



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES
SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES

INFORME TÉCNICO N° 003-2025-INAIGEM-DIG-SDRAG

EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE ALUVIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE GLACIAR Y ROCA DEL NEVADO HUASCARÁN SUR

Provincia de Yungay: distritos de Yungay, Mancos, Ranrahirca, Shupluy;
provincia de Carhuaz: distrito de Amashca;
departamento de Áncash

Fuente imagen: Google Earth

JULIO, 2025



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

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

Dirección de Investigación en Glaciares

Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares

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

Título: Evaluación del peligro de aluvión por desprendimiento de glaciar y roca desde el nevado Huascarán sur.

Teléfono: +51 (043) 643460

Web: <https://www.gob.pe/inaigem>

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

Dra. Beatriz Fuentealba Durand

Presidenta Ejecutiva del INAIGEM

Autores:

Dirección de Investigación en Glaciares - DIG

Dra. Paola Moschella Miloslavich

Directora

Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares - SDRAG

Mag. Vladimir Cuisano Marreros

Subdirector

Ing. Hilbert Villafane Gomez

Especialista en Modelamiento de Alta Montaña

Ing. Adriana Caballero Bedriñana

Especialista en Ingeniería Civil

Ing. Enver Melgarejo Romero

Especialista en Geomática de Alta Montaña

Ing. Manuel Cosi Fajardo

Especialista en Geología - Geotecnia

Ing. Angel Salas Colca

Especialista en Geología

Bach. Heraldo Osnard Palomino Gutierrez

Practicante Profesional en Modelamiento de Alta Montaña

Bach. Xavier Francisco Chavez Champi

Practicante Profesional de Ingeniería Geológica

Bach. Naldini Morales Villanueva

Practicante Profesional en Ingeniería Civil

Bach. Gloria Stephany Ramirez Diaz
Especialista del servicio de Sistematización de datos de Información Geográfica

Equipo técnico de INAIGEM

Dirección de Información y Gestión del Conocimiento Subdirección de Información y Análisis

Ing. Luis Alberto Torres Obando
Director de Información y Gestión del Conocimiento (e)
Subdirector de Información y Análisis

Ing. Robert Alvarado Lugo
Especialista en Análisis de Información

Ing. Susan Coaguila Agurto
Especialista en Meteorología

Bach. Henry Adrian Castañeda Cajachagua
Especialista del servicio de Sistematización de datos hidrometeorológicos

Entidades que brindaron apoyo:

Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial – CONIDA
Dirección de Aplicaciones Espaciales y Geomática – DIAPG

Gobierno Regional de Áncash
Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres y Defensa Civil

Municipalidad Provincial de Yungay

Municipalidad Distrital de Mancos

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1	Objetivo General.....	8
1.1.1	Objetivos específicos.....	8
1.2	Antecedentes.....	8
2	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	11
2.1	Caracterización geológica.....	12
2.2	Caracterización geomorfológica.....	12
2.3	Variabilidad climática nevado Huascarán	15
2.3.1	Tendencias de Temperatura	15
2.3.2	Tendencias de la precipitación líquida	15
2.3.3	Tendencias de la precipitación sólida	17
2.4	Relación entre avalanchas de hielo con las variables meteorológicas	18
2.5	Retroceso glaciar: Sistema glaciar Huascarán.....	20
3	METODOLOGÍA	23
3.1	Información física.....	23
3.1.1	Modelo digital de elevación.....	23
3.1.2	Datos geotécnicos de campo.....	23
3.2	Ensayos de laboratorio	23
3.3	Simulación de avalancha.....	23
3.4	Planteamiento de escenarios.....	24
3.5	Evaluación del peligro.....	25
3.5.1	Probabilidad	25
3.5.2	Intensidad.....	25
4	RESULTADOS	27
4.1	Glaciar potencialmente inestable	27
4.1.1	Dinámica del glaciar potencialmente inestable	27
4.1.2	Volumen de la zona potencialmente inestable	29
4.1.3	Basamento de roca debajo del glaciar	30
4.2	Identificación de las zonas de erosión	32
4.2.1	Zona no erosiva (Zona H1 y H3).....	32
4.2.2	Zona ligeramente erosiva (Zona H5, H7 y H8).....	32
4.2.3	Zona moderadamente erosiva (Zona H6 y H9).....	32
4.2.4	Zona fuertemente erosiva (Zona H4)	32
4.3	Resultados de laboratorio	33
4.4	Simulación de los escenarios	35

5	Mapa de peligro	39
6	CONCLUSIONES	41
7	RECOMENDACIONES	42
7.1	Medidas del corto plazo	42
7.2	Medidas del mediano y largo plazo.....	43
8	BIBLIOGRAFÍA.....	44

Índice de Figuras

Figura 1. Nevados Huascarán y zona de desprendimiento de avalancha del 7 de mayo del 2025.....	9
Figura 2. Formación de la nube polvo de hielo	9
Figura 3. Avalanchas registradas en los meses de mayo y junio del 2025.....	10
Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio.....	11
Figura 5. Vista panorámica del pico sur de la Cordillera Blanca.....	13
Figura 6. Mapa geomorfológico	14
Figura 7. Anomalías mensuales de temperatura para la estación de Yungay (1950 - 2025)	16
Figura 8. Anomalías mensuales de temperatura para la estación de Saucepampa	16
Figura 9. Precipitación mensual: Anomalías y serie de tiempo. Estación Yungay	16
Figura 10. Precipitación mensual: Anomalías y serie de tiempo. Estación Saucepampa	17
Figura 11. Precipitación sólida mensual: Anomalías y serie de tiempo para el nevado Huascarán.	17
Figura 12. Estación Yungay: Correlación de las avalanchas de hielo con las variables meteorológicas	19
Figura 13. Estación Saucepampa: Correlación de las avalanchas de hielo con las variables meteorológicas	19
Figura 14. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Huascarán	20
Figura 15. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar	20
Figura 16. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar.....	21
Figura 17. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Huascarán	22
Figura 18. Diagrama esquemático del modelo RAMMS para el cálculo de las ráfagas de aire y avalanchas de roca-hielo	24
Figura 19. Niveles del peligro en función de la intensidad y probabilidad.....	25
Figura 20. Intensidad del peligro	26
Figura 21. Zonificación del glaciar potencialmente inestable.....	27
Figura 22. Desplazamiento en el lado izquierdo del glaciar potencialmente inestable. 28	
Figura 23. Desplazamiento en el lado derecho del glaciar inestable	28
Figura 24. Espesores del glaciar potencialmente inestable.....	29
Figura 25. Espesor promedio y largo del glaciar potencialmente inestable	29
Figura 26. Afloramiento rocoso del Nevado Huascarán Sur.....	30
Figura 27. Presencia de vetas de cuarzo en el afloramiento rocoso	31
Figura 28. Análisis cinemático del talud. A) Rotura tipo planar, B) Rotura tipo cuña. ..	31
Figura 29. Mapa de zonas de erosión.....	33
Figura 30. Resumen de las curvas granulométrías de las muestras de suelo.	34
Figura 31. Simulación de escenarios	36
Figura 32. Simulación de escenarios, según velocidad de flujo	37
Figura 33. Estimación de tiempo de impacto según nivel de peligro	38
Figura 34. Mapa de peligro de aluvión – Pico sur del nevado Huascarán	40

Índice de Tablas

Tabla 1. Estaciones meteorológicas del SENAMHI para las localidades de Yungay y Saucepampa	15
Tabla 2. Resumen de resultados del análisis cinemático	32
Tabla 3. Ubicación de las muestras de suelos ensayadas.	33
Tabla 4. Propiedades físicas de los suelos	34

1 INTRODUCCIÓN

El Nevado Huascarán sur es el pico más alto de la Cordillera Blanca y del Perú, hoy en día, los efectos del cambio climático vienen afectando su entorno, evidenciándose a través del proceso de retroceso glaciar, el cual deja sectores inestables sobre pendientes fuertes, debido a la formación de grietas, exponiendo a la población y sus medios de vida colindantes.

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 de aluvión por desprendimiento de glaciar y roca del nevado Huascarán sur”.

Este trabajo fue realizado por la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG), a través de la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares (SDRAG) mediante su actividad operativa de “Evaluación del peligro y riesgo asociados a glaciares”, contribuyendo de esta manera, con las entidades del SINAGERD, al ofrecer una información oportuna mediante la elaboración de un mapa de peligro por aluvión en el ámbito de las subcuencas de Mancos y Buin.

Este estudio tiene como base el “Reporte de evaluación rápida debido a la avalancha de hielo en el glaciar Raimondi 3 (Nevado Huascarán sur) en la subcuenca de mancos del día 07 de mayo de 2025”, de fecha 20 de mayo de 2025, el cual se elaboró a partir de la inspección técnica realizada por los especialistas del INAIGEM el día 16 de mayo de 2025.

El INAIGEM ha desarrollado una metodología para determinar peligro por aluvión, a partir de este caso de estudio, mediante la modelación de tres escenarios que consideren los factores de probabilidad e intensidad, permitiendo la construcción y definición de un mapa de peligro por aluvión con tres niveles: muy alto, alto y medio.

Finalmente, el presente informe incluye conclusiones y recomendaciones, la 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 (INDEC); para que cada entidad implemente las acciones y/o medidas que les corresponde, de acuerdo con sus competencias y en el marco de lo establecido en la normativa vigente.

1.1 Objetivo General

Determinar los niveles de peligro por aluvión desde glaciar Raimindi 3 del nevado Huascarán sur y definir los posibles ámbitos de afectación.

1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar los aspectos geológicos y geomorfológicos del área de estudio.
- Caracterizar las tendencias de las variables climáticas con base a las estaciones cercanas al ámbito de estudio.
- Analizar la dinámica glaciar del pico sur del nevado Huascarán.
- Realizar la caracterización de los materiales susceptibles al arrastre depositados en el área de estudio, a fin de ser incluidos en el modelamiento del flujo de detritos.
- Simular escenarios probables de avalanchas de roca-hielo y flujo de detritos, tomando en consideración los procesos en cadena.

1.2 Antecedentes

Avalancha de roca-hielo de 1962 – pico norte del Huascarán

Ocurrió el 10 de enero de 1962 cuando una porción del glaciar ubicado en la cara norte del Huascarán, la montaña más alta del país, se desprendió repentinamente. La avalancha se transformó rápidamente en un flujo de detritos al incorporar agua, tierra y escombros del terreno montañoso, generando una fuerza destructiva incontenible. El pueblo más afectado fue Ranrahirca, que quedó completamente sepultada junto con varios caseríos aledaños. Se estima que fallecieron aproximadamente 650 personas (Evans et al. 2009), muchas de ellas sin haber tenido tiempo de escapar o resguardarse. Este evento fue resultado de la inestabilidad glacial agravada por factores geológicos y climáticos, y constituyó una advertencia temprana sobre el peligro de habitar zonas cercanas a los glaciares.

Avalancha de roca-hielo del 31 de mayo del 1970 – pico norte del Huascarán

La avalancha de roca-hielo del 31 de mayo de 1970, originada en el pico norte del Huascarán, fue uno de los desastres más mortales del siglo XX en América Latina. Ese día, a las 15:23 horas, un terremoto de magnitud 7.9 Mw, con epicentro en el Océano Pacífico cerca de Chimbote, sacudió violentamente la región costera y andina del Perú. El sismo desestabilizó una enorme masa de hielo y roca del glaciar 511, situado en la cara norte del Huascarán, a más de 6,000 metros de altitud. En cuestión de segundos, un bloque de masa glaciar se desprendió de la montaña, iniciando una avalancha de dimensiones colosales. La mezcla de hielo, nieve, roca y lodo descendió a una velocidad de hasta 300 km/h, recorriendo más de 15 kilómetros en apenas 3 minutos, arrasando completamente el pueblo de Yungay y nuevamente Ranrahirca en un área más grande que en 1962, se estima que hubo un total de cerca de 7000 víctimas (Evans et al. 2009).

Avalancha de hielo del 20 de junio del 2023 – pico norte del Huascarán

El 20 de junio de 2023, alrededor de las 14:00 horas, se produjo una avalancha de hielo desde el pico norte del nevado Huascarán (6655 m s.n.m.). El bloque de hielo, aprovechando la pendiente casi vertical cayó e impacto de forma directa en un área de pendiente moderada, a partir del cual se generó un fuerte ruido y una enorme nube partículas de hielo y nieve que se esparcieron en el aire, recorriendo una distancia de

aproximadamente ~3 km y que fue divisada por los diversos centros poblados emplazados en la subcuenca Ranrahirca, situación que alarmó a la población y autoridades, ante la incertidumbre de un posible evento aluviónico de grandes proporciones.

Avalancha de hielo del 07 de mayo del 2025 – pico sur del Huascarán

Una de las avalanchas de hielo significativas provenientes del glaciar Raimondi 3 fue registrado el 7 de mayo de 2025, en horas de la mañana, aproximadamente entre las 9:00 a.m. y las 11:00 a.m. El desprendimiento del bloque glaciar se produjo a una altitud de 6100 metros sobre el nivel del mar (Figura 1), en un glaciar colgante ubicado sobre una pendiente pronunciada. El bloque de hielo cayó a lo largo de un desnivel de 660 metros, impactando finalmente sobre otra superficie de glaciar a 5440 metros de altitud. Este fuerte impacto dispuso gran parte de la energía de la caída y pulverizó el hielo en partículas muy finas, generando una gran nube de polvo de hielo (límite naranja en la Figura 2).

Figura 1. Nevados Huascarán y zona de desprendimiento de avalancha del 7 de mayo del 2025

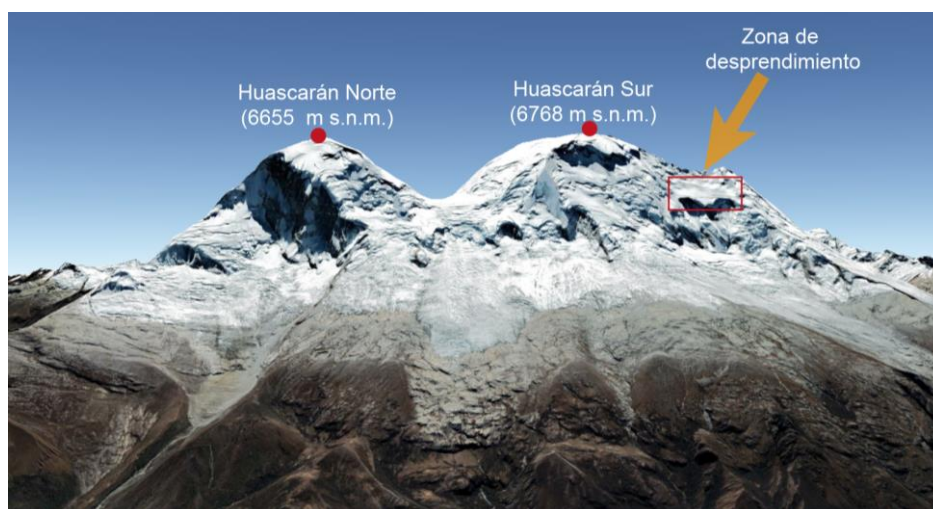
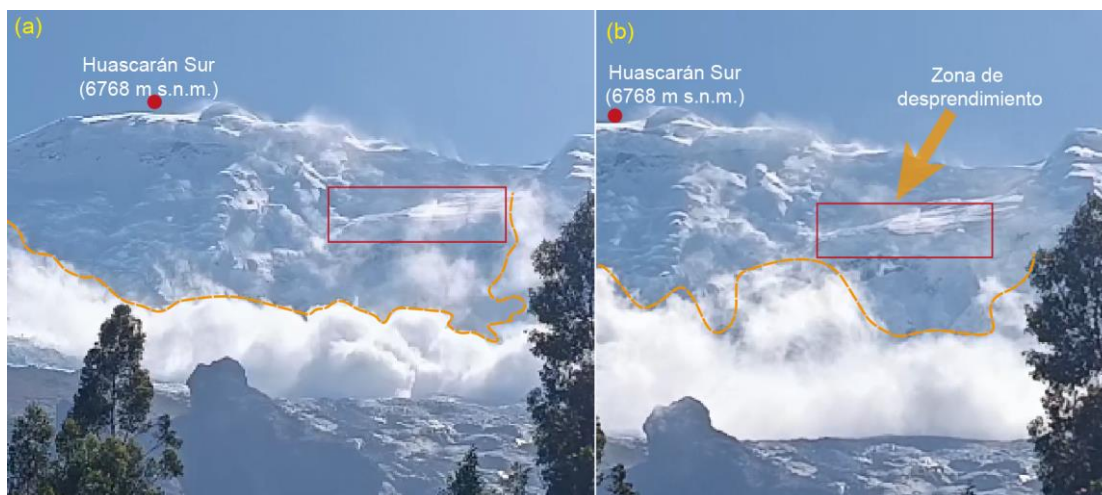


Figura 2. Formación de la nube polvo de hielo



Avalancha de hielo del 9, 19, 20 de junio de mayo del 2025

Las avalanchas de hielo registradas en el periodo de mayo y junio del 2025 son recurrentes en días donde la temperatura máxima se encuentra mayores a 25 °C (estación de Yungay y Saucepampa) (Figura 3).

