.9	97.1	Peso Suelo Seco con R
3/4"	19.0 mm	85.1	7.7	89.4	Peso Suelo Seco sin R
3/8"	9.50 mm	184.1	16.5	72.9	Peso Suelo Seco Lavado con R
N° 4	4.75 mm	153.4	14.2	58.8	Peso Suelo Seco Lavado sin R
N° 10	2.00 mm	142.9	12.8	46.0	
N° 20	840 µm	105.1	9.4	36.6	
N° 40	425 µm	74.1	6.6	30.0	
N° 60	260 µm	59.9	5.4	24.6	
N° 140	106 µm	93.4	8.3	16.3	
N° 200	75 µm	24.1	2.2	14.1	
FONDO		4.3	14.1	0.0	



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-03
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,489.50
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	1,372.70
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	254.00
Peso del Agua (g)	(M _w)	95.80
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,118.70
Humedad (%)	(w)	8.65

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

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 LLACA Código de Muestra: 170625-MS-LL05
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 17/08/2025 18/08/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 223,967.00 8,948,735.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

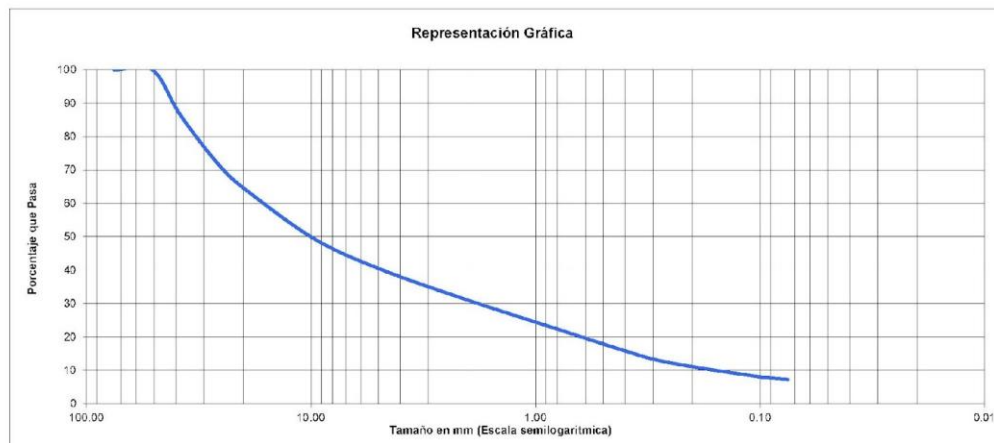
CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487): **GW-GM**

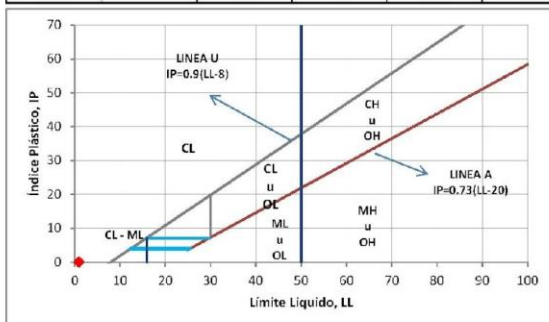
ASSTHO: **A-2-4(1)**

HUMEDAD (ASTM D2216): **3.3**

Representación Gráfica



Tamiz	Tamaño	Estándar	Peso retenido	retenido	Porcentaje acumulado	que pasa	Descripción de la muestra	
3"	75.0 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R)	A-01
2"	50.8 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R)	202.30 g
1 1/2"	38.1 mm		172.1	13.6	13.6	86.4	Peso Suelo Húmedo con R	1,508.90 g
1"	25.4 mm		192.9	15.2	28.9	71.1	Peso Suelo Seco con R	1,437.40 g
3/4"	19.0 mm		95.8	7.7	36.5	63.5	Peso Suelo Seco sin R	1,265.10 g
3/8"	9.50 mm		182.2	14.4	50.9	49.1	Peso Suelo Seco Lavado con R	1,376.40 g
N° 4	4.75 mm		115.8	9.2	60.1	39.9	Peso Suelo Seco Lavado sin R	1,174.10 g
N° 10	2.00 mm		112.9	8.9	69.0	31.0	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm		103.3	8.2	77.1	22.9	Grava (%) : 60.1	D10 : 0.18
N° 40	425 µm		81.3	6.4	83.6	16.4	Arena (%) : 32.6	D30 : 1.80
N° 60	260 µm		50.2	4.0	87.5	12.5	Limos y Arcillas (%) : 7.3	D50 : 9.92
N° 140	106 µm		52.5	4.1	91.7	8.3	Cc : 1.1	D60 : 16.06
N° 200	75 µm		12.8	1.0	92.7	7.3	Cu : 86.92	D90 : 40.87
FONDO			1.3	7.3	100.0	0.0	Grava bien graduada con limo y arena	



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		A-01
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,508.90
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	1,437.40
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	202.30
Peso del Agua (g)	(M _w)	41.50
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,285.10
Humedad (%)	(w)	3.28

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP



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 LLACA Código de Muestra: 170625-MS-LL06
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 17/08/2025 18/08/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 223,074.00 8,948,609.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487):

SM

ASSTHO:

A-4(0)

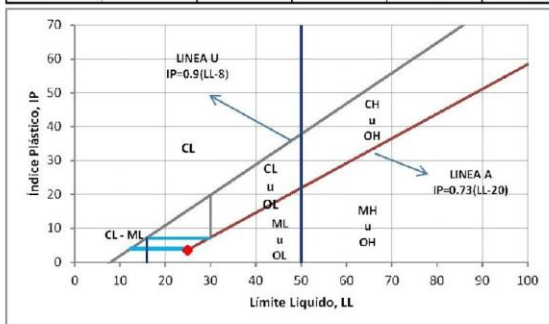
HUMEDAD (ASTM D2216):

18.0

Representación Gráfica



Tamiz	Tamaño	Estándar	Peso retenido	retenido	Porcentaje acumulado	que pasa	Descripción de la muestra	
3"	75.0 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R)	C-12
2"	50.8 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R)	421.00
1 1/2"	38.1 mm		0.0	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R	2,098.80
1"	25.4 mm		42.4	3.0	3.0	97.0	Peso Suelo Seco con R	1,840.70
3/4"	19.0 mm		14.3	1.0	4.0	96.0	Peso Suelo Seco sin R	1,419.70 g
3/8"	9.50 mm		34.9	2.5	6.5	93.5	Peso Suelo Seco Lavado con R	1,326.80
N° 4	4.75 mm		38.7	2.7	9.2	90.8	Peso Suelo Seco Lavado sin R	905.80 g
N° 10	2.00 mm		109.9	7.1	16.3	83.7	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm		145.3	10.2	26.5	73.5	Grava (%) : 0.2	D10 : 0.00
N° 40	425 µm		137.7	9.7	36.2	63.8	Arena (%) : 54.2	D30 : 0.03
N° 60	260 µm		121.9	8.6	44.8	55.2	Limos y Arcillas (%) : 36.6	D50 : 0.21
N° 140	106 µm		211.2	14.9	59.7	40.3	Cc : 1.1	D60 : 0.34
N° 200	75 µm		52.9	3.7	63.4	36.6	Cu : 104.67	D90 : 4.30
FONDO			5.7	36.6	100.0	0.0	Arena limosa	



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		C-12
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	2,098.80
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{us})	1,840.70
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	421.00
Peso del Agua (g)	(M _w)	258.10
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,419.70
Humedad (%)	(w)	18.04

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
25.01	21.62	3.39

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:	Inspeccion tecnica de la laguna Llaca					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Huarez	Distrito:	Independencia
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Llaca	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN							
CODIGO:	250528-MS-LL01	Ubicación:	Norte:	8,955,885.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	
			Este:	231,342.00		Largo (m.)	
CODIGO DE CAMPO:	MS-01		Cota:	4,520.00		Prof. (m.)	
Fecha de Registro:	28 de Mayo de 2025						
Método de Excavación:	Manual						

ENSAYO CONO DE ARENA					
VOLUMEN DEL HOYO :					
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6450.60		
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	1933.10		
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	4527.50		
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)	2973.50		
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44		
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	2064.93		
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :					
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	4747.60		
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30		
10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	4498.30		
11	Densidad humeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	2.18		
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	2.11		
CONTENIDO DE HUMEDAD:					
13	N° de recipiente		B-01		
14	Peso de la muestra humeda + recipiente	(gr)	1323.10		
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1290.70		
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	32.40		
17	Peso del recipiente	(gr)	258.40		
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1032.30		
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	3.14		