Figura 3. Avalanchas registradas en los meses de mayo y junio del 2025

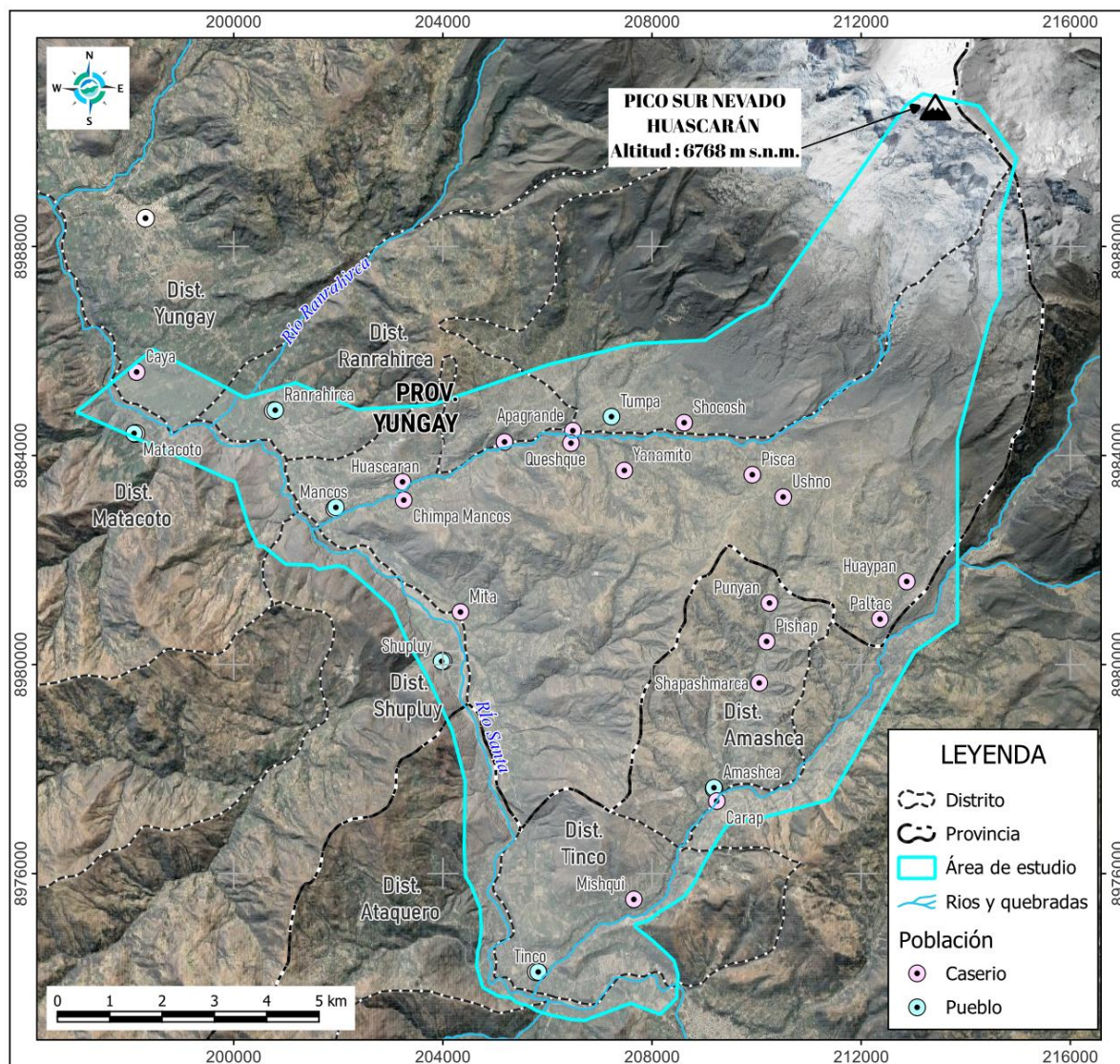


Nota. Línea discontinua negra es el área de alcance y propagación de las avalanchas, el polígono de color rojo es la zona potencialmente inestable de glaciar desde donde se originaron las avalanchas.

2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El nevado Huascarán es parte de la Cordillera Blanca, presenta las cumbres más altas del Perú, está conformado por dos picos principales: el Huascarán Sur (6768 m s.n.m.) y Huascarán Norte (6655 m s.n.m.) (Figura 4).

Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio



2.1 Caracterización geológica

La geología en el área de estudio ha sido descrita en la carta geologica nacional por Wilson et al. (1995) y su actualización (de la Cruz & Chalcatana, 2003), este informe está basado principalmente en dichas descripciones de las unidades litoestratigráficas y litodémicas.

En las partes más próximas al río Santa se encuentran rocas silicoclásticas y calcáreas de las formaciones Chimú y Santa respectivamente (Cretácico Inferior), a estas unidades las sobreyace en discordancia erosiva las rocas piroclásticas de la Formación Yungay (Mioceno), finalmente en el área más próxima a la Cordillera Blanca yacen los sedimentos detríticos de la Formación Lloclla. El origen de la morfoestructura Cordillera Blanca puede estar relacionada al cambio del régimen tectónico a una subducción plana originando el emplazamiento del Batolito de la Cordillera Blanca (McNulty y Farber, 2002), el cual fue exhumado rápidamente por una falla de desprendimiento (Margirier et al. 2016), albergando así la mayor extensión de glaciares tropicales en el mundo, esta falla se encuentra activa en la actualidad.

2.2 Caracterización geomorfológica

La clasificación de las 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 han incorporado otras características geomorfológicas identificadas durante el análisis (Figura 6).

Montaña en roca plutónica

Comprende el área que se encuentra sobre la falla de despegue de la Cordillera Blanca, se encuentra en parte cubierta por morrenas holocénicas y por el glaciar Raimondi, está conformada por los granitoides del Batolito de la Cordillera Blanca.

Colina en roca y/o sedimentos

Se encuentra principalmente a lo largo del río Mancos, está conformado por las formaciones Chimú, Santa y Yungay (de la Cruz & Chalcatana, 2003). Adicionalmente también se observan colinas formados por sedimentos no consolidados, denominado como Formación Lloclla.

Morrenas holocénicas

Están formadas por un sistema de depósitos glaciares compuesto por varias morrenas recientes, las cuales cubren parcialmente al Batolito de la Cordillera Blanca.

Morrenas preholocénicas

Se encuentran ubicadas por debajo de la traza de la falla de la Cordillera Blanca. Presentan dimensiones mayores en comparación con las morrenas holocénicas y muestran signos evidentes de erosión. Sus zonas más bajas han sido adaptadas para la actividad agrícola.

Deslizamientos activos

Son geoformas que se encuentra en constante cambio, los cuales han sido detectados a través de su corona y mediante diferencias en modelos de elevación digital (Klimeš et al. 2024).

Abanico aluvial

Son los sedimentos depositados por el agua, yace sobre la subunidad Terraza 1.

Terrazas

Son planicies ubicadas en ambos márgenes del valle, formadas principalmente por la acción del río Mancos y la quebrada Queruran. Actualmente, estas planicies están ocupadas por parcelas agrícolas, también presentan un origen en parte antrópico, ya que los terrenos han sido nivelados para facilitar el cultivo, se han distinguido tres niveles de terrazas. Están compuestas por sedimentos de origen aluvial.

Vertiente glaciofluvial

Son pendientes formadas principalmente en la zona inmediata a la falla, se encuentran formadas por depósitos fluvioglaciares.

Vertiente aluvial

Se originan como resultado de la erosión fluvial. En algunas zonas, estas vertientes también se encuentran ocupadas por actividades agrícolas.

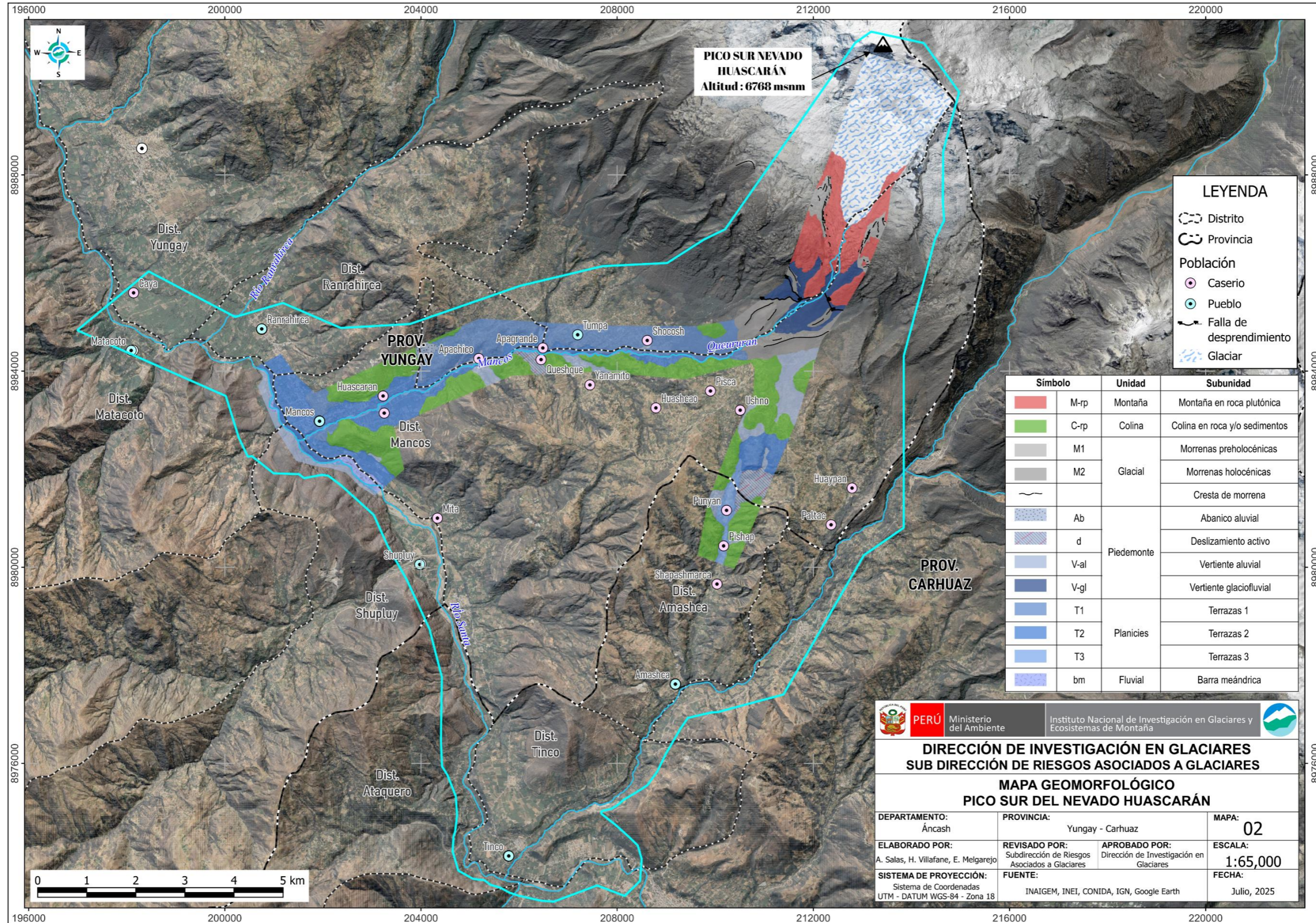
Barra meándrica

Se localizan adyacentes al río Santa, se forman por la disminución de la velocidad de la corriente, lo que ocasiona la depositación de los sedimentos.

Figura 5. Vista panorámica del pico sur de la Cordillera Blanca



Figura 6. Mapa geomorfológico



2.3 Variabilidad climática nevado Huascarán

Se realizó usando datos ERA5 que son proveídos por ECMWF¹ (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) a través del programa Copernicus Climate Change Service (C3S) para las estaciones meteorológicas de Saucapampa y Yungay ubicadas en la región Ancash (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones meteorológicas del SENAMHI para las localidades de Yungay y Saucapampa

Característica	Estación YUNGAY	Estación SAUCEPAMPA
Tipo de estación	Convencional - Meteorológica	Automática - Meteorológica
Departamento	Ancash	Ancash
Provincia	Yungay	Huaylas
Distrito	Yungay	Caraz
Latitud	9° 8' 30.79" S	9° 1' 51.29" S
Longitud	77° 44' 59.91" W	77° 46' 34.76" W
Altitud (m s.n.m.)	2466	2678
Resolución	Diaria	Horaria
Periodo	2017 - 2025	2019 - 2025

2.3.1 Tendencias de Temperatura

El análisis de las series temporales de temperatura máxima mensual y temperatura promedio anual en las estaciones meteorológicas de Yungay (Figura 7) y Saucapampa (Figura 8) revela una clara tendencia al incremento térmico durante las últimas décadas. En ambas estaciones, la tasa de calentamiento registrada es de aproximadamente 0.033 °C/año, lo que equivale a un incremento de 0.331 °C y 0.328 °C por década, respectivamente.

Este aumento sostenido en las anomalías de temperatura se acentúa a partir de la década de 1980, periodo desde el cual se observa una mayor frecuencia de anomalías térmicas positivas. Dichas fluctuaciones están estrechamente vinculadas a la variabilidad climática global, en particular a la ocurrencia de eventos como El Niño (que tiende a elevar las temperaturas) y La Niña (que puede generar enfriamientos temporales). Estas oscilaciones interanuales influyen directamente en la magnitud y frecuencia de las anomalías detectadas.

2.3.2 Tendencias de la precipitación líquida

Se observa que el comportamiento de la precipitación acumulada tanto para la localidad de Saucapampa como Yungay presentan una tendencia al incremento con 3.932 mm/año (39.32 mm/década) y 4.243 mm/año (42.43 mm/década) respectivamente, en el periodo de 1950 - 2025. El comportamiento de las anomalías (Figura 9, Figura 10) no

¹ Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)
<https://cds.climate.copernicus.eu/>

muestra una tendencia marcada de aumento o descenso de precipitación que se mantiene con ese comportamiento desde el año 1980 en adelante.

Figura 7. Anomalías mensuales de temperatura para la estación de Yungay (1950 - 2025)

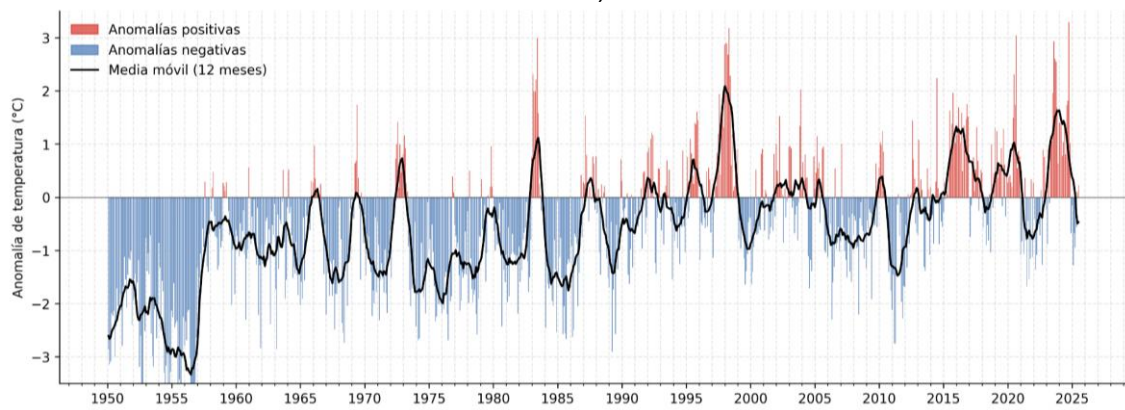


Figura 8. Anomalías mensuales de temperatura para la estación de Saucépampa

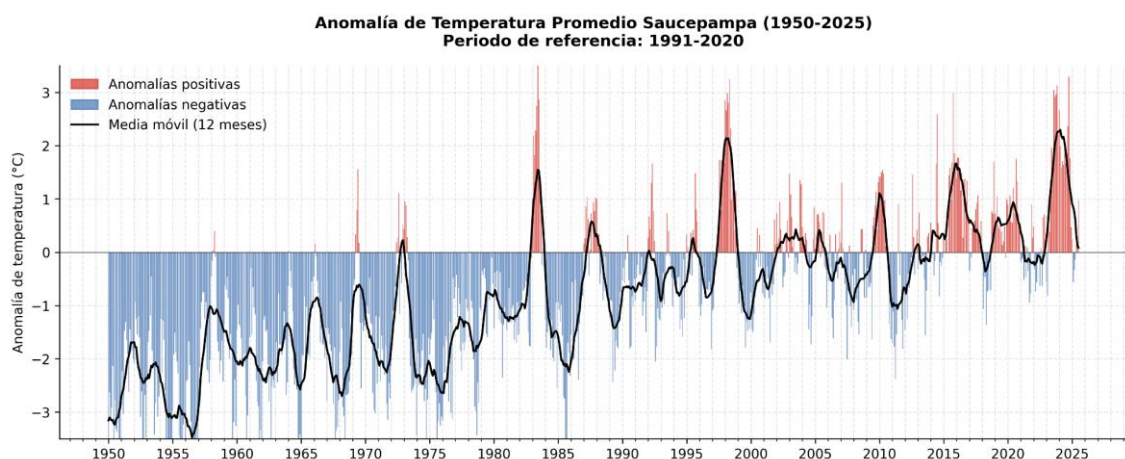


Figura 9. Precipitación mensual: Anomalías y serie de tiempo. Estación Yungay

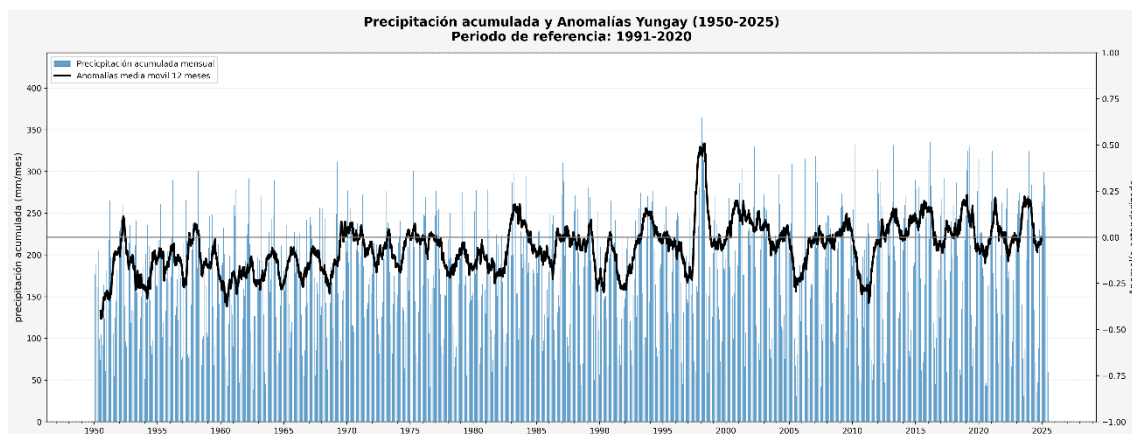
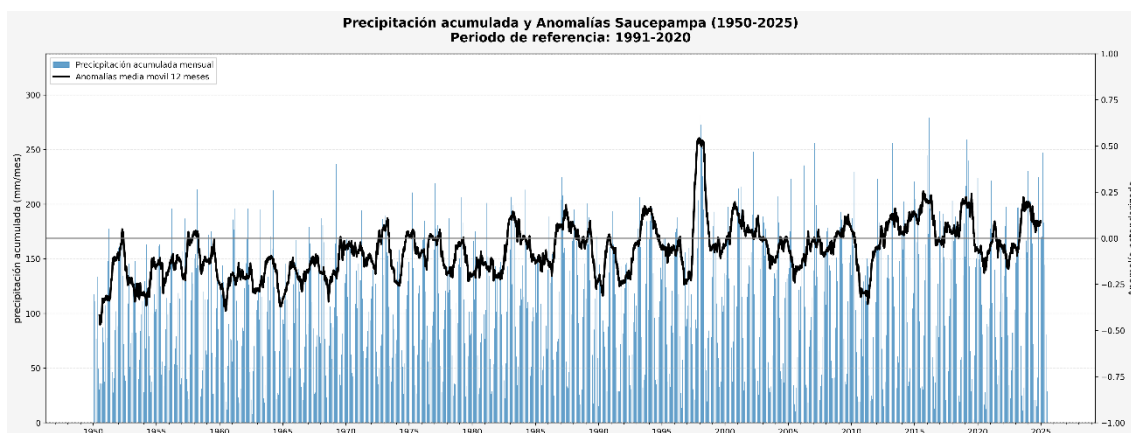