REGISTRO FOTOGRÁFICO		
a)	b)	c)
		
Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Extracción de la muestra representativa de suelo, c) Realización del ensayo de densidad.		
Observaciones		

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:	Inspeccion tecnica de la laguna Llaca						
Actividad POI 2025:	AOI00163000139						
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS						
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Huarez	Distrito:	Independencia	
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Llaca	Laguna:	-	

DATOS DE LA EXCAVACIÓN							
CODIGO:	250528-MS-LL02	Ubicación:	Norte:	8,956,067.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	
CODIGO DE CAMPO:	MS-02		Este:	231,445.00		Largo (m.)	
			Cota:	4,539.00		Prof. (m.)	
Fecha de Registro:	28 de Mayo de 2025						
Método de Excavación:	Manual						

ENSAYO CONO DE ARENA							
VOLUMEN DEL HOYO :							
	1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6139.50			
	2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	1837.40			
	3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	4352.10			
	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)	2796.10			
	6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44			
	7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	1943.13			
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :							
	8	Peso de la muestra extraida del hoyo + recipiente	(gr)	4265.60			
	9	Peso del recipiente	(gr)	249.30			
	10	Peso de la muestra extraida del hoyo [08-09]	(gr)	4016.30			
	11	Densidad humeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	2.07			
	12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	2.00			
CONTENIDO DE HUMEDAD:							
	13	N° de recipiente		B-11			
	14	Peso de la muestra humeda + recipiente	(gr)	1415.90			
	15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1379.80			
	16	Peso del agua [14-15]	(gr)	36.10			
	17	Peso del recipiente	(gr)	252.80			
	18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1127.00			
	19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	3.20			

REGISTRO FOTOGRÁFICO							
a)	b)	c)					
							
Fotografía: a) Preparacion del suelo para la realizacion del ensayo in situ, b) Extraccion de la muestra representativa de suelo, c) Realizacion del ensayo de densidad.							
Observaciones							

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:	Inspeccion tecnica de la laguna Llaca					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Huarez	Distrito:	Independencia
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Llaca	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN						
CODIGO:	250616-MS-LL01	Ubicación:	Norte:	8,952,940.00	Ancho (m.):	-
CODIGO DE CAMPO:	MS-01		Este:	229,494.00	Largo (m.):	-
Fecha de Registro:	16 de Junio de 2025		Cota:	4,075.00	Prof. (cm.):	17.50
Método de Excavación:	Manual					

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	51813.50
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	27692.00
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	24121.50
4	Peso de la arena entre el cono y la placa	(gr)	7655.00
5	Peso de la arena en el hoyo [03-04]	(gr)	16466.50
6	Densidad de la arena*	(gr/cm3)	1.45
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	11356.21
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	21270.00
9	Peso del recipiente	(gr)	714.00
10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	20556.00
11	Densidad húmeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	1.81
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	1.48
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-13
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1137.10
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	830.30
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	306.80
17	Peso del recipiente	(gr)	250.70
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	579.60
19	Contenido de humedad [18/18*100]	(%)	52.93

REGISTRO FOTOGRÁFICO		
a)	b)	c)
		
Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Extracción de la muestra representativa de suelo, c) Realización del ensayo de densidad.		
Observaciones		

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:	Inspeccion tecnica de la laguna Ljaca					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Huarez	Distrito:	Independencia
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Ljaca	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN							
CODIGO:	250616-MS-LL02	Ubicación:	Norte:	8,950,161.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	-
CODIGO DE CAMPO:	MS-02		Este:	227,657.00		Largo (m.)	-
			Cota:	3,633.00		Prof. (cm.)	20.00
Fecha de Registro:	16 de Junio de 2025						
Método de Excavación:	Manual						

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	50570.00
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	23964.00
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	26606.00
4	Peso de la arena entre el cono y la placa	(gr)	7685.00
5	Peso de la arena en el hoyo [03-04]	(gr)	18921.00
6	Densidad de la arena*	(gr/cm ³)	1.45
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm ³)	13048.97
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	24928.00
9	Peso del recipiente	(gr)	692.00
10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	24236.00
11	Densidad húmeda in situ [10/07]	(gr/cm ³)	1.86
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm ³)	1.61
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-07
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1791.00
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1584.00
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	207.00
17	Peso del recipiente	(gr)	254.70
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1329.30
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	15.57