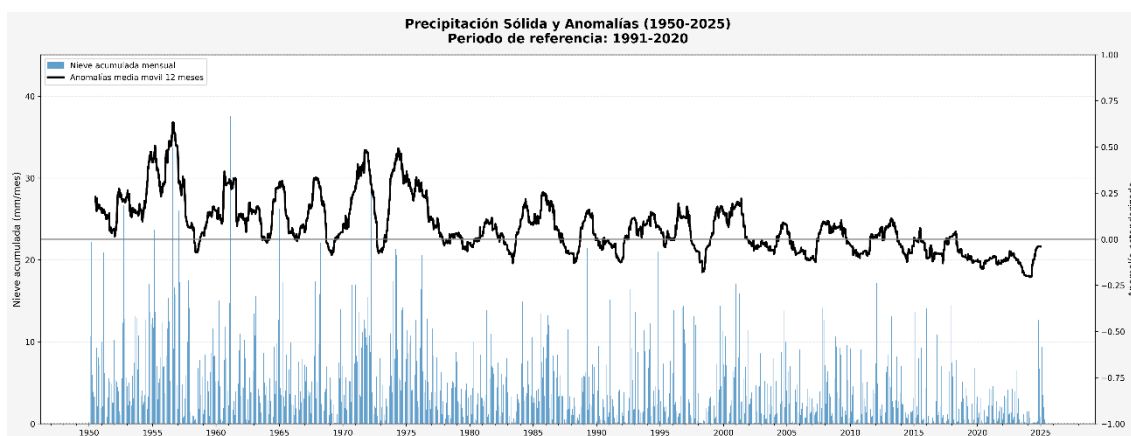
Figura 10. Precipitación mensual: Anomalías y serie de tiempo. Estación Saucapampa



2.3.3 Tendencias de la precipitación sólida

Para el análisis de la tendencia de la precipitación de la precipitación sólida se emplearon las coordenadas de Huascarán Sur (Latitud: -9.121923, Longitud: -77.610735) que se extrajo de los datos NetCDF. Se observa una tendencia a la disminución de precipitación sólida para el punto de análisis cuya tendencia negativa empieza en la década de 1980 en adelante. La tendencia es de decreciente para el periodo de 1950 - 2025. La precipitación líquida presenta una tendencia positiva mientras que la precipitación sólida presenta una tendencia negativa (Figura 11).

Figura 11. Precipitación sólida mensual: Anomalías y serie de tiempo para el nevado Huascarán.



2.4 Relación entre avalanchas de hielo con las variables meteorológicas

Estación Yungay:

La Figura 12 evidencia una correlación entre el aumento de temperatura máxima y la ocurrencia de avalanchas, particularmente en un contexto de baja o nula precipitación. Esto respalda la hipótesis de que los procesos de fusión y debilitamiento estructural del glaciar, exacerbados por el calentamiento atmosférico, juegan un papel clave en el desencadenamiento de avalanchas de hielo en el Huascarán. El seguimiento térmico y meteorológico en zonas glaciares como Yungay resulta esencial para la alerta temprana y prevención de desastres.

Estación Saucerpampa:

La Figura 13 revela que las avalanchas registradas en Saucerpampa se producen en un contexto de temperaturas máximas elevadas y en ascenso, junto con escasez de precipitación, especialmente nieve. Estas condiciones favorecen la fusión acelerada y la pérdida de cohesión estructural en masas de hielo, desencadenando eventos de avalancha. Este patrón coincide con el observado en Yungay, reforzando la necesidad de un monitoreo térmico y pluviométrico para alertas tempranas y prevención en zonas glaciares.

Figura 12. Estación Yungay: Correlación de las avalanchas de hielo con las variables meteorológicas

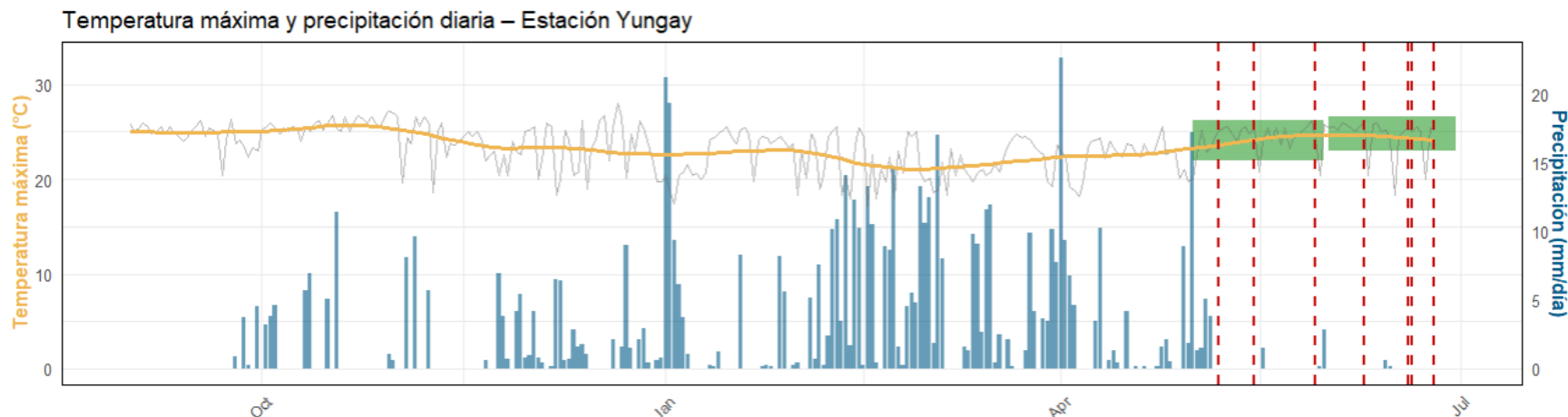
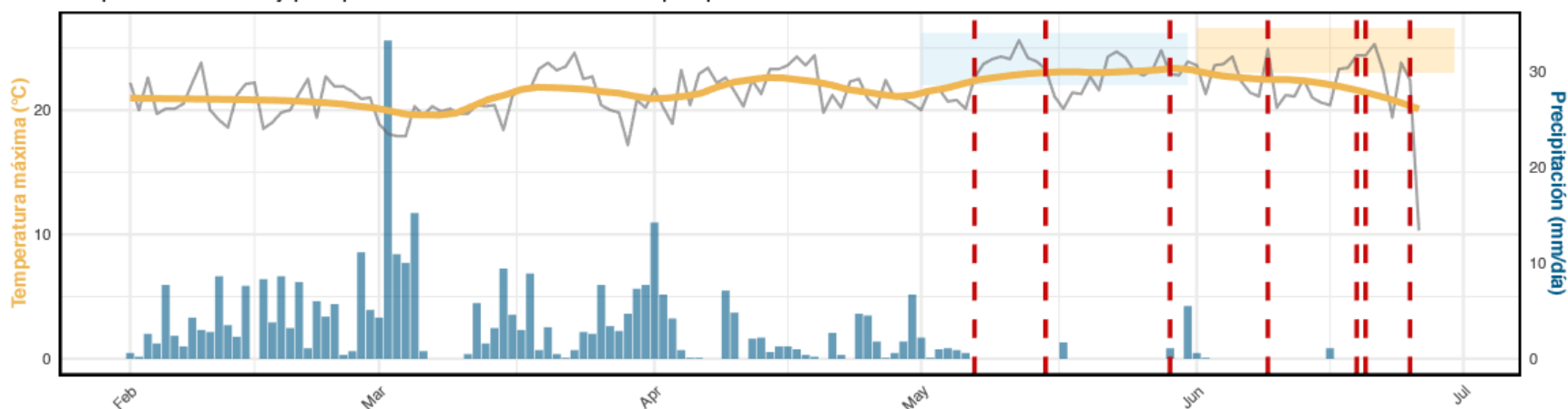


Figura 13. Estación Saucapampa: Correlación de las avalanchas de hielo con las variables meteorológicas
 Temperatura máxima y precipitación diaria – Estación Saucapampa



Fuente: Elaborado por INAIGEM (2025) con datos de SENAMHI.

2.5 Retroceso glaciar: Sistema glaciar Huascarán

En 1962, se reportó una superficie glaciar de 65.6 km², la cual, al año 2020 se ha reducido en un 31.6 %, lo que representa una pérdida de 20.7 km² de su superficie (Figura 14). Según el inventario de glaciares realizado en 1962, se perdieron cuatro glaciares y la altitud mínima pasó de 4201 m s. n. m. a 4231 m s. n. m. en 2020, lo que implica un ascenso de la altitud mínima de 30 metros en 58 años. Mientras que el retroceso lineal promedio en este sistema glaciar fue de 2,7 m/ año, con un mínimo de 1,6 m/año y un máximo de 15.6 m/año (INAIGEM, 2025).

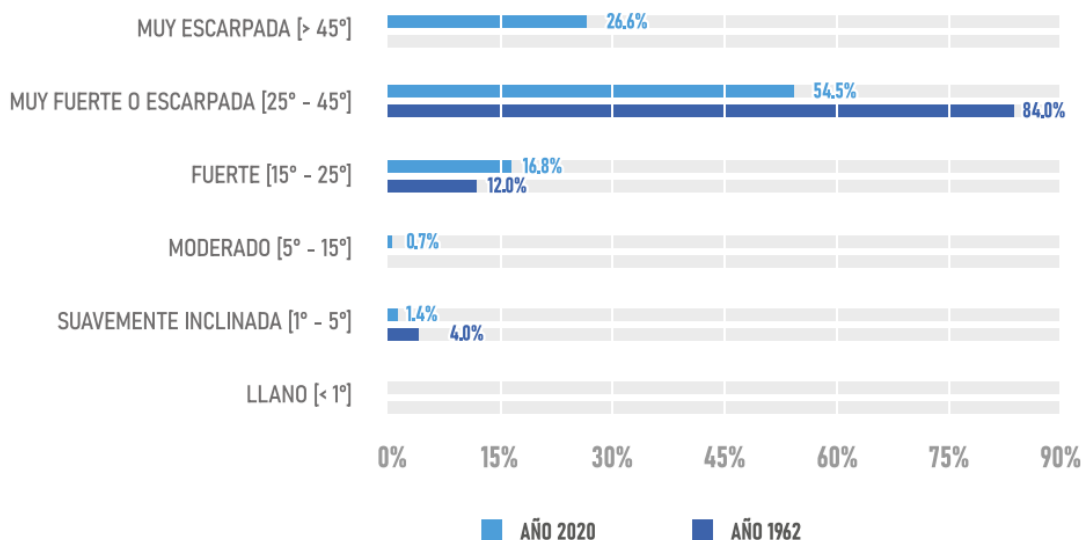
Figura 14. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Huascarán



INAIGEM (2025)

Por otro lado, este sistema ha experimentado un cambio en las pendientes de la superficie de los glaciares que lo conforman: las pendientes muy escarpadas se incrementaron en un 26.6 %, lo cual evidencia que la cantidad de glaciares que podrían generar desprendimiento de hielo y avalanchas en este sistema glaciar, se han incrementado en las últimas seis décadas; mientras que las pendientes suavemente inclinadas disminuyeron en un 2.6 %, lo que indica que el acceso hacia estos glaciares se ha tornado más compleja (Figura 15) (INAIGEM, 2025).

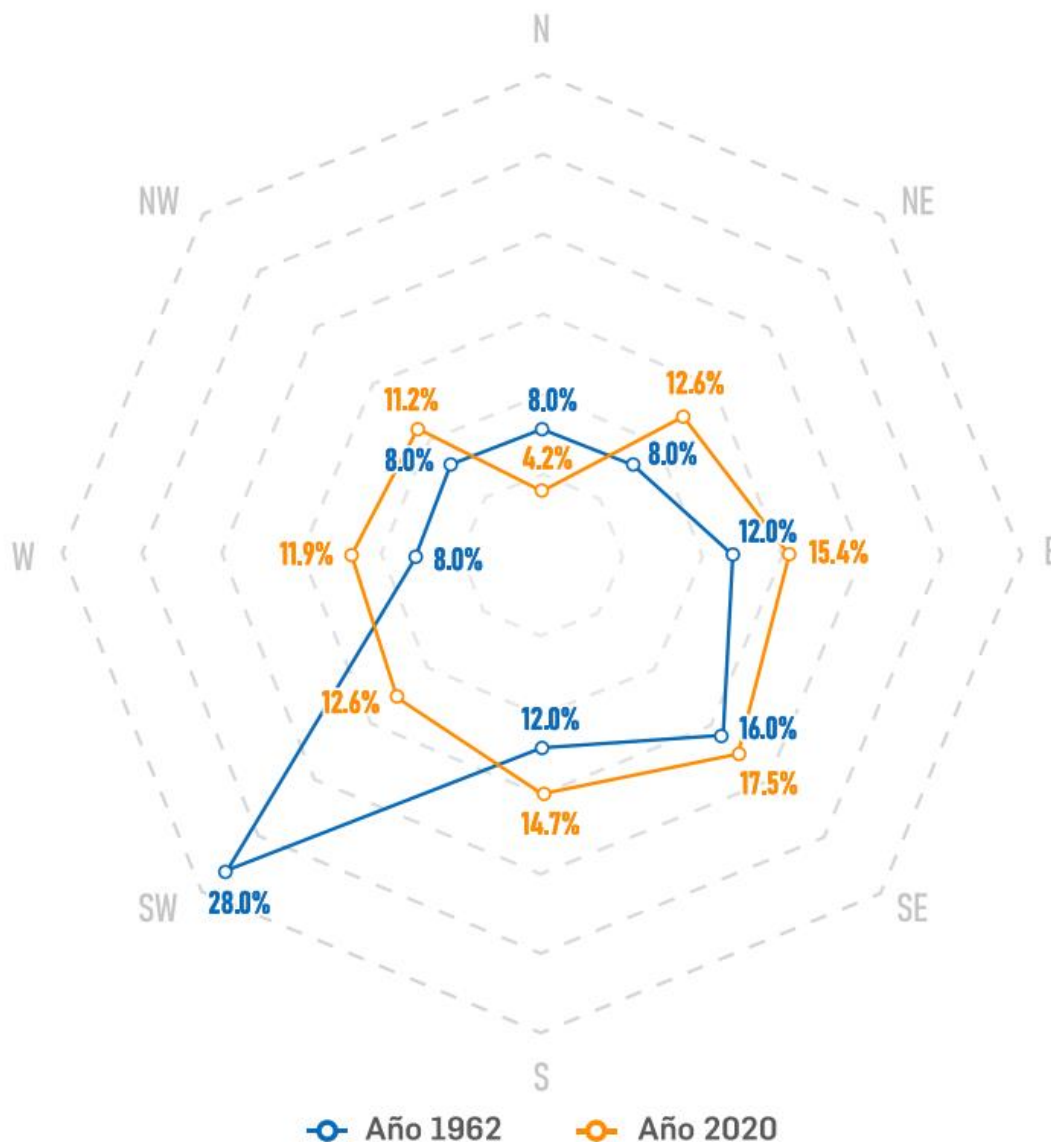
Figura 15. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar



INAIGEM (2025)

Asimismo, la orientación predominante pasó de suroeste en 1962 a sureste en 2020 (Figura 16), este cambio de orientaciones podría estar relacionado a factores particulares tales como cambios en la topografía, cambio en los patrones de acumulación de la nieve, entre otros factores que deben ser abordados en profundidad (INAIGEM, 2025).

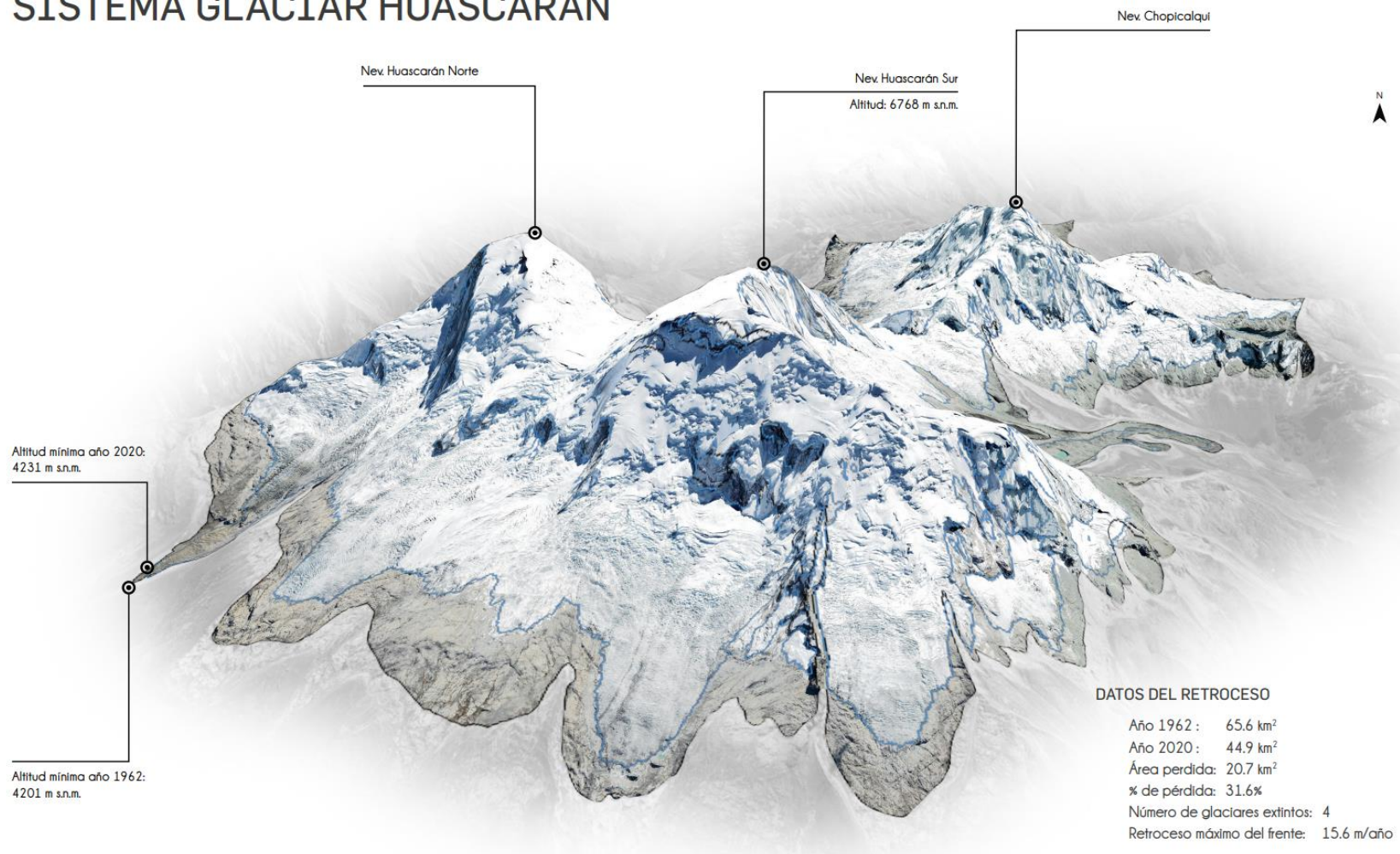
Figura 16. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar



INAIGEM (2025)

Figura 17. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Huascarán

SISTEMA GLACIAR HUASCARÁN



INAIGEM (2025)

3 METODOLOGÍA

3.1 Información física

3.1.1 Modelo digital de elevación

Se utilizó un modelo digital de elevación (DEM) con resolución espacial de 2.5 metros, obtenido a partir de imágenes satelitales SPOT y proporcionado por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA). Adicionalmente, para la zona de Tinco se empleó un DEM generado mediante fotogrametría con dron, el cual presenta una resolución espacial de 0.25 metros, permitiendo un mayor nivel de detalle en el análisis topográfico.

3.1.2 Datos geotécnicos de campo

En los materiales que conforma el área de estudio se realizaron ensayos de densidad *in situ* mediante el método de cono de arena, permitiendo determinar la densidad del terreno en sus condiciones naturales. Asimismo, se extrajeron muestras de suelos representativas de los materiales inconsolidados, para ser estudiadas posteriormente en el Laboratorio de Investigación en Geotecnia del INAIGEM.

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

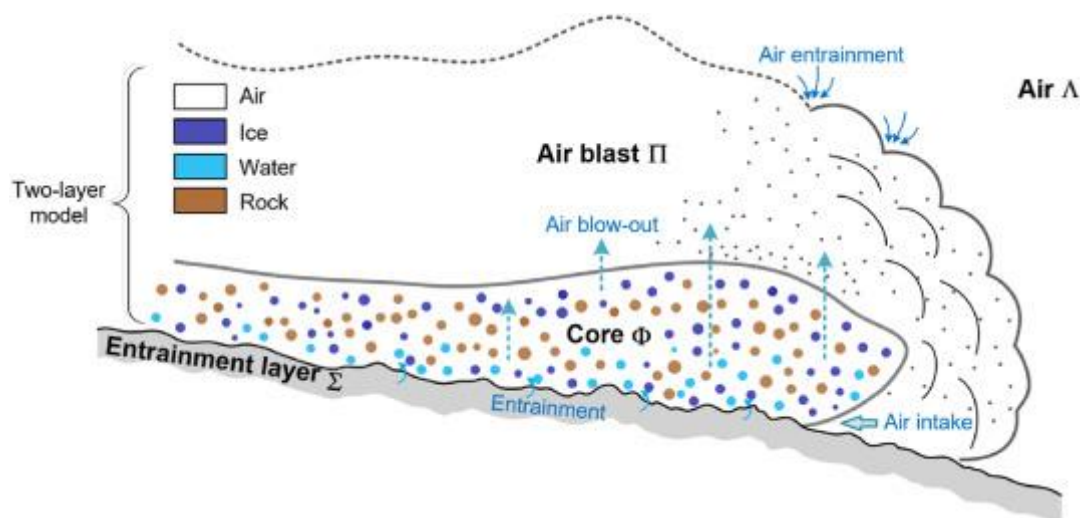
El objetivo de dichos ensayos es conocer la distribución del tamaño de las partículas del suelo y sus propiedades físicas, cuyos resultados servirán de insumo para los modelamientos de flujos, caracterización de los materiales susceptibles al arrastre, así como muestras para estudios y/o investigaciones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

3.3 Simulación de avalancha

El programa RAMMS se utilizó para analizar el comportamiento de desprendimiento de una potencial avalancha de roca-hielo del glaciar Raimondi 3 y el aluvión aguas abajo. Esta herramienta de modelación emplea un modelo con dos capas para calcular la dinámica de la masa deslizante y las ráfagas de aire (Figura 18).

El modelo incorpora la compleja interacción (entre roca, hielo, agua y aire), lo que permite simular con eficacia avalanchas de roca-hielo junto con las ráfagas de aire que estas generan. Características que logran superar las limitaciones de los métodos CFD tradicionales, los cuales demandan altos recursos computacionales y suelen omitir factores como la suspensión de polvo en el aire y el arrastre superficial. En este contexto, el software RAMMS se utiliza para analizar la dinámica y el potencial destructivo asociado a las explosiones de aire provocadas por avalanchas de roca-hielo (Yin et al. 2025).

Figura 18. Diagrama esquemático del modelo RAMMS para el cálculo de las ráfagas de aire y avalanchas de roca-hielo



Fuente: Zhuang et al. (2024)

Para entrenar el modelo, se tomó en consideración los eventos de 1962 y 1970. Empleando los parámetros del modelo reológico de Voellmy, empleando un coeficiente de fricción (μ) de 0,03 y un coeficiente de turbulencia (ξ) de 1000 m/s² y para la avalancha de rocas y para el flujo de detritos ladera abajo del glaciar, se utilizó una reología de Voellmy con un coeficiente de fricción (μ) de 0.02 y un coeficiente de turbulencia (ξ) de 500 m/s². Finalmente, la concentración volumétrica de sólidos se estimó para los eventos de 1962 y 1970 de 48 % y 37 % respectivamente (Según el planeamiento de Evans et al., 2009).

3.4 Planteamiento de escenarios

El planteamiento de los escenarios por desprendimiento del glaciar potencialmente inestable como avalanchas de roca-hielo aguas abajo del nevado Huascarán Sur, son tres: Escenario grande, escenario mediano y escenario pequeño, siendo cada escenario diferente en cuanto al volumen inicial de desprendimiento. Además de ello considera los procesos propios de erosión de materiales susceptibles y depositación de los de acuerdo con la intensidad de cada escenario, a continuación, se detallan dichos escenarios.

- **Escenario grande:** Considera el desprendimiento del volumen total de glaciar potencialmente inestable combinado con el volumen de roca (escenario que considera los patrones similares de los eventos de 1962 y 1970), formando inicialmente una avalancha de roca-hielo es caracterizado por ser un flujo destructivo y aguas abajo el desarrollo de un flujo de detritos o aluvión.
- **Escenario mediano:** En este escenario solamente se considera el desprendimiento del 20 % del volumen total del glaciar potencialmente inestable combinado con un volumen de roca.
- **Escenario pequeño:** En este escenario solamente se considera el desprendimiento del 10 % total del glaciar potencialmente inestable combinado con un volumen de roca.

3.5 Evaluación del peligro

La estratificación de los niveles del peligro por aluvión se calculó en función de la probabilidad de ocurrencia de un escenario y la intensidad de esta (Figura 19):

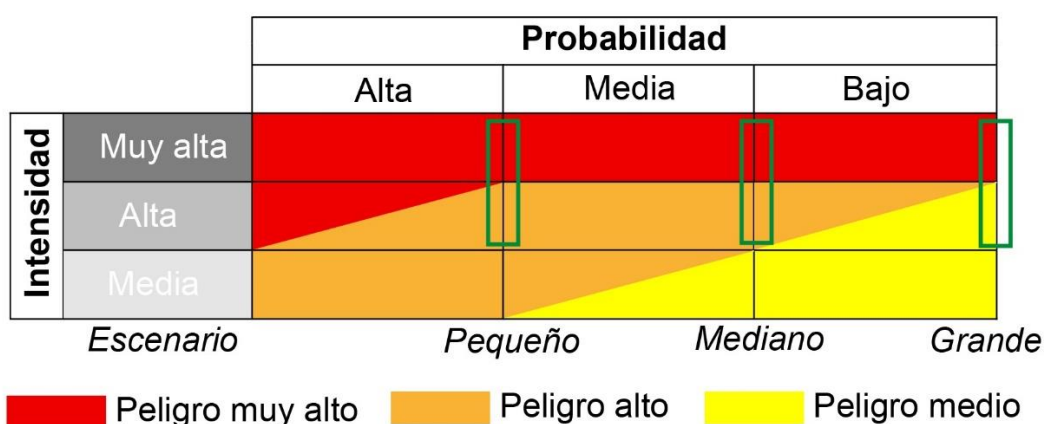
$$P = f(I, p)$$

Donde:

I: es la intensidad

p: es la probabilidad

Figura 19. Niveles del peligro en función de la intensidad y probabilidad



Este enfoque permite identificar áreas expuestas al peligro de aluvión en base a la probabilidad de ocurrencia de un escenario, siendo la más probable el escenario pequeño y la menos probable el escenario de grande.

3.5.1 Probabilidad

La probabilidad se refiere a una evaluación cualitativa basada en criterios técnicos, considerando la dinámica del frente glaciar, antecedentes de eventos y el volumen potencial de desprendimiento. Se han considerado tres escenarios de avalancha de roca-hielo, definidos en función del volumen inicial de desprendimiento: escenario pequeño, escenario mediano y escenario grande. De estos, el escenario pequeño se considera el más probable, mientras que el escenario grande representa el evento menos probable, debido a su mayor volumen y menor frecuencia estimada de ocurrencia.

3.5.2 Intensidad

La intensidad del aluvión se define en dos variables: la primera es la velocidad máxima de flujo y la segunda es la altura máxima de flujo. De acuerdo con lo establecido por (GAPHAZ, 2017) categoriza la intensidad del peligro por aluvión en tres clases: Alta, media y baja (Figura 20).

- **Intensidad muy alta:** Las personas y sus medios de vida estarían amenaza de lesiones dentro sus viviendas. Con posibles daños severos o destrucción a las infraestructuras y edificaciones.
- **Intensidad alta:** Las personas y sus medios de vida estarían amenaza de lesiones fuera de sus viviendas, pero enfrentan niveles bajos de amenaza dentro de sus viviendas. Se esperan daños ligeros a las a las infraestructuras y edificaciones.
- **Intensidad media:** Las personas y sus medios de vida estarían amenazados ligeramente, dentro y fuera de sus viviendas. Se espera un daño superficial a infraestructuras y edificaciones.

Figura 20. Intensidad del peligro

		Velocidad máxima (m/s)		
		Muy alta (> 1 m/s)	Alta (< 1 m/s)	Media
Altura máxima de flujo (m)	Muy Alta (> 1 m)	Intensidad muy alta	Intensidad alta	-
	Alta (< 1 m)	Intensidad alta	Intensidad alta	-
	Media	-	-	-

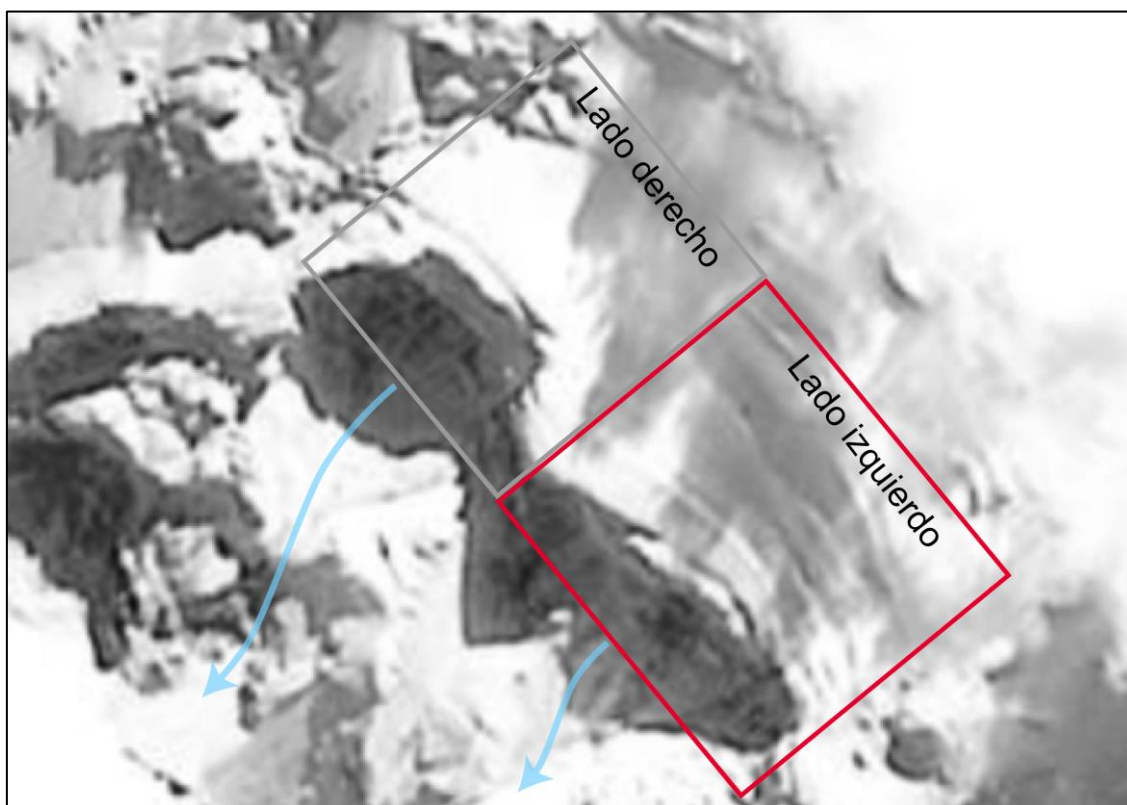
4 RESULTADOS

4.1 Glaciar potencialmente inestable

4.1.1 Dinámica del glaciar potencialmente inestable

El glaciar potencialmente inestable ubicado a una elevación de 6106 m s.n.m y cerca del pico Sur del Huascarán (6768 m s.n.m) y presenta una dinámica caracterizada por desprendimientos fraccionados de bloques de hielo los cuales se fluyen aguas abajo en forma de avalanchas de hielo. Para un análisis detallado se clasificaron en dos zonas: Lado izquierdo y lado derecho del glaciar potencialmente inestable (Figura 21).

Figura 21. Zonificación del glaciar potencialmente inestable

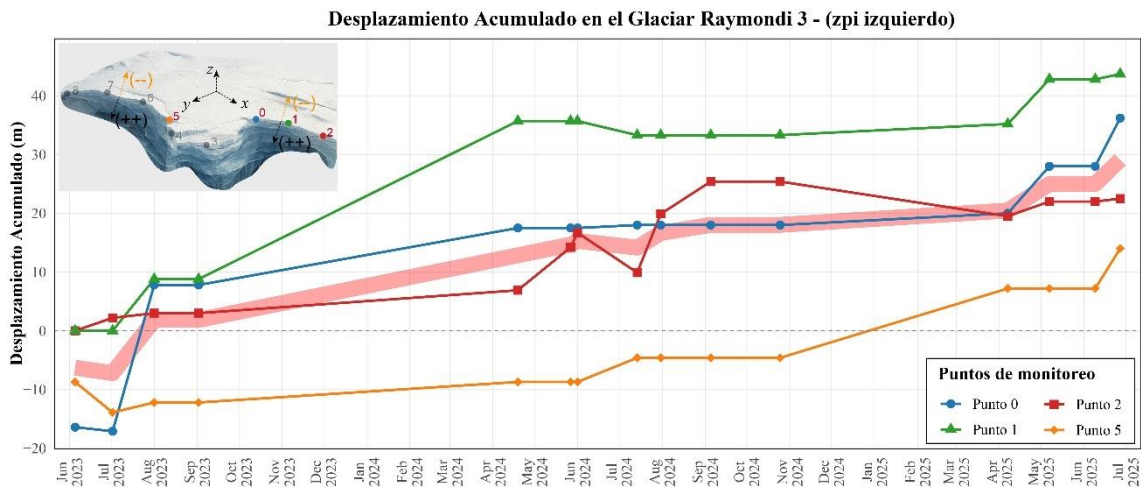


Nota. El recuadro en color rojo representa al área con desplazamiento valle abajo y el recuadro color gris representa a l área que presenta mayor desprendimiento fraccionado del análisis del periodo 2023 – 2025. Fuente Planet Scope, 2025.

Dinámica del lado izquierdo del glaciar potencialmente inestable:

Durante el periodo 2023 – 2025 una parte de este glaciar potencialmente inestable (lado izquierdo) (Figura 22) muestra un desplazamiento horizontal en dirección valle abajo, alcanzando un valor acumulado de hasta 42 metros durante el periodo de análisis comprendido entre mayo de 2023 y junio de 2025. Este desplazamiento valle abajo se puede traducir en términos de características de inestabilidad del glaciar potencialmente inestable, debido a su exposición a pendientes pronunciadas que afecta su equilibrio y cambios de la interfaz roca-glaciar.

Figura 22. Desplazamiento en el lado izquierdo del glaciar potencialmente inestable

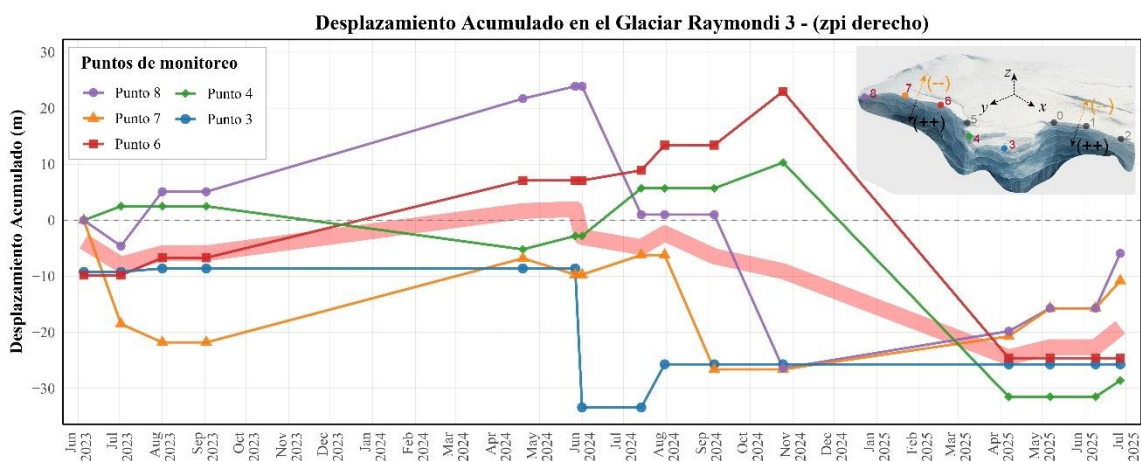


Nota. Análisis con las imágenes ópticas de Planet Scope, 2025

Lado derecho del glaciar potencialmente inestable:

En la Figura 23 se muestra el glaciar potencialmente inestable, esta parte del glaciar muestra un desplazamiento hasta junio de 2024, a partir de esta fecha se observa una pérdida progresiva del frente glaciar principalmente debido a desprendimientos fraccionados. Estos desprendimientos inducidos por la presencia de fracturas transversales ubicadas en el frente glaciar y el derretimiento de la nieve y su infiltración en dichas fracturas generan condiciones de inestabilidad. La pérdida por desprendimientos en este lado del glaciar se registra un valor máximo de 28 metros en dirección valle arriba, para el periodo de análisis.