REGISTRO FOTOGRÁFICO		
a)	b)	c)
		
Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Extracción de la muestra representativa de suelo, c) Realización del ensayo de densidad.		
Observaciones		

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:	Inspeccion tecnica de la laguna Llaca					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Huarez	Distrito:	Independencia
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Llaca	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN							
CODIGO:	250616-MS-LL03	Ubicación:	Norte:	8,949,299.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	-
			Este:	225,732.00		Largo (m.)	-
CODIGO DE CAMPO:	MS-03		Cota:	3,408.00		Prof. (cm.)	19.50
Fecha de Registro:	16 de Junio de 2025						
Método de Excavación:	Manual						

ENSAYO CONO DE ARENA					
VOLUMEN DEL HOYO :					
	1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	44303.00	
	2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	17430.00	
	3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	26873.00	
	4	Peso de la arena entre el cono y la placa	(gr)	7685.00	
	5	Peso de la arena en el hoyo [03-04]	(gr)	19188.00	
	6	Densidad de la arena*	(gr/cm3)	1.45	
	7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	13233.10	
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :					
	8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	25392.00	
	9	Peso del recipiente	(gr)	710.00	
	10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	24682.00	
	11	Densidad húmeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	1.87	
	12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	1.62	
CONTENIDO DE HUMEDAD:					
	13	N° de recipiente		B-04	
	14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1228.20	
	15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1101.20	
	16	Peso del agua [14-15]	(gr)	127.00	
	17	Peso del recipiente	(gr)	251.90	
	18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	849.30	
	19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	14.95	

REGISTRO FOTOGRÁFICO		
a)	b)	c)
		
Fotografía: a) Preparacion del suelo para la realizacion del ensayo in situ, b) Realizacion del ensayo de densidad, c) Entorno del punto de ensayo		
Observaciones		



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:	Inspeccion tecnica de la laguna Llaca					
Actividad POI 2025:	AO/00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicacion Politica:	Región:	Ancash	Provincia:	Huaraz	Distrito:	Independencia
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Llaca	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN							
CODIGO:	250617-MS-LL04	Ubicación:	Norte:	8.949.996.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	
CODIGO DE CAMPO:	MS-04		Este:	227.681.00		Largo (m.)	
			Cota:	3.625.00		Prof. (cm.)	20
Fecha de Registro:	17 de Junio de 2025						
Método de Excavación:	Manual						

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	41879.00
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	19223.00
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	22656.00
4	Peso de la arena entre el cono y la placa	(gr)	7685.00
5	Peso de la arena en el hoyo [03-04]	(gr)	14971.00
6	Densidad de la arena*	(gr/cm3)	1.45
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	10324.83
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraida del hoyo + recipiente	(gr)	22100.00
9	Peso del recipiente	(gr)	705.00
10	Peso de la muestra extraida del hoyo [08-09]	(gr)	21395.00
11	Densidad humeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	2.07
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	1.91
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-03
14	Peso de la muestra humeda + recipiente	(gr)	1469.50
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1372.70
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	96.80
17	Peso del recipiente	(gr)	254.00
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1118.70
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	8.65

REGISTRO FOTOGRÁFICO		
a)	b)	c)
Fotografía: a) Preparacion del suelo para la realizacion del ensayo in situ, b) Extraccion de la muestra representativa de suelo, c) Realizacion del ensayo de densidad.		
Observaciones		

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:	Inspeccion tecnica de la laguna Llaca					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicacion Politica:	Región:	Ancash	Provincia:	Ihuaraz	Distrito:	Independencia
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Llaca	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN						
CODIGO:	250617-MS-LL05	Ubicación:	Norte:	8,948.736.00	Ancho (m.)	-
			Este:	223.967.00	Largo (m.)	-
CODIGO DE CAMPO:	MS-05		Cota:	3.240.00	Prof. (cm.)	18.00
Fecha de Registro:	17 de Junio de 2025					
Método de Excavación:	Manual					

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	45321.00
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	25432.48
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	19888.52
4	Peso de la arena entre el cono y la placa	(gr)	7685.00
5	Peso de la arena en el hoyo [03-04]	(gr)	12203.52
6	Densidad de la arena*	(gr/cm3)	1.46
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	8358.58
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraida del hoyo + recipiente	(gr)	19796.00
9	Peso del recipiente	(gr)	709.00
10	Peso de la muestra extraida del hoyo [08-09]	(gr)	19087.00
11	Densidad humeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	2.28
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	2.21
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		A-01
14	Peso de la muestra humeda + recipiente	(gr)	1508.90
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1467.40
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	41.50
17	Peso del recipiente	(gr)	202.30
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1265.10
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	3.28

REGISTRO FOTOGRÁFICO		
a)	b)	c)
		
Fotografía: a) Preparacion del suelo para la realizacion del ensayo in situ. b) Extraccion de la muestra representativa de suelo. c) Peso de las muestra extraida del ensayo de densidad.		
Observaciones		

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

DATOS DEL PROYECTO							
PRODUCTO:	Inspección técnica de la laguna Llaca						
Actividad POI 2025:	AOI00163000139						
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS						
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Huaraz	Distrito:	Independencia	
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	Llaca	Laguna:	-	
DATOS DE LA EXCAVACIÓN							
CODIGO:	250617-MS-LL06		Ubicación:	Norte:	8 948,609.00	Dimensiones:	Ancho (m.)
CODIGO DE CAMPO:	MS-06			Este:	223,074.00		Largo (m.)
Fecha de Registro:	17 de Junio de 2025			Cota:	3,170.00		Prof. (cm.)
Método de Excavación:	Manual						
ENSAYO CONO DE ARENA							
VOLUMEN DEL HOYO :							
	1	Peso del cono + arena (inicial)		(gr)	44401.00		
	2	Peso del cono + arena (final)		(gr)	17790.00		
	3	Peso de la arena empleada [01-02]		(gr)	26611.00		
	4	Peso de la arena entre el cono y la placa		(gr)	7685.00		
	5	Peso de la arena en el hoyo [03-04]		(gr)	18926.00		
	6	Densidad de la arena*		(gr/cm ³)	1.48		
	7	Volumen del hoyo [05/06]		(cm ³)	13007.56		
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :							
	8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente		(gr)	26156.00		
	9	Peso del recipiente		(gr)	709.00		
	10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]		(gr)	25447.00		
	11	Densidad húmeda in situ [10/07]		(gr/cm ³)	1.96		
	12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]		(gr/cm ³)	1.66		
CONTENIDO DE HUMEDAD:							
	13	N° de recipiente			C-12		
	14	Peso de la muestra húmeda + recipiente		(gr)	2096.80		
	15	Peso de la muestra seca + recipiente		(gr)	1840.70		
	16	Peso del agua [14-15]		(gr)	256.10		
	17	Peso del recipiente		(gr)	421.00		
	18	Peso de la muestra seca [15-17]		(gr)	1419.70		
	19	Contenido de humedad [16/18*100]		(%)	18.04		
REGISTRO FOTOGRÁFICO							
a)	b)			c)			
  							
Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ. b) Extracción de la muestra representativa de suelo. c) Realización del ensayo de densidad.							
Observaciones							

EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE ALUVIÓN POR DESBORDE
DE LAGUNA GLACIAR EN LA SUBCUENCA CASCA

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

Ensayo de Corte Directo
MTC E 123 - ASTM D 3080

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Proyecto: INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA LAGUNA LLACA Código de Muestra: 250528-MS-LL01
Ubicación: Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash Fecha de Campo / Ensayo: 28/05/2025 23/09/2025
Subcuenca: Llaca Coordenadas UTM ESTE/NORTE 231,342.00 8,955,885.00

DATOS DE LA MUESTRA

SUCS: GP-GM

TIPO: SUELO

CONDICION DE MUESTRA: ALTERADA

DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA : Mat. < N°4
ESTADO : REMOLDEADO

VELOCIDAD: 0.50 mm/min
HUMEDAD (%): 3.14

DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm³): 2.18
DENSIDAD SECA (gr/cm³): 2.11

DATOS DEL ESPECIMEN	ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal (kPa)	100.64		201.28		402.56	
Etapas	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (cm)	2.60	2.59	2.60	2.59	2.60	2.59
Diametro (cm)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
Humedad (%)	3.14	20.28	3.14	18.48	3.14	15.86
Densidad (gr/cm ²)	2.180	2.187	2.180	2.185	2.180	2.187