Figura 23. Desplazamiento en el lado derecho del glaciar inestable

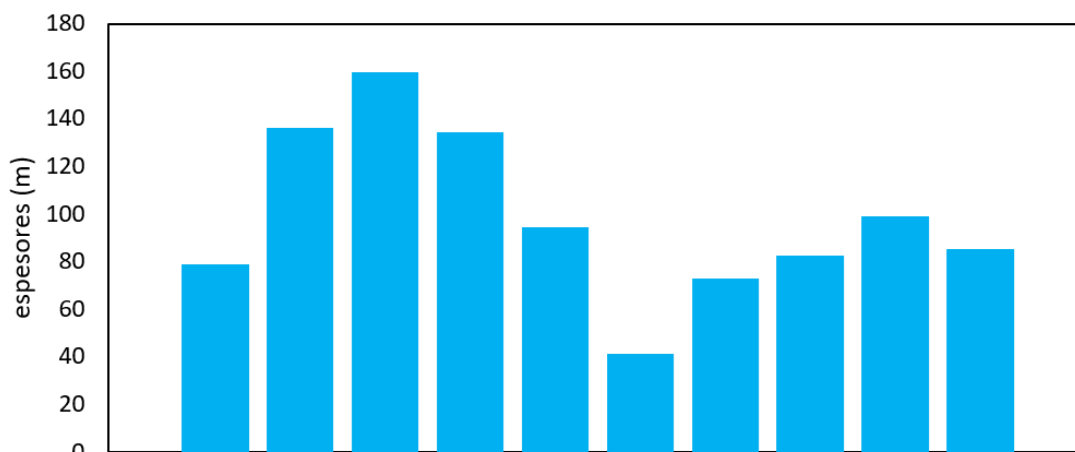


Nota. Análisis con las imágenes ópticas de Planet Scope, 2025

4.1.2 Volumen de la zona potencialmente inestable

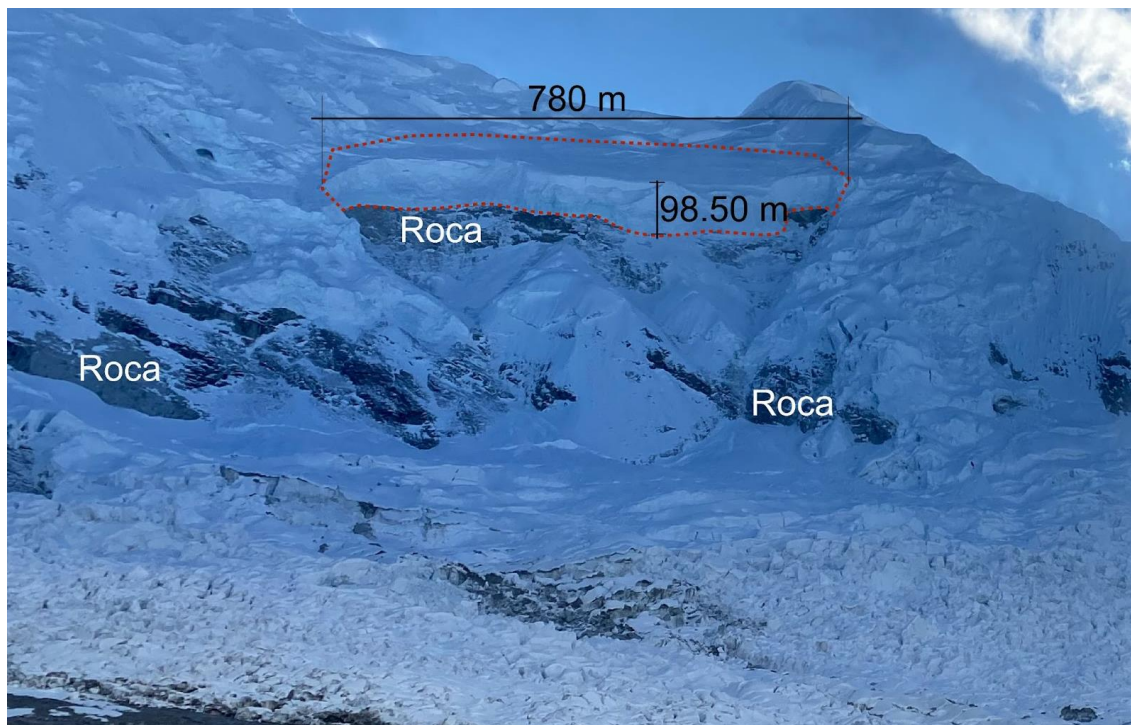
La zona potencialmente inestable identificada en el glaciar Raimondi 3 presenta un parámetro de espesor heterogéneo según la Figura 24, con un espesor promedio de 98.50 m, una superficie de 285 237.40 m² y con un volumen aproximado de 28,000,000 m³ (Figura 25).

Figura 24. Espesores del glaciar potencialmente inestable



Nota. Espesor en 10 puntos ubicados en el frente del glaciar potencialmente inestable

Figura 25. Espesor promedio y largo del glaciar potencialmente inestable

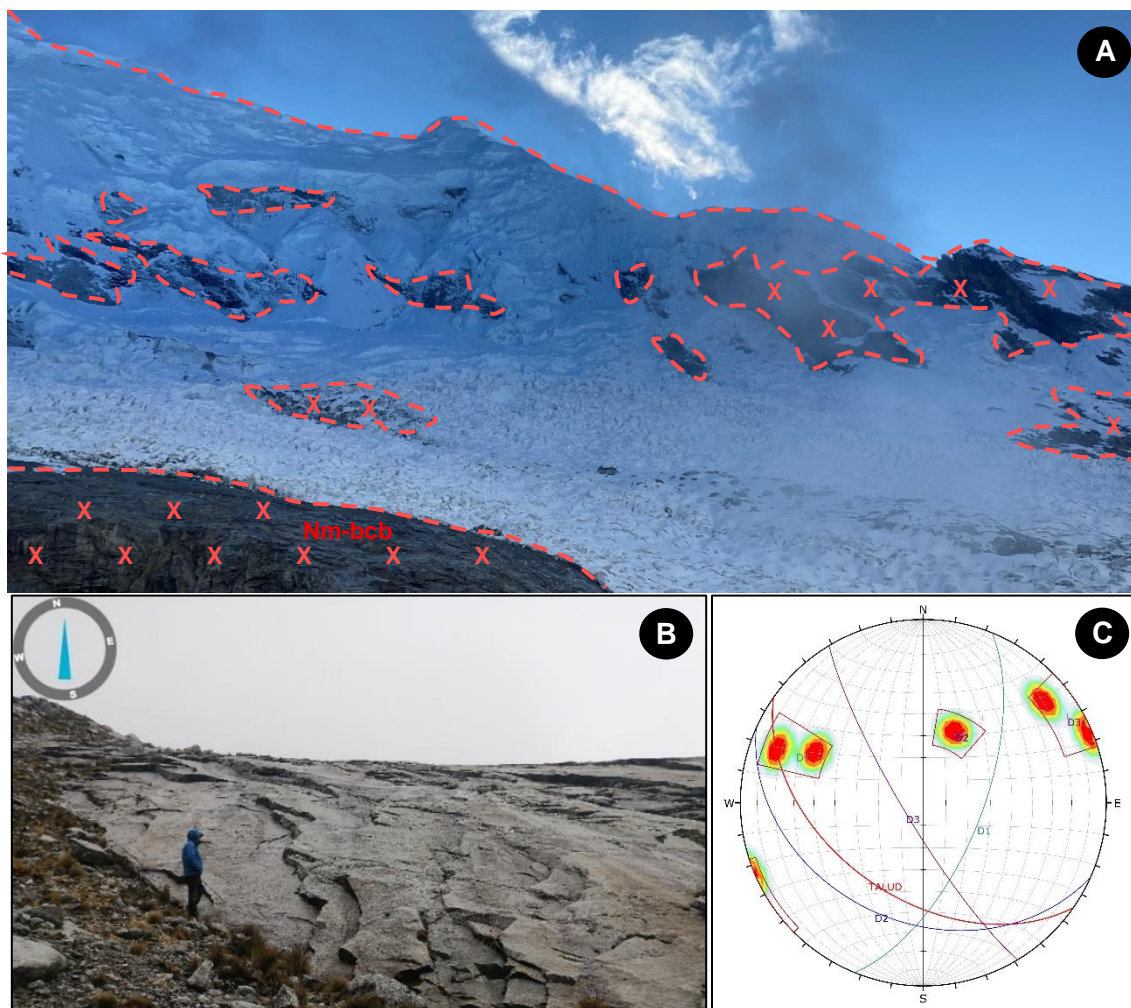


4.1.3 Basamento de roca debajo del glaciar

El Nevado Huascarán Sur está constituido litológicamente por rocas ígneas intrusivas pertenecientes al Batolito de la Cordillera Blanca (Nm-bcb), conformando un relieve montañoso, con cobertura de hielo y nieve en las zonas de mayor altitud. Esta unidad rocosa se encuentra expuesta a la continua erosión glaciar; lo que se evidencia en el pulimiento que presenta actualmente esta superficie rocosa. Si bien gran parte de las zonas con mayor altitud están cubiertas por hielo, se observan sectores con pendientes verticales donde la roca se encuentra expuesta, evidenciándose su litología y fracturamiento.

Dicha unidad rocosa presenta una superficie ligeramente rugosa, mostrando pulimiento producto de la actividad glaciar en los sectores más cercanos a la cobertura de hielo. Estructuralmente presenta un sistema de diaclasamiento en tres direcciones: D1 ($64^{\circ}/112^{\circ}$), D2 ($35^{\circ}/204^{\circ}$) y D3 ($81^{\circ}/239^{\circ}$), siendo los sistemas D2 y D3 los que presentan orientaciones preferentes en dirección NW-SE, siguiendo el patrón de la falla regional de la Cordillera Blanca (Figura 26).

Figura 26. Afloramiento rocoso del Nevado Huascarán Sur.



Nota de Figura 26. A) Vista del afloramiento rocoso que conforma el Nevado Huascarán Sur, el cual está expuesto en determinadas zonas presentando pendientes casi verticales. B) Exposición

del afloramiento rocoso en contacto cercano al glaciar, con presencia de diaclasamiento. C) Diagrama de familias identificadas, identificados en el análisis estereográfico del talud.

Cabe mencionar que dicha unidad rocosa, presenta un sistema de vetas de cuarzo que intruyen a la roca por los fracturamiento que esta presenta, formando estructuras con longitudes mayores a 10 m y espesores variables desde 1 cm a 30 cm (Figura 27).

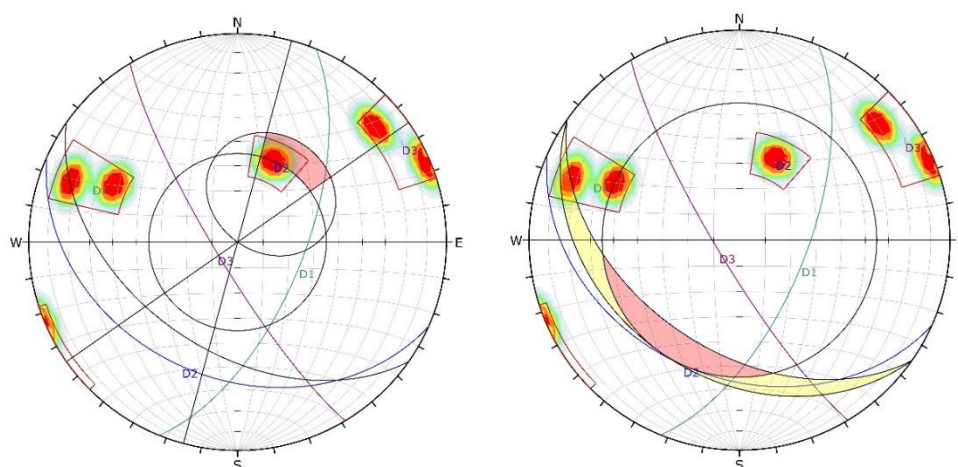
Figura 27. Presencia de vetas de cuarzo en el afloramiento rocoso



La identificación de las principales familias de discontinuidades en el afloramiento rocoso, con la proyección del talud a evaluar, permite realizar el análisis de estabilidad de dicho talud mediante el análisis cinemático para roturas tipo planar, cuña y vuelco. Para lo cual se consideró una proyección de la inclinación del nevado Huascarán sur, utilizando un perfil topográfico a partir del procesamiento de una imagen SPOT con resolución de 2.5m, obteniendo para dicho talud un buz/dir buz de 47°/215°.

A su vez se consideró para la granodiorita que conforma el Batolito de la Cordillera Blanca, el valor del ángulo de fricción de 35° (Hoek y Bray, 1999), siendo este un valor típico para rocas ígneas duras. Obteniendo con el análisis cinemático los siguientes resultados (Figura 28):

Figura 28. Análisis cinemático del talud. A) Rotura tipo planar, B) Rotura tipo cuña.



Según los resultados obtenidos, se identificó la probabilidad de rotura planar, siendo que los polos de la familia D2 se ubican en la zona crítica de rotura debido a las características que presenta las discontinuidades y la dirección de buzamiento del talud (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de resultados del análisis cinemático

Ventana Estructural	Tipo de Rotura		
	Planar	Cuña	Por vuelco
Nevado Huascarán Sur	SI	NO	NO

Asimismo, es necesario mencionar que, si bien el análisis cinemático no identificó la probabilidad de ocurrencia del tipo de rotura en cuña, esto está limitado en gran parte por el valor del ángulo de fricción, por lo que la obtención del valor real de dicho factor podría determinar de manera más precisa su probabilidad de ocurrencia.

4.2 Identificación de las zonas de erosión

La zona de estudio está conformada por afloramientos rocosos y depósitos inconsolidados distribuidos a lo largo de los márgenes de los ríos Mancos y Buin, los cuales presentan características físicas y de resistencia variables, lo que condiciona el grado de arrastre de sus materiales cuando es afectado de forma directa por un movimiento en masa (Figura 29).

4.2.1 Zona no erosiva (Zona H1 y H3)

Corresponde al relieve montañoso y colinoso emplazado en la parte media y alta de la zona de estudio, constituido litológicamente por unidades rocosas que varían desde una litología intrusiva tipo granodiorita, sedimentaria tipo areniscas y volcánicas de tobas blancas. Al ser un material rocoso, estos se presentan de forma compacta y no son susceptibles al arrastre. Por ende, se le considera como una zona no erosiva.

4.2.2 Zona ligeramente erosiva (Zona H5, H7 y H8)

Corresponde a la zona conformada por los depósitos inconsolidados aluviales y coluviales situados en la parte media del área de estudio, los cuales presentan a su vez una cobertura orgánica producto de la vegetación, con un espesor promedio de 0.5 m, la cual es fácilmente erosionable y susceptibles al arrastre.

4.2.3 Zona moderadamente erosiva (Zona H6 y H9)

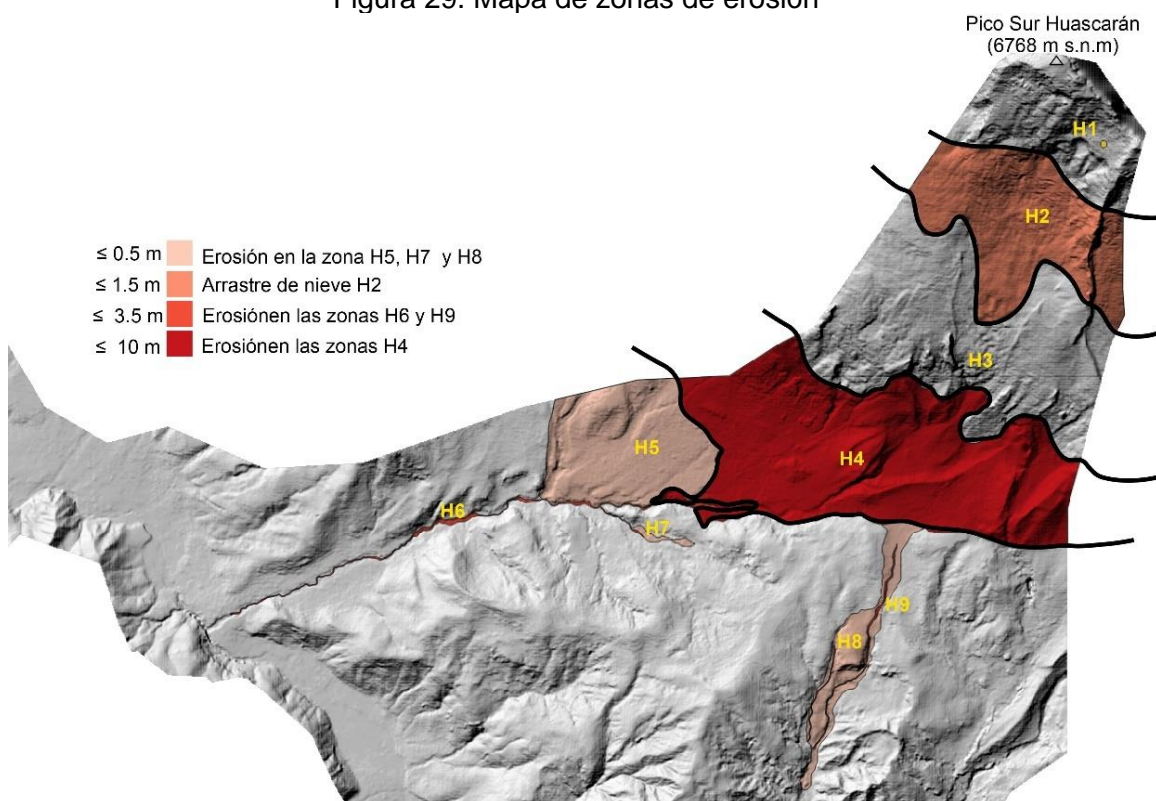
La acción dinámica de los ríos forman depósitos fluviales emplazados en su cauce actual y formando terrazas fluviales en sus márgenes, siendo estos materiales fácilmente erosionables, debido a su baja consistencia y presencia de gravas redondeadas en una matriz arenosa, lo cual le da una baja resistencia por su falta de material cementante en su matriz. Dichos materiales presentan un espesor promedio de 3.5 m, lo cual se vería removido ante la ocurrencia de un aluvión.

4.2.4 Zona fuertemente erosiva (Zona H4)

En la parte alta del área de estudio se emplazan depósitos glaciáricos en forma de morrenas y rellenando el valle glaciario, los cuales son materiales inconsolidados con poca presencia de finos y una densidad de 2.10 gr/cm³. Estos materiales se encuentran

erosionados por el cauce actual del río, presentando taludes casi verticales, a su vez presentan una cobertura de suelo orgánico de unos 0.60 m. Por sus características físicas y de resistencia, y su ubicación cercana al origen del aluvión, en donde la fuerza de impacto del flujo es más fuerte por el cambio de pendiente, se considera a este material fuertemente erosionable con un espesor de material arrastrado de 10 m.

Figura 29. Mapa de zonas de erosión



4.3 Resultados de laboratorio

En síntesis, se extrajeron 6 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 subcapítulo 4.2. La ubicación de dichos puntos de muestreo se indica en la siguiente tabla (Tabla 3):

Tabla 3. Ubicación de las muestras de suelos ensayadas.

N°	Fecha	Muestra	Coordenadas UTM (18)		
			Este	Norte	Altitud
1	16/06/25	250616-MS-HU01	210959	8984719	3548
2	16/06/25	250616-MS-HU02	209969	8984296	3326
3	17/06/25	250616-MS-HU03	208519	8984349	3117
4	17/06/25	250616-MS-HU04	204777	8984093	2748
5	18/06/25	250616-MS-HU05	211324	8983314	3512
6	18/06/25	250616-MS-HU06	210617	8981933	3329

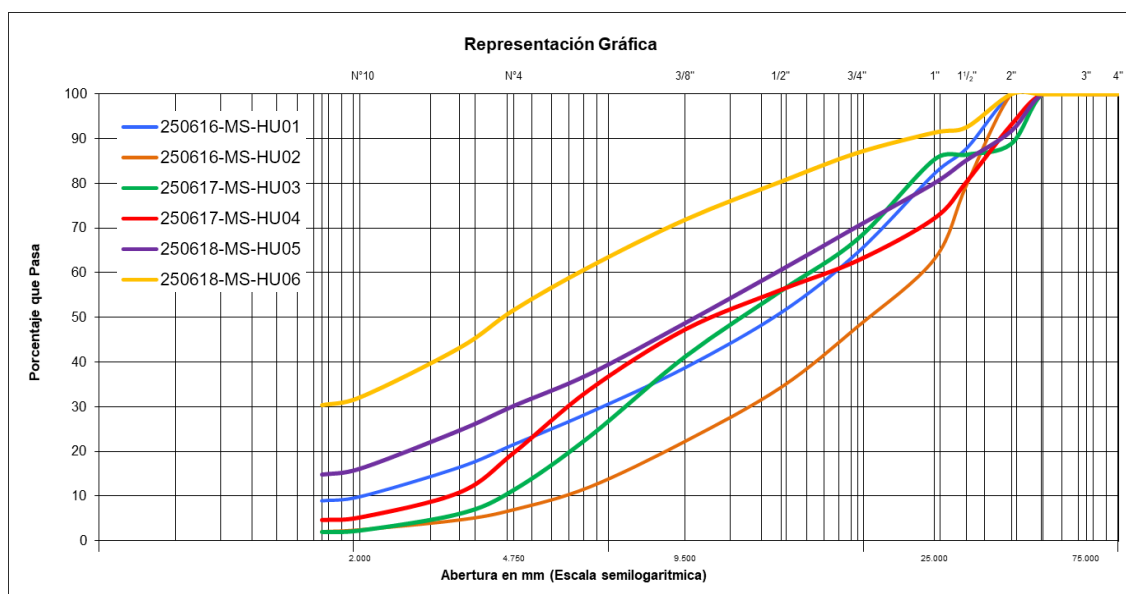
Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en las muestras de suelos, nos permite obtener su clasificación, distribución porcentual de granos, contenido de humedad, límites de plasticidad y densidad natural, determinando las características físicas que presentan dichos materiales y los depósitos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

Tabla 4. Propiedades físicas de los suelos

N°	Muestra	Granulometría (%)			Humedad (%)	Límites de Atterberg			Densidad húmeda (gr/cm ³)	Densidad seca (gr/cm ³)	Clasificación SUCS	
		Grava	Arena	Finos		LL	LP	IP				
1	250616-MS-HU01	48.9	42.1	8.9	5.71	NP	NP	NP	2.09	1.98	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena
2	250616-MS-HU02	65.7	32.3	2.0	2.02	NP	NP	NP	2.11	2.06	GW	Grava bien graduada con arena
3	250617-MS-HU03	44.1	53.9	2.0	4.12	NP	NP	NP	1.80	1.73	SP	Arena mal graduada con grava
4	250617-MS-HU04	43.9	51.6	4.6	1.47	NP	NP	NP	-	-	SP	Arena mal graduada con grava
5	250618-MS-HU05	39.4	45.9	14.8	8.57	NP	NP	NP	2.02	1.86	SM	Arena limosa con grava
6	250618-MS-HU06	19.5	50.0	30.4	5.07	27.6	22.2	5.4	1.80	1.71	SM	Arena limosa con grava

Asimismo, las curvas granulométricas obtenidas del análisis por tamizado son una representación gráfica que muestra la distribución del tamaño de las partículas en una muestra de suelo, siendo una herramienta esencial para caracterizar los materiales granulares, así como su grado de uniformidad o gradación. En las 6 muestras de suelos ensayados, las curvas son ligeramente planas, lo que indica una distribución variada en los tamaños de sus partículas. Siendo las muestras 250616-MS-HU02 y 250618-MS-HU05 suelos bien graduados porque presentan curvas sin sobresaltos, a diferencia de las restantes cuyas curvas presentan discontinuidades o brechas, característicos de suelos mal graduados (Figura 30).

Figura 30. Resumen de las curvas granulométrías 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/cm³ y una consistencia media, con un grado de erosión alta, representando a la zona de erosión H4 (Tabla 4).

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 (Tabla 4).

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 al suelo, representando a la zona de erosión H5, H7 y H8 (Tabla 4).

4.4 Simulación de los escenarios

Los resultados de las simulaciones de avalancha de roca-hielo se muestran en la tabla 2. El tiempo de simulación del modelo RAMMS fue de 1500 segundos. Los tres escenarios llegan hasta Mancos, mientras solo el escenario grande llega hasta Tinco. Los volúmenes considerados son los siguientes, el escenario grande considera un volumen de 28,000,000 m³ (100 % del volumen del glaciar inestable), el escenario medio considera 5,600,000 m³ (20 % del volumen total del glaciar inestable) y el escenario pequeño considera 2,800,000 m³ (10 % del volumen total del glaciar inestable), además considera la fracción de desprendimiento de roca para cada escenario 1/3 del volumen del glaciar (Figura 31).

La Figura 31, Figura 32 y Figura 33 presenta los resultados de simulación numérica (avalancha de roca-hielo y aluvión) para los tres escenarios evaluados. En el escenario pequeño, se observan alturas de flujo de hasta 45 m y velocidades máximas de 71 m/s. El escenario mediano alcanza una altura máxima de flujo de 64 m y una velocidad de hasta 90 m/s. Finalmente, el escenario grande muestra alturas de flujo de hasta 178 m, con velocidades que alcanzan los 118 m/s. Estos valores reflejan el incremento progresivo de cada parámetro hidráulico del evento de avalanchas de roca-hielo, seguido del aluvión conforme aumenta la escala del escenario simulado.

Figura 31. Simulación de escenarios

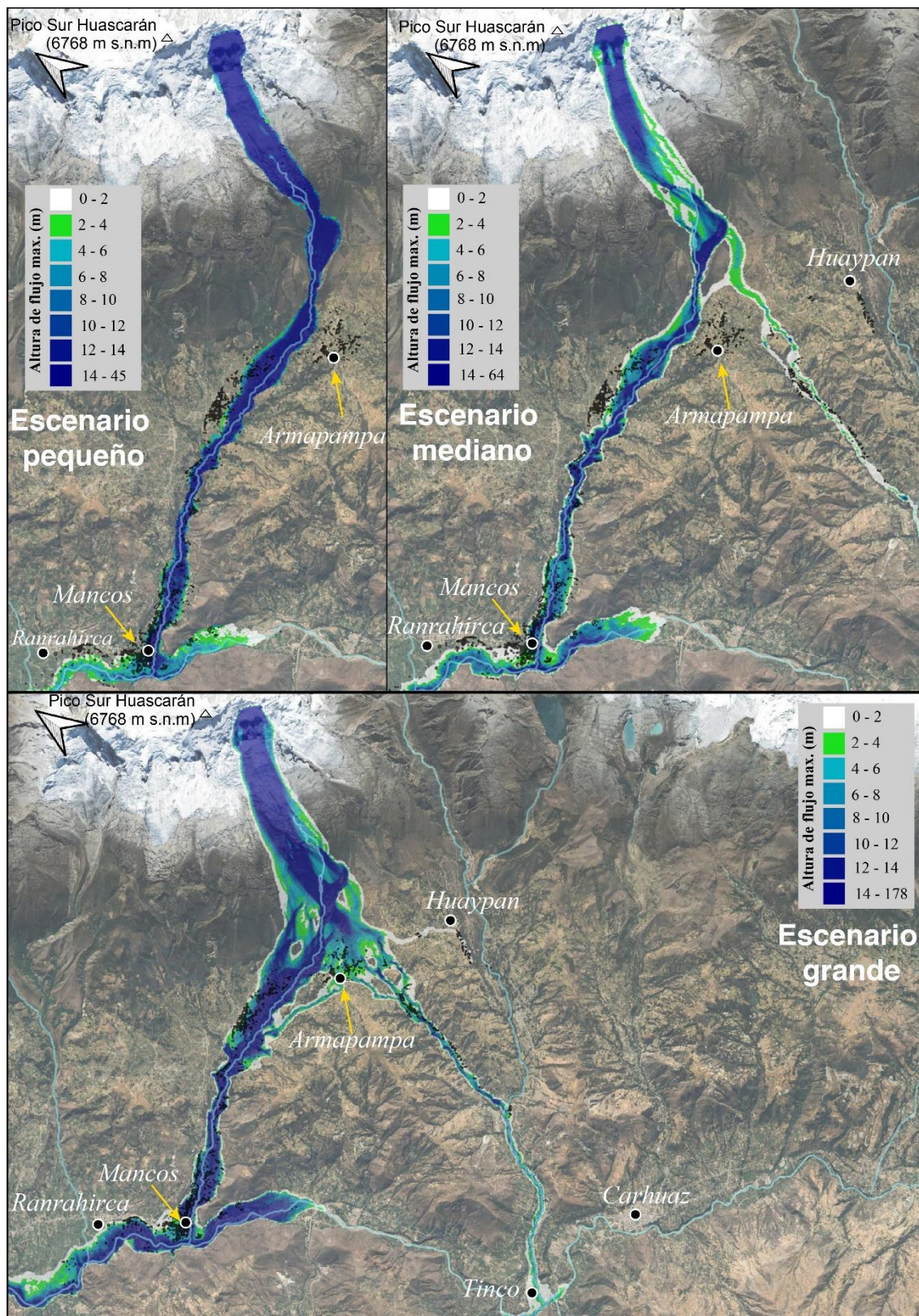


Figura 32. Simulación de escenarios, según velocidad de flujo

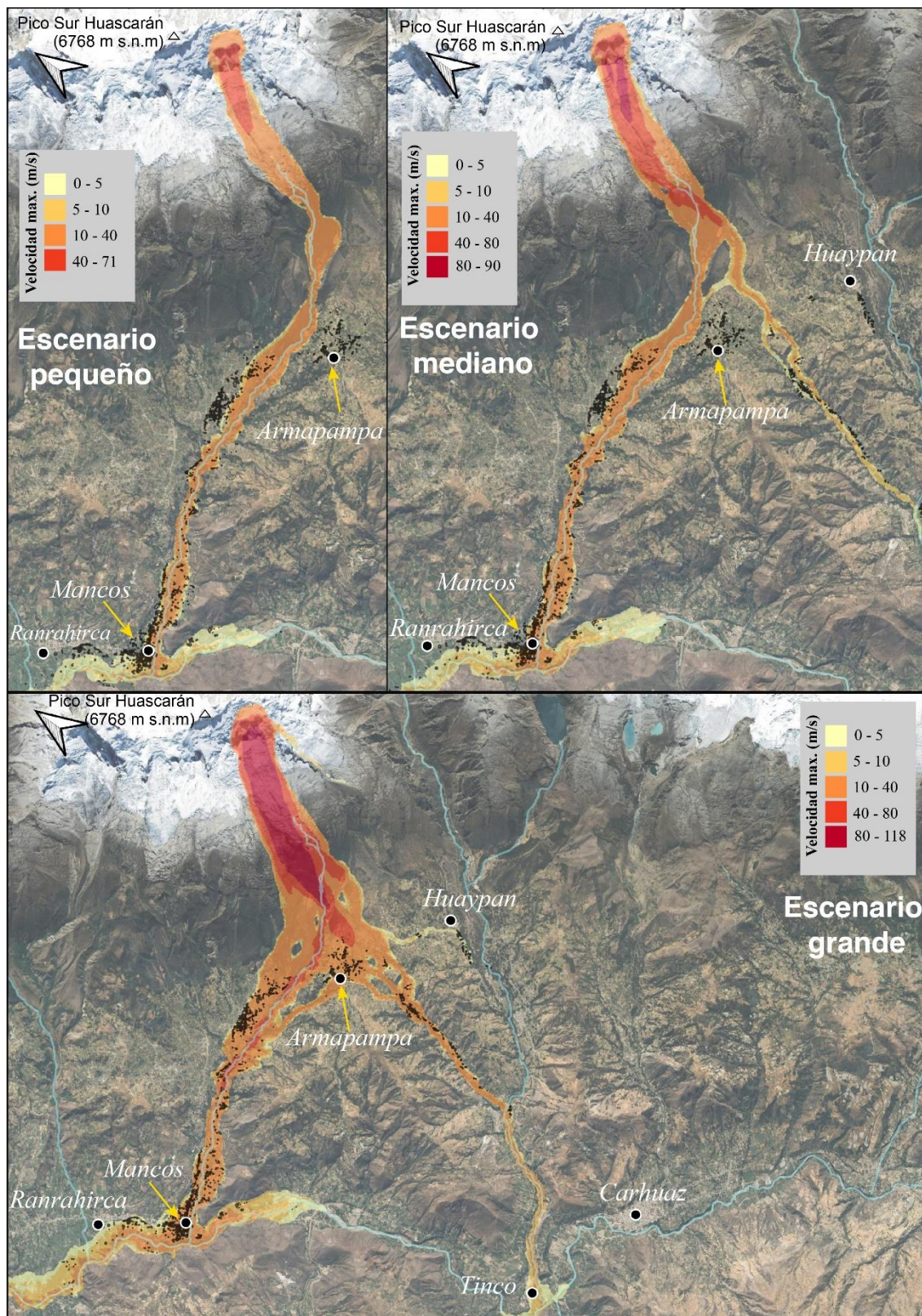
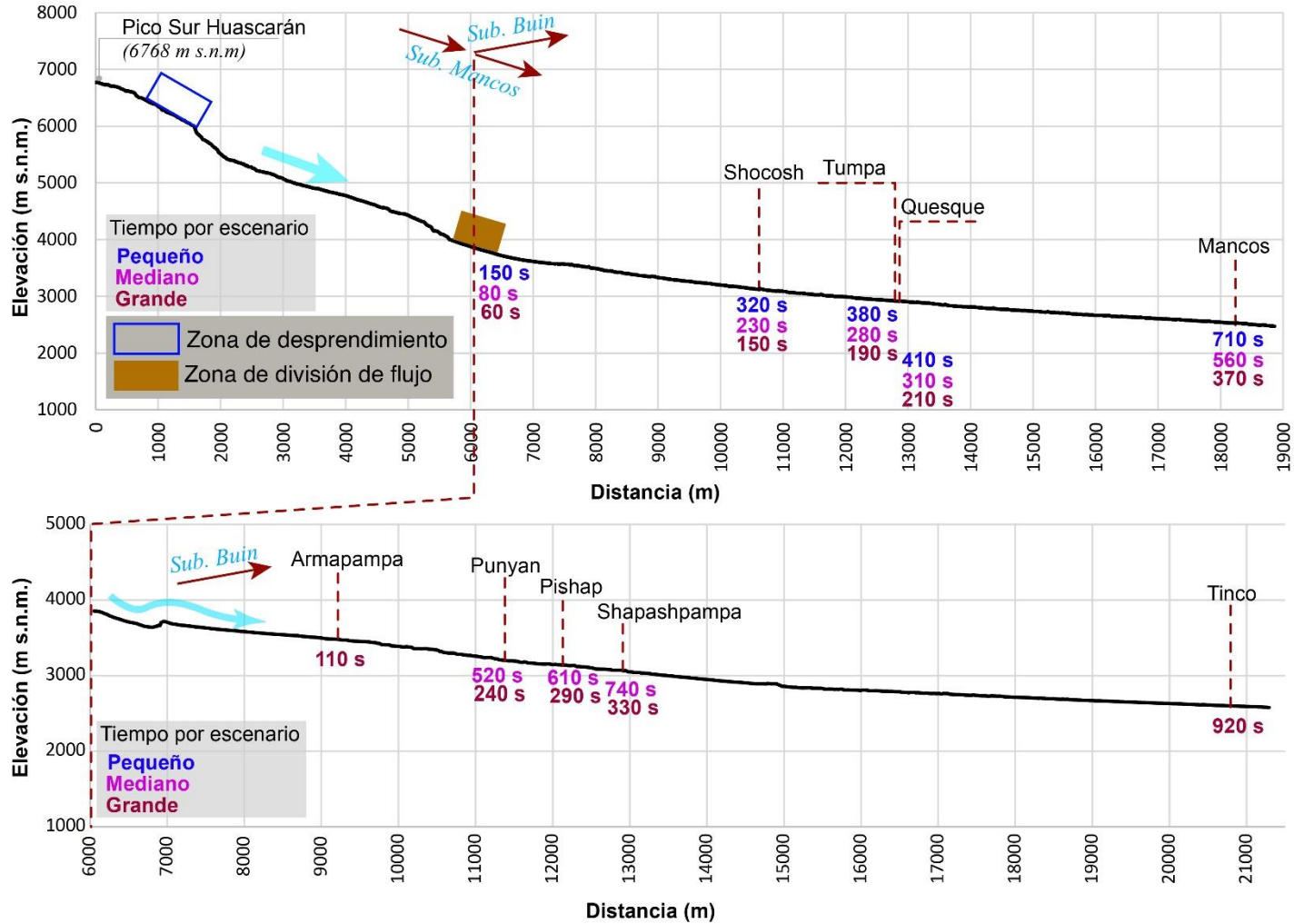


Figura 33. Estimación de tiempo de impacto según nivel de peligro



5 Mapa de peligro

Como se explicó en el subcapítulo anterior, este mapa es resultado del análisis entre la probabilidad y la intensidad de tres escenarios modelados desde el glaciar Raimondi 3 en el pico sur del nevado Huascarán hasta río Santa, entre las subcuencas de Mancos y Buin, en las provincias de Yungay y Carhuaz respectivamente.