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	6.45	6.44	0.16	11.20	11.18	0.16	17.51	17.48
0.31	15.48	15.42	0.31	21.86	21.77	0.31	48.67	48.48
0.47	18.69	18.56	0.47	33.74	33.54	0.47	59.46	59.10
0.63	22.41	22.23	0.63	45.67	45.30	0.63	74.84	74.24
0.79	24.96	24.71	0.79	49.33	48.83	0.79	79.64	78.84
0.94	26.33	26.01	0.94	53.16	52.52	0.94	86.22	85.18
1.26	29.30	28.83	1.26	60.42	59.45	1.26	95.51	93.68
1.57	31.57	30.94	1.57	66.42	65.09	1.57	103.38	101.31
1.89	33.03	32.24	1.89	73.42	71.66	1.89	109.74	107.10
2.20	36.38	35.36	2.20	76.50	75.30	2.20	120.47	117.09
2.52	38.81	37.56	2.52	86.12	83.36	2.52	130.10	125.93
2.83	40.96	39.48	2.83	92.91	89.55	2.83	138.99	133.97
3.15	42.58	40.86	3.15	98.17	94.23	3.15	144.52	138.73
3.46	45.84	43.63	3.46	101.88	97.39	3.46	158.94	151.93
3.78	47.89	45.58	3.78	108.00	102.81	3.78	165.89	157.91
4.09	48.68	46.14	4.09	114.34	108.38	4.09	174.37	165.28
4.41	51.11	48.25	4.41	117.81	111.20	4.41	183.01	172.74
4.72	52.06	48.93	4.72	122.23	114.88	4.72	187.16	175.91
5.04	53.70	50.26	5.04	125.77	117.70	5.04	194.91	182.41
5.35	54.46	50.75	5.35	128.34	119.59	5.35	200.51	186.85
5.67	55.57	51.56	5.67	131.19	121.73	5.67	207.70	192.71
5.98	56.21	51.93	5.98	135.51	125.20	5.98	211.21	195.13
6.30	57.87	53.23	6.30	139.44	128.26	6.30	216.36	199.01
6.61	58.73	53.79	6.61	140.89	129.04	6.61	221.20	202.58
6.93	59.36	54.13	6.93	142.22	129.59	6.93	227.77	207.70
7.24	60.10	54.56	7.24	143.67	130.43	7.24	228.78	207.70
7.56	60.09	54.31	7.56	145.88	131.85	7.56	230.76	208.57
7.87	60.46	54.41	7.87	147.08	132.35	7.87	235.66	212.06
8.66	61.28	54.53	8.66	151.03	134.39	8.66	240.31	213.84
9.45	63.52	55.89	9.45	153.55	135.10	9.45	246.64	217.01
10.24	64.86	56.42	10.24	157.87	137.33	10.24	251.11	218.44
11.02	65.36	56.20	11.02	160.89	138.36	11.02	254.89	219.19
11.81	65.65	55.80	11.81	164.96	140.21	11.81	261.98	222.68

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 LLACA	Código de Muestra:	250528-MS-LL01
Ubicación:	Dist. Independencia, Prov. Huaraz, Region Ancash	Fecha de Campo / Ensayo:	28/05/2025 23/09/2025
Subcuenca:	Llaca	Coordenadas UTM ESTE/NORTE	231.342 00 8.955.885 00

DATOS DE LA MUESTRA

SUCS: GP-GM

TIPO: SUELO

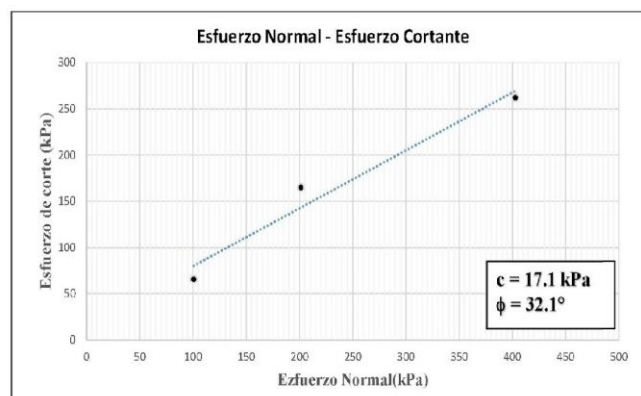
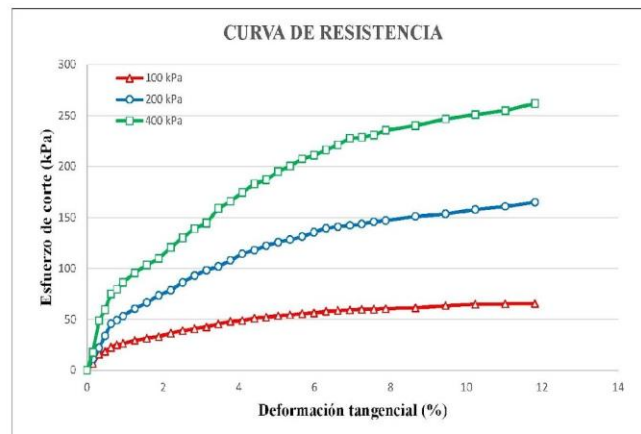
CONDICION DE MUESTRA: ALTERADA

DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA : Mat. < N°4
ESTADO : REMOLDEADO

VELOCIDAD: 0.50 mm/min
HUMEDAD (%): 3.14

DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm³): 2.18
DENSIDAD SECA (gr/cm³): 2.11



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



ANEXO B
DENSIDAD DE CAMPO Y GRANULOMETRIA

Se extrajeron 8 muestras de suelos representativas en los materiales inconsolidados que forman parte del área de estudio, los cuales se distribuyen en las zonas de erosión identificadas, descritas en el capítulo 4.6. La ubicación de dichos puntos de muestreo se indica en la Tabla 14.

Tabla 14. Ubicación de las muestras de suelos ensayadas

N°	Fecha	Muestra	Coordenadas UTM		
			Este	Norte	Altitud
1	28/05/25	250528-MS-LL01	231 342	8 955 885	4 520
2	28/05/25	250528-MS-LL02	231 445	8 956 067	4 539
3	16/06/25	160625-MS-LL01	229 494	8 952 940	4 075
4	16/06/25	160625-MS-LL02	227 657	8 950 161	3 633
5	16/06/25	160625-MS-LL03	225 732	8 949 299	3 408
6	17/06/25	170625-MS-LL04	227 681	8 949 996	3 625
7	17/06/25	170625-MS-LL05	223 967	8 948 736	3 240
8	17/06/25	170625-MS-LL06	223 074	8 948 609	3 170

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en las muestras de suelos, nos permite obtener su clasificación, distribución porcentual de granos, contenido de humedad, límites de plasticidad y densidad natural, determinando las características físicas que presentan dichos materiales y los depósitos que conforman.

Tabla 15. Propiedades físicas y clasificación SUCS de los suelos

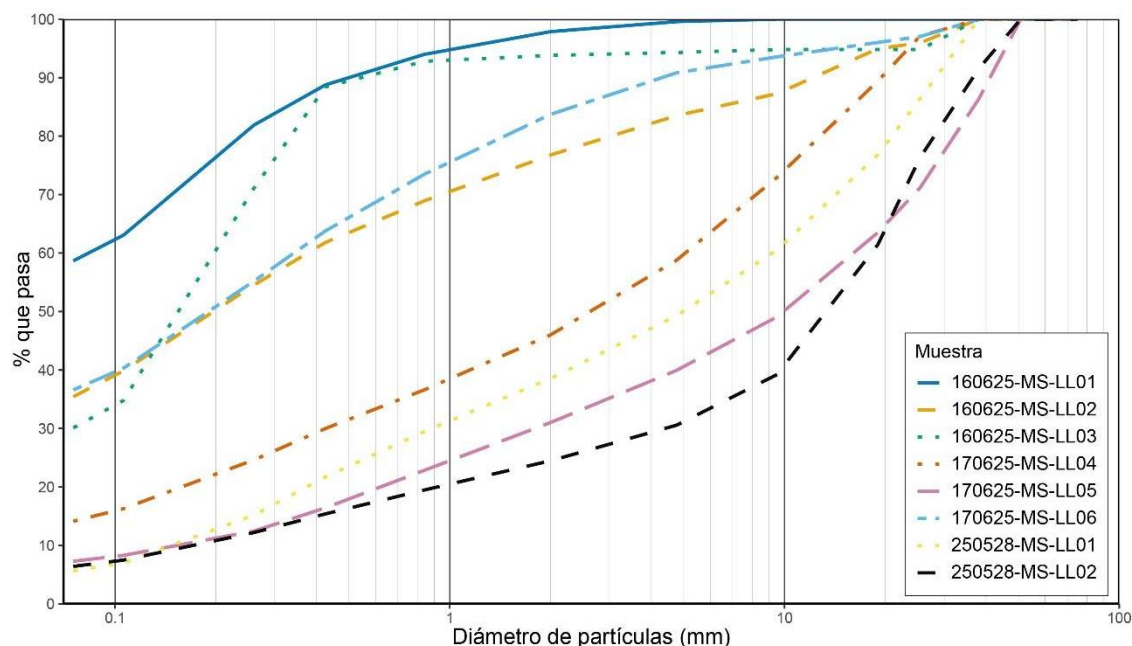
Muestra	Clasificación SUCS	Tipo de suelo predominante	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Humedad (%)
160625-MS-LL01	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad	0.4	40.9	58.7	52.93
160625-MS-LL02	SM	Arena limosa con grava	16.5	48.1	35.4	15.57
160625-MS-LL03	SM	Arena limosa	5.7	64.3	30.1	14.95
170625-MS-LL04	SM	Arena limosa con grava	41.2	44.7	14.1	8.65
170625-MS-LL05	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena	60.1	32.6	7.3	3.28
170625-MS-LL06	SM	Arena limosa	9.2	54.2	36.6	18.04