El mapa de peligros por aluvión en el área de estudio se muestra la Figura 34, estratificado en tres niveles: peligro muy alto (color rojo), peligro alto (alto) y peligro medio (color amarillo).

La interpretación de los niveles de peligros tiene que tomar en cuenta que, la única diferencia entre ellos es su probabilidad. Por ejemplo, el nivel de peligro muy alto (color rojo), indica que su probabilidad de ocurrencia también cuenta con ese nivel. Mientras que, el nivel medio (color amarillo) indica que su probabilidad es la menor en comparación a los niveles alto (naranja) y muy alto (rojo).

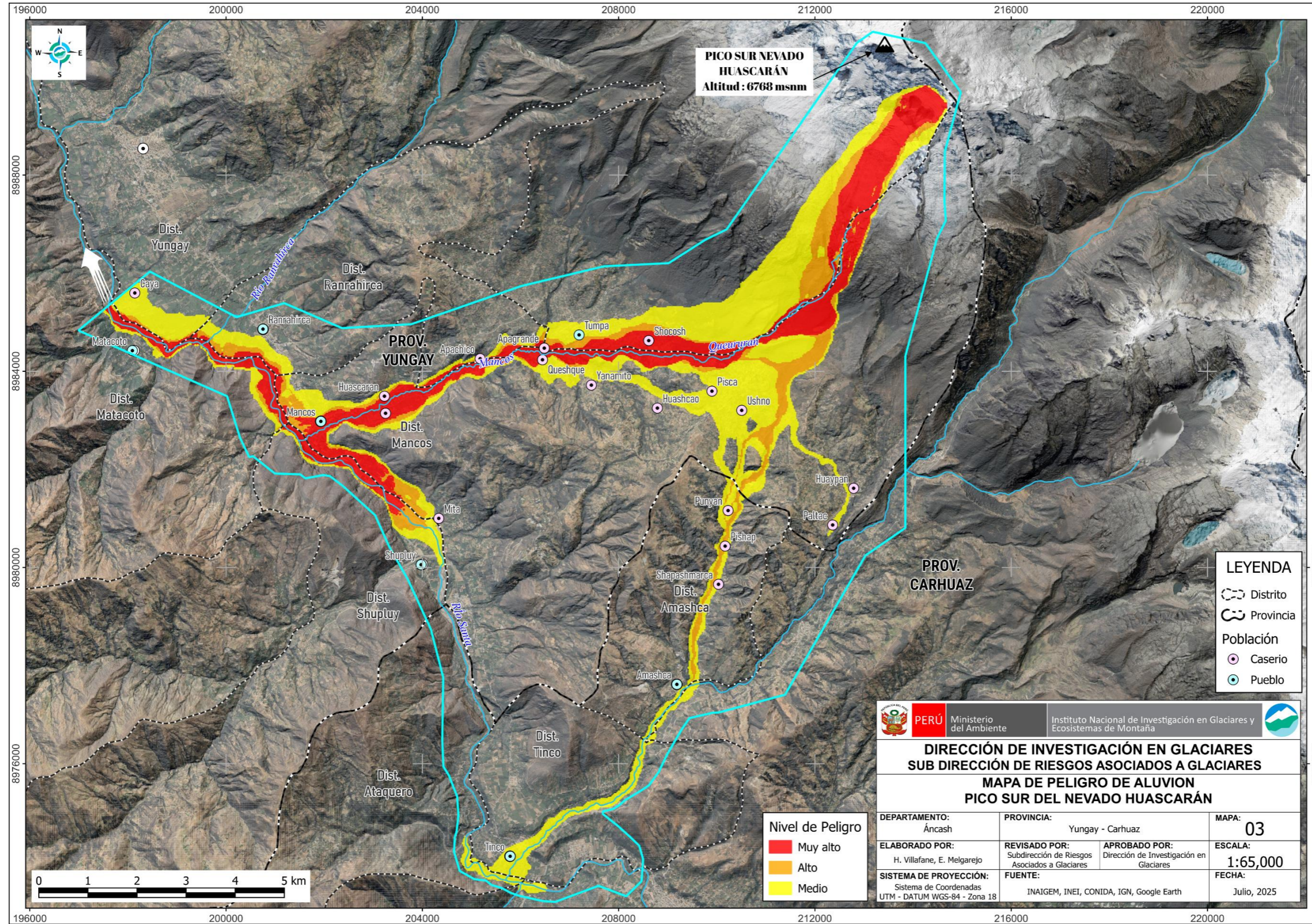
Por cada escenario, se deben cumplir determinadas condiciones para su materialización, por ejemplo, para el caso más extremo, el cual corresponde al colapso del 100% de la masa glaciar inestable identificada en el pico sur del Huascarán, su área de influencia es manifestada en color amarillo, como el nivel medio de peligro, porque las condiciones que deben alcanzarse para que se manifestarse son las más complejas, por consiguiente, su probabilidad es la menor. Para el nivel alto de peligro (color naranja) se tomó en consideración un desprendimiento del 20% la zona inestable y para el nivel muy alto (color rojo) un 10% del total.

Por otro lado, la velocidad del flujo varía según cada escenario, el tiempo del recorrido de éste hasta el río Santa se encuentra en el rango de 6 a 12 min, por consiguiente, los diferentes simulacros de evacuación que se organicen en el área expuesta deben tomar en consideración este intervalo de tiempo.

Con relación a los ámbitos expuestos con nivel de peligro muy alto (color rojo), se encuentran las localidades de Cutatambo, Mancos, Marcayoc, Chimpa Mancos y San Vicente en el distrito de Mancos; y las localidades de San Antonio, Apagrande, Shocosh y Sedan; todos dentro de la provincia de Yungay. Asimismo, con nivel alto de peligro (color naranja) se encuentran las localidades de Caranca Pampa, Apachico, Qeshque y Huascarán; todos localizados en el distrito de Mancos, provincia de Yungay. Estos serían los sectores con mayor probabilidad de afectación, exponiendo a un total de 2,313 personas.

Por otro lado, las localidades expuestas con nivel medio de peligro (color amarillo) son 32, entre ellas se puede hacer mención a: Tumpa, Caya, Ranrahirca, Pisca, Ushno, Paltac, Punyan, Pishap, Shapashmarca en la provincia de Yungay y Tinco y Vista Alegre en la provincia de Carhuaz. Estos serían los sectores con menor probabilidad de afectación, porque sólo serían alcanzados por la huella del escenario del aluvión más extremo, exponiendo a 7,656 personas (Ver Anexo A).

Figura 34. Mapa de peligro de aluvión – Pico sur del nevado Huascarán



6 CONCLUSIONES

- El mapa de peligros por aluvión en el área del glaciar Raimondi 3 del nevado Huascarán hasta el río Santa identifica tres niveles de peligro (muy alto, alto y medio), diferenciados únicamente por su probabilidad de ocurrencia. El nivel de peligro muy alto corresponde a escenarios con mayor probabilidad y menor volumen de desprendimiento, mientras que el nivel medio representa el escenario más extremo, pero menos probable, con el colapso total del glaciar inestable (Ver Figura 34).
- Las localidades de Shocosh, Apagrande, Chimpa Mancos y Mancos están en la zona de mayor exposición, seguidas por Caranca Pampa, Apachico, Queshque y Huascarán en nivel alto, y otras como Tumpa y Ranrahirca en nivel medio. Dado que el tiempo estimado de llegada del flujo aluvional al río Santa es de entre 6 y 12 minutos, resulta crucial incorporar este intervalo en la planificación de simulacros y estrategias de evacuación en las zonas expuestas (Ver anexo A).
- El análisis de la variabilidad climática en el nevado Huascarán, para las estaciones de Yungay y Saucepampa, revela una tendencia sostenida al aumento de la temperatura desde la década de 1980, con una tasa de calentamiento de aproximadamente $0.033\text{ }^{\circ}\text{C/año}$. Mientras que la precipitación líquida muestra una tendencia creciente, la precipitación sólida presenta una disminución significativa, lo que refleja un cambio en la dinámica del régimen hidrometeorológico de la zona. Estas condiciones climáticas, caracterizadas por temperaturas máximas elevadas y reducción de nieve, están estrechamente asociadas con un mayor riesgo de avalanchas debido al aumento de la temperatura máxima. Por tanto, se destaca la importancia del monitoreo climático continuo como herramienta clave para la prevención y gestión de riesgos en zonas glaciares vulnerables como el Huascarán.
- Las sucesivas avalanchas en el Huascarán (1962: Ranrahirca; 1970: Yungay y Ranrahirca y los recientes desprendimientos de 2023 y 2025) darían a conocer un patrón ligado a la inestabilidad glaciaria. A pesar de que en el 2023 y 2025 no hubo víctimas, el impacto visual y auditivo provocó alarma y alertó sobre la urgencia de un monitoreo continuo. Estas avalanchas, con distinta magnitud, pero origen común, reafirman la vulnerabilidad creciente de las comunidades cercanas.
- La dinámica del glaciar Raimondi 3, se caracteriza por presentar desprendimientos fraccionados del glaciar, desplazados aguas abajo en forma de avalanchas de hielo y nieve acompañadas de nubes de polvo. Se advierte que, entre mayo de 2023 y junio de 2025, se habría dado un desplazamiento del glaciar de hasta 36 m en dirección al valle. Asimismo, se visualizan desplazamientos continuos a partir de junio de 2024, momento en el cual se observa una pérdida progresiva del frente glaciario, pérdida atribuida a desprendimientos inducidos por la presencia de fracturas transversales y derretimiento de la nieve, cuyo escurrimiento e infiltración en dichas fracturas generarían condiciones de inestabilidad.

7 RECOMENDACIONES

7.1 Medidas del corto plazo

- Fortalecer la capacidad de respuesta, con la implementación de medidas de gestión reactiva del riesgo de desastres, bajo la asistencia técnica directa del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), asegurando que la planificación de medidas ante un post-desastre sean coordinadas y eficientes, minimizando así el impacto en la población y facilitando una recuperación más rápida y organizada.
- Elaborar los mapas de rutas de evacuación y zonas seguras, considerando la huella del aluvión; dichos mapas deberán de contar con la validación técnica del INAIGEM.
- Difundir entre la población local la información que generan las entidades técnico-científicas e implementar campañas de sensibilización.
- En base al peligro presente en el pico sur del nevado Huascarán, es imperativa la necesidad de contar con una adecuada preparación y respuesta de la población en las áreas expuestas, por lo cual se recomienda estructurar y ejecutar un plan integral de sensibilización continua, considerando el diseño de estrategias de comunicación, el diseño de materiales educativos claros, la organización de talleres y charlas comunitarias, el desarrollo de simulacros de evacuación, la capacitación de actores clave y brigadas conformadas y la inclusión del componente GRD en el currículo escolar de la zona.
- Diseñar un plan integral de señalización e implementarlo, considerando señales de advertencia de peligro de aluvión, ubicadas en puntos estratégicos de peligro alto y muy alto; señales direccionales de evacuación, indicando claramente el camino hacia las zonas seguras, utilizando flechas y pictogramas universalmente reconocidos; señales de zonas seguras/puntos de encuentro y señales informativas que consideren códigos QR con mapas de peligro interactivos o información adicional relevante.
- Implementar un Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SATC) por aluvión, que permita detectar la ocurrencia de un evento, comunicando la alerta de forma efectiva y rápida, y activar una respuesta oportuna para proteger vidas y medios de vida de la población local. Este sistema puede implementarse a partir del entendimiento de las características del peligro y la observación constante de las condiciones que podrían desencadenar un aluvión, utilizando tanto la observación directa como instrumentos tecnológicos básicos como pluviómetros, sensores, entre otros. El involucramiento activo de la comunidad permitirá su empoderamiento en la mitigación de riesgos presentes.
- Establecer un mecanismo de vigilancia de avalanchas en el pico sur del nevado Huascarán y remitirlas diariamente a las entidades técnicas competentes.

7.2 Medidas del mediano y largo plazo

- Incorporar el mapa de peligro por aluvión como parte del diagnóstico territorial de los diferentes instrumentos de gestión, desarrollo y planificación territorial, se recomienda a los gobiernos locales solicitar la asistencia técnica del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).
- Tomar en consideración el mapa de peligro por aluvión como diagnóstico territorial de los diferentes asociados a la gestión del riesgo de desastres, en especial en el marco de los componentes prospectivo y correctivo, haciendo énfasis en el 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).
- Se recomienda implementar un Sistema de Alerta Temprana SAT, bajo la asistencia técnica del INDECI en todo el ámbito expuesto con relación al mapa peligro (Subcuencas de Mancos y Buin).

En el marco del componente 2 del SAT, se recomienda la implementación del monitoreo según las características descritas en el Anexo B.

Este sistema puede ser implementado a nivel de la Mancomunidad Municipal Hatun Huaylas y/o el Gobierno Regional de Ancash, asimismo se sugiere involucrar a la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN).

- A los gobiernos locales y el gobierno regional, continuar con la determinación de la vulnerabilidad y el riesgo en los ámbitos de su jurisdicción; por ser parte de sus competencias, de acuerdo con lo establecido en la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y respectivo Reglamento vigente.

8 BIBLIOGRAFÍA

De la Cruz, J. & Chacaltana, C. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Carhuaz (19-h). Escala 1:100 000. *INGEMMET*, <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2156>.

Evans, S. G., Bishop, N. F., Fidel Smoll, L., Valderrama Murillo, P., Delaney, K. B., & Oliver-Smith, A. (2009). A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. *Engineering Geology*, 108(1–2), 96–118. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.06.020>

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

INAIGEM (2025). Retroceso glaciar en los andes peruanos durante las últimas seis décadas, Huaraz, Perú.

Klimeš, J., Kilnar, J., Kopačková-Strnadová, V., Pánek, T., McColl, S., & Jelének, J. (2025). Landslides in the glaciated mountains of the Cordillera Blanca, Peru—types, spatial distribution, and conditioning factors. *Landslides*, 22(3), 803–819. <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02387-6>

Margirier, A., Audin, L., Robert, X., Herman, F., Ganne, J., & Schwartz, S. (2016). Time and mode of exhumation of the Cordillera Blanca batholith (Peruvian Andes). *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 121(8), 6235–6249. <https://doi.org/10.1002/2016jb013055>

McNulty, B. A., and D. L. Farber (2002), Active detachment faulting above the Peruvian flat slab. *Geology*, 30(6), 567–570. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<0567:ADFATP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0567:ADFATP>2.0.CO;2)

Somos-Valenzuela, M. A., Chisolm, R. E., Mckinney, D. C., & Rivas, D. (2014). Modelo de inundación por potencial aluvión desde la laguna Palcacocha, Huaraz. 44. www.cwrw.utexas.edu/online.shtml

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

Wilson, J.; Reyes, L. & Garayar J. (1967). Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Hojas: 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-h, y 19-i. *INGEMMET*, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 60, 79 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/182>

ANEXO A

POBLACIÓN EXPUESTA

Población expuesta según centro poblado

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CENTRO POBLADO	POBLACION	NIVEL DE PELIGRO
ANCASH	CARHUAZ	AMASHCA	AMASHCA	1000	Medio
ANCASH	CARHUAZ	AMASHCA	PUNYAN	250	Medio
ANCASH	CARHUAZ	AMASHCA	UPE URAN	25	Medio
ANCASH	CARHUAZ	AMASHCA	PISHAP	100	Medio
ANCASH	CARHUAZ	AMASHCA	SHAPASHMARCA	80	Medio
ANCASH	CARHUAZ	AMASHCA	LLOCLLA	40	Medio
ANCASH	CARHUAZ	AMASHCA	COCHA	100	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	CARANCA PAMPA	20	Alto
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	QESHQUE	35	Alto
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	HUASCARAN	150	Alto
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	MITA	350	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	CRUZ CATAAC	40	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	PUTACA	280	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	PALTAC	260	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	PARCO	40	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	QUEROHURAN	45	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	COLMENAR	17	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	HUAMAYOC	Sin dato	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	YAUYO	90	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	YANAMITO	400	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	USHNO	150	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	ARMAPAMPA	50	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	PISCA	280	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	HUASHCAO	62	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	HUAYPAN	500	Medio
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	CUTATAMBO	Sin dato	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	MANCOS	1000	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	MARCAYOC	18	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	CHIMPA MANCOS	400	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	MANCOS	SAN VICENTE	45	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	MATACOTO	MATACOTO	500	Medio
ANCASH	YUNGAY	MATACOTO	ATUN PAMPA	15	Medio
ANCASH	YUNGAY	MATACOTO	PERGEPAMPA	15	Medio
ANCASH	YUNGAY	RANRAHIRCA	RANRAHIRCA	950	Medio
ANCASH	YUNGAY	RANRAHIRCA	APACHICO	135	Alto
ANCASH	YUNGAY	SHUPLUY	SHUPLUY	150	Medio
ANCASH	CARHUAZ	TINCO	TINCO	1000	Medio
ANCASH	CARHUAZ	TINCO	VISTA ALEGRE	100	Medio
ANCASH	YUNGAY	YUNGAY	CAYA	70	Medio
ANCASH	YUNGAY	YUNGAY	TUMPA	700	Medio
ANCASH	YUNGAY	YUNGAY	SAN ANTONIO	180	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	YUNGAY	APAGRANDE	120	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	YUNGAY	SHOCOSH	120	Muy alto
ANCASH	YUNGAY	YUNGAY	SEDAN	90	Muy alto

Fuente: INEI – Censo 2017.