250528-MS-LL01	GP-GM	Grava mal graduada con arena y limo	50.7	43.6	5.7	3.14
250528-MS-LL02	GP-GM	Grava mal graduada con arena y limo	69.4	24.2	6.4	3.20

Tabla 16. Densidad de los suelos

Muestra	Cota (msnm)	Volumen del Hoyo (cm ³)	Densidad Húmeda (g/cm ³)	Densidad Seca (g/cm ³)	Contenido de Humedad (%)
160625-MS-LL01	4 075	11 356.21	1.81	1.18	52.93
160625-MS-LL02	3 633	13 048.97	1.86	1.61	15.57
160625-MS-LL03	3 408	13 233.10	1.87	1.62	14.95
170625-MS-LL04	3 625	10 324.83	2.07	1.91	8.65
170625-MS-LL05	3 240	8 358.58	2.28	2.21	3.28
170625-MS-LL06	3 170	13 007.56	1.96	1.66	18.04
250528-MS-LL01	4 520	2 064.93	2.18	2.11	3.14
250528-MS-LL02	4 539	1 943.13	2.07	2.00	3.20

Figura 36. Resumen de las curvas granulométricas de las muestras de suelo



Suelos de origen glaciar: se refiere a las muestras 250616-MS-HU01 y 250616-MS-HU02, correspondientes a suelos gravosos constituidos por una grava mal graduada con limo y arena (GP-GM) y una grava bien graduada con arena (GW). Siendo el contenido porcentual de gravas y arenas mayor a 90%, donde las gravas son de litología homogénea y forma subangulosa (no redondeadas), llegando estas últimas a constituir más del 45% de la masa total del suelo. Dicho material presenta una densidad natural de 2.10 g/cm^3 y una consistencia media, con un grado de erosión alta, representando a la zona de erosión H4.

Suelos de origen fluvial y aluvial: corresponden a las muestras 250617-MS-HU03 y 250617-MS-HU04 conformados por arenas mal graduadas con gravas (SP). Siendo el contenido porcentual de gravas y arenas mayor a 95%, donde las gravas son de litología heterogénea y formas redondeadas, llegando estas últimas a constituir más del 40% de la masa total del suelo. Respecto a la cantidad de material fino, se estima que representa menos del 5%, lo cual indica bajo contenido de material cementante, y por consiguiente una baja consistencia y un alto grado de erosionabilidad, representando a la zona de erosión H6 y H9.

Suelos de origen coluvial: corresponden a las muestras 250618-MS-HU05 y 250618-MS-HU06 conformados por arenas limosas con grava (SM). Siendo el contenido porcentual de gravas y arenas mayor a 70%, donde las gravas son de litología heterogénea y formas angulosas, respecto a la cantidad de material fino varían de 15% a 30%, lo cual actúa como material cementante otorgándole una alta consistencia y un bajo grado de erosionabilidad del suelo, representando a la zona de erosión H5, H7 y H8.