ANEXO B

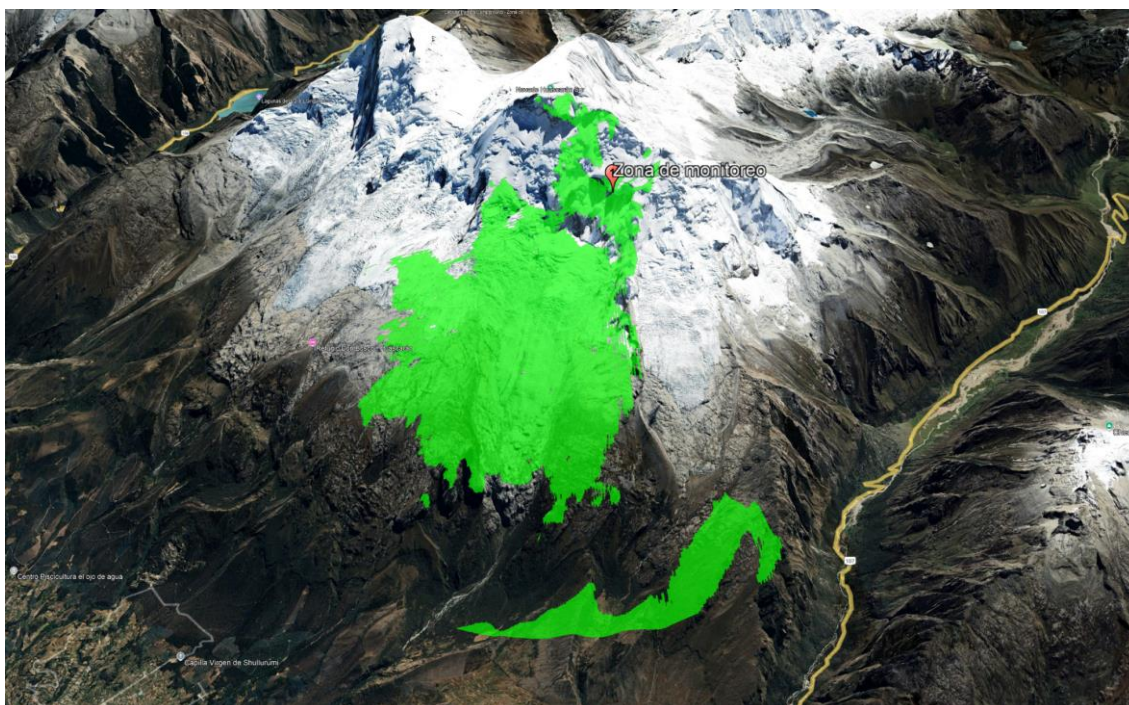
EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE MONITOREO

Recomendación para un Sistema de monitoreo del peligro de avalancha en la subcuenca Mancos

Zona de monitoreo y análisis de visibilidad

Considerando que la zona de monitoreo se ubica sobre una masa glaciaria fragmentada con probabilidades de colapsar, se determinó la extensión del área de color verde, que representa la zona favorable desde la cual es posible visualizar el bloque fragmentado sin obstrucciones geográficas. Es decir, desde las zonas externas al área verde, la visualización al bloque de hielo presentaría dificultades. En base a este criterio, se determinó la posible ubicación de la estación automática de monitoreo de desprendimiento glaciario (Anexo A 1).

Anexo A 1. En área verde representa aquellas ubicaciones desde las cuales es posible visualizar la zona de monitoreo



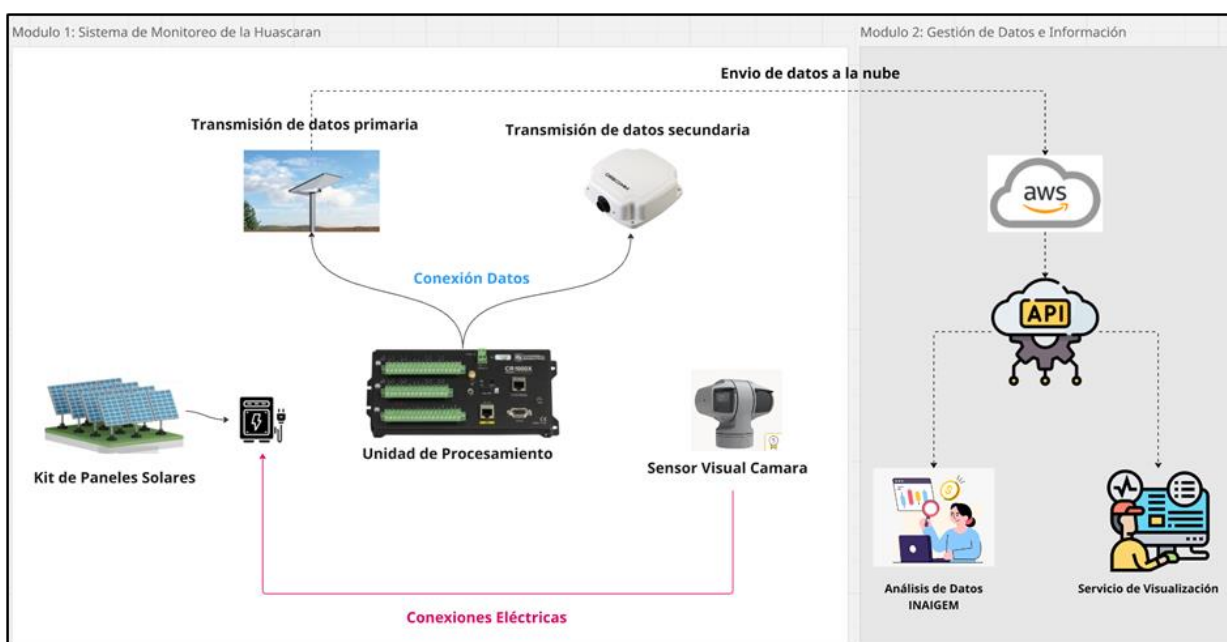
Estación de automática de monitoreo visual

A. Componentes tecnológicos

La estación se puede constituir mínimamente por tres tipos de componentes tecnológicos: Sensores, Unidades de Procesamiento y Transceptores. Al tratarse de un monitoreo visual de desprendimiento de masas, se recomienda el uso primario de sensores de visión (cámaras), que permitirán detectar visualmente los cambios en la superficie glaciaria. No obstante, este tipo de sensores presentan limitaciones, por ejemplo, la neblina, la oscuridad y en general los fenómenos climáticos que obstaculicen las lentes de las cámaras son factores que disminuyen la efectividad de detección, especialmente para aquellos sensores que operan en el espectro óptico visible. Para sopesar esta limitación, se puede considerar el uso de sensores infrarrojos y/o termales;

sin embargo, estos presentan un consumo alto de energía eléctrica, lo que podría influir tanto en el volumen estructural y costes de la estación automática de monitoreo. Por otro lado, la unidad de procesamiento sería el componente tecnológico que gestione el flujo de datos generados por los sensores. Es decir, su función principal es orquestar los procesos de recopilación, almacenamiento y transmisión de datos. Finalmente, el transceptor es un módulo de comunicaciones que permitiría el envío de datos generados por los sensores. En el diseño de la estación se debe considerar como mínimo dos canales de comunicación, este mecanismo reducirá drásticamente la probabilidad de error en la transmisión de datos (Anexo A 2).

Anexo A 2. Componentes tecnológicos mínimos de la estación de monitoreo automática

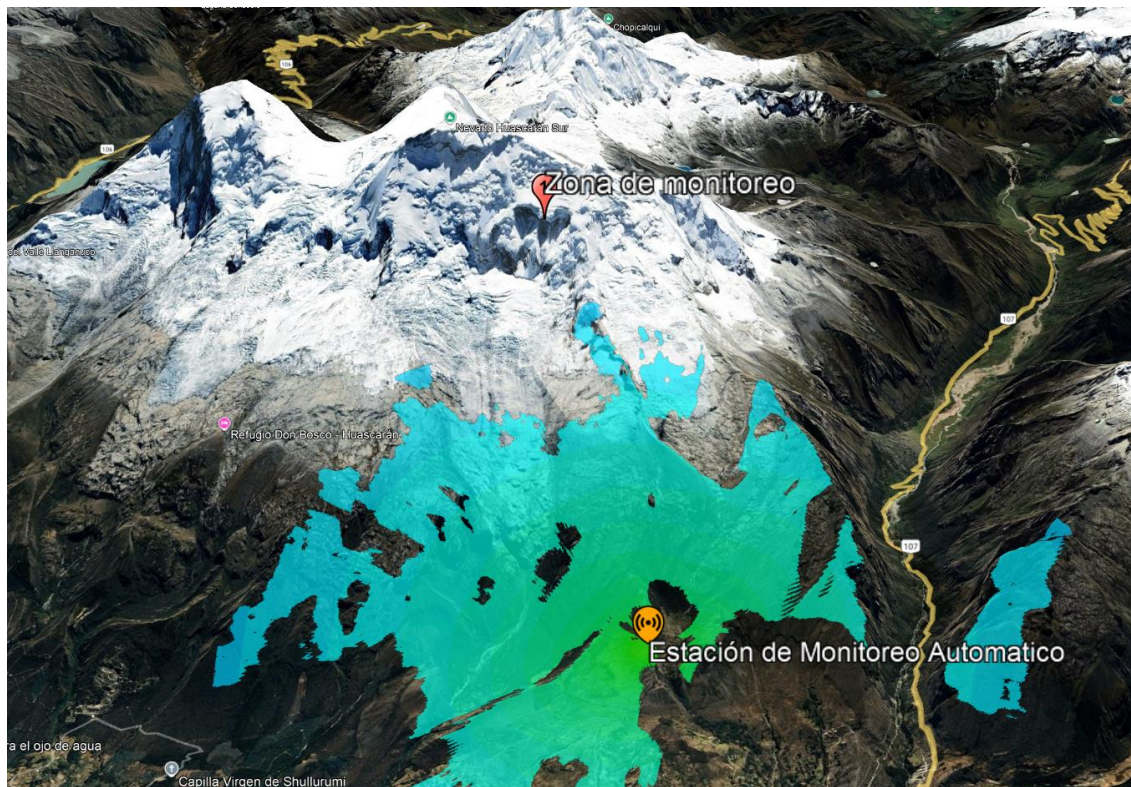


B. Ubicación de la estación automática de monitoreo visual

Como ubicación física de la Estación Automática de Monitoreo se recomienda el punto situado en las coordenadas (Latitud: -9.176587 y Longitud: -77.611440). Desde el cual, es técnicamente posible desarrollar un monitoreo visual de la zona de desprendimiento. En este lugar se recomienda la implementación de los componentes tecnológicos, así como también, la implementación de un sistema de comunicación local dedicado a la recopilación de datos de los sensores. En el Anexo A 3, el área turquesa-verde representa el rango mínimo de cobertura de comunicación que el sistema de comunicación local debe contar, esta área se debe entender como las ubicaciones factibles para el emplazamiento o instalación de un sensor con capacidades de comunicación inalámbrica (Anexo A 3).

Además, este punto tiene la ventaja de no encontrarse directamente expuesta sobre la huella de deslizamiento de masas provenientes desde la zona de monitoreo, lo cual garantiza su funcionamiento. Otra ventaja, es la proximidad a carreteras y caminos, lo cual facilita actividades de operación y mantenimiento.

Anexo A 3. Cobertura de comunicación del sistema de comunicación local



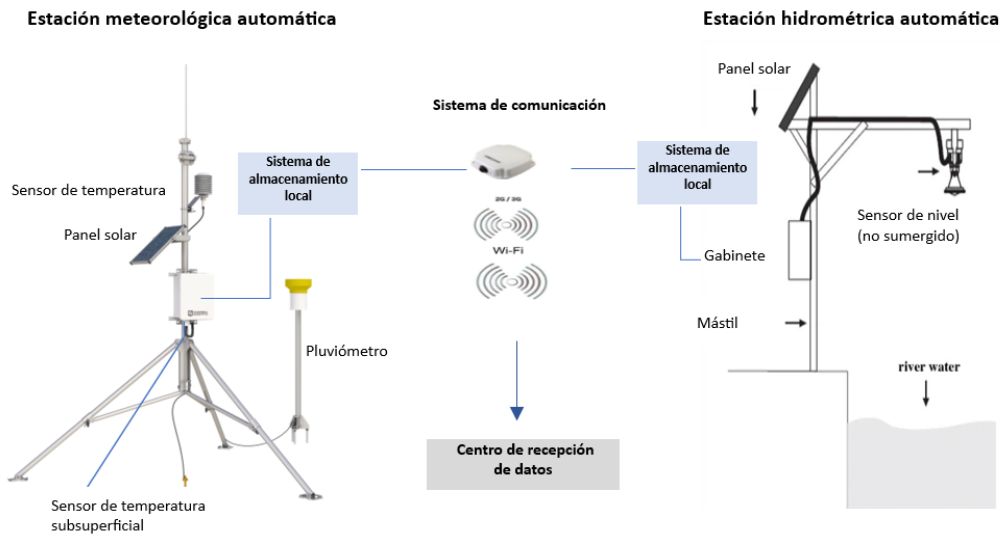
Estación de monitoreo hidrometeorológico

La estación hidrométrica aguas abajo permite registrar variaciones en el nivel de la quebrada Buin, las cuales están asociadas a flujos de detritos o deslizamientos repentinos, debido a las condiciones de flujo turbulento y mayor contenido de grava se recomienda la implementación de un sensor no sumergido. Además, la estación meteorológica proporciona información sobre la dinámica atmosférica y térmica del entorno, midiendo variables como precipitación, temperatura del aire, humedad relativa y temperatura subsuperficial (Anexo A 4).

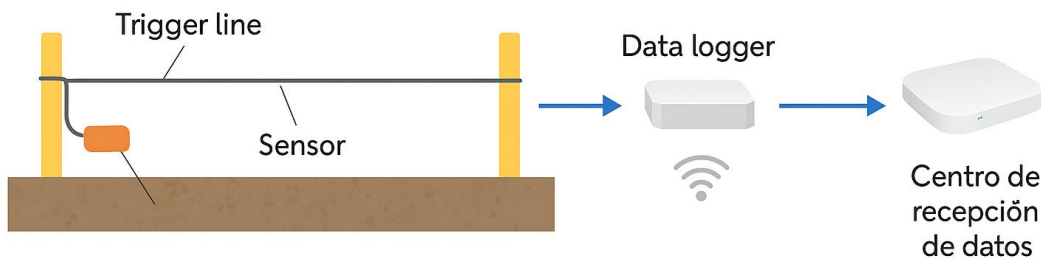
Sensor Trigger Line

El sistema propone un Trigger Line que es un dispositivo mecánico-electrónico utilizado para la detección puntual de eventos de ruptura o deformación súbita en zonas inestables. Funciona mediante un cable conductor tensado, cuya rotura interrumpe un circuito eléctrico, generando una señal binaria de activación inmediata (Anexo A 5).

Anexo A 4. Estación hidrométrica



Anexo A 5. Sensor Trigger Line

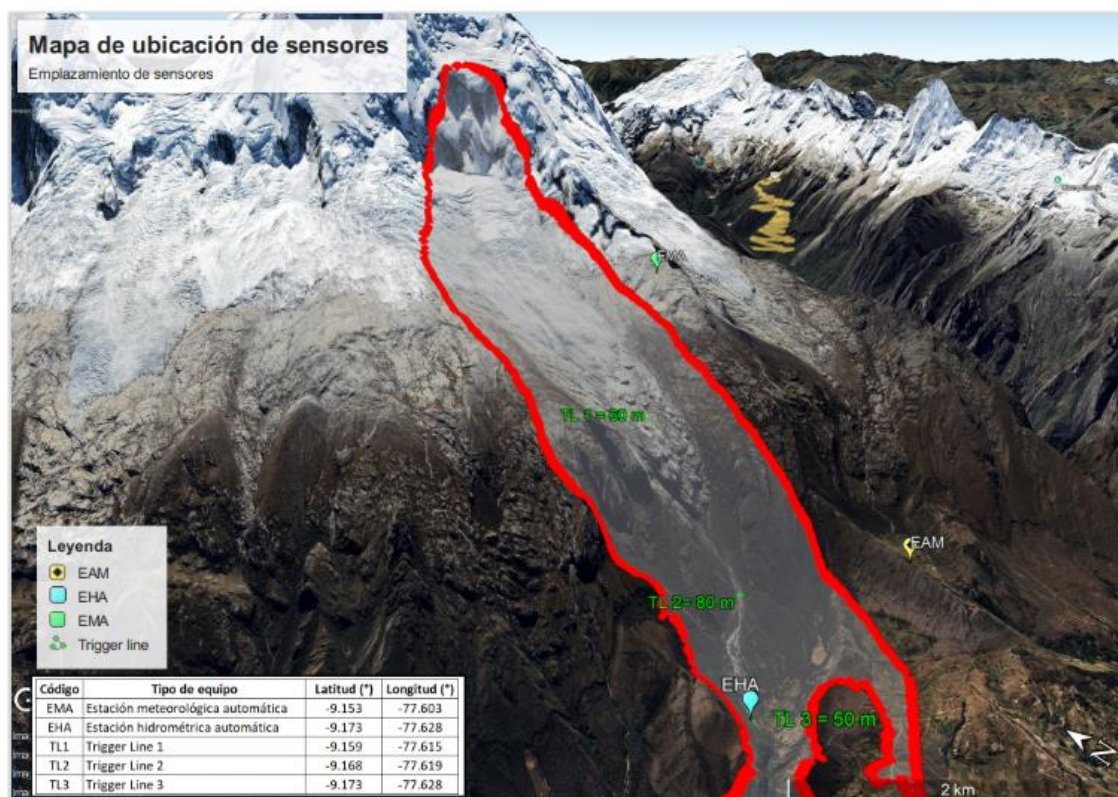


Ubicación de sensores

En el Anexo A 6 se presenta el mapa de ubicación tentativa de sensores destinados a la implementación del sistema de monitoreo hidrometeorológico en la cuenca de estudio. Se incluyen Estación Automática de Monitoreo Visual (EAM), Estaciones Hidrométricas Automáticas (EHA) y Estación Meteorológica Automática (EMA), así como una línea de activación (trigger line), considerada como referencia para análisis de peligros asociados.

Es importante señalar que las ubicaciones mostradas son propuestas preliminares y están sujetas a validación mediante inspección en campo, a fin de verificar condiciones de acceso, seguridad, visibilidad de los sensores y representatividad hidrológica y meteorológica. Esta inspección permitirá definir con mayor precisión los puntos óptimos de instalación para asegurar la calidad de los datos y la sostenibilidad operativa del sistema.

Anexo A 6. Mapa de ubicación de sensores. En rojo se muestra el área estimada de afectación de un flujo de avalancha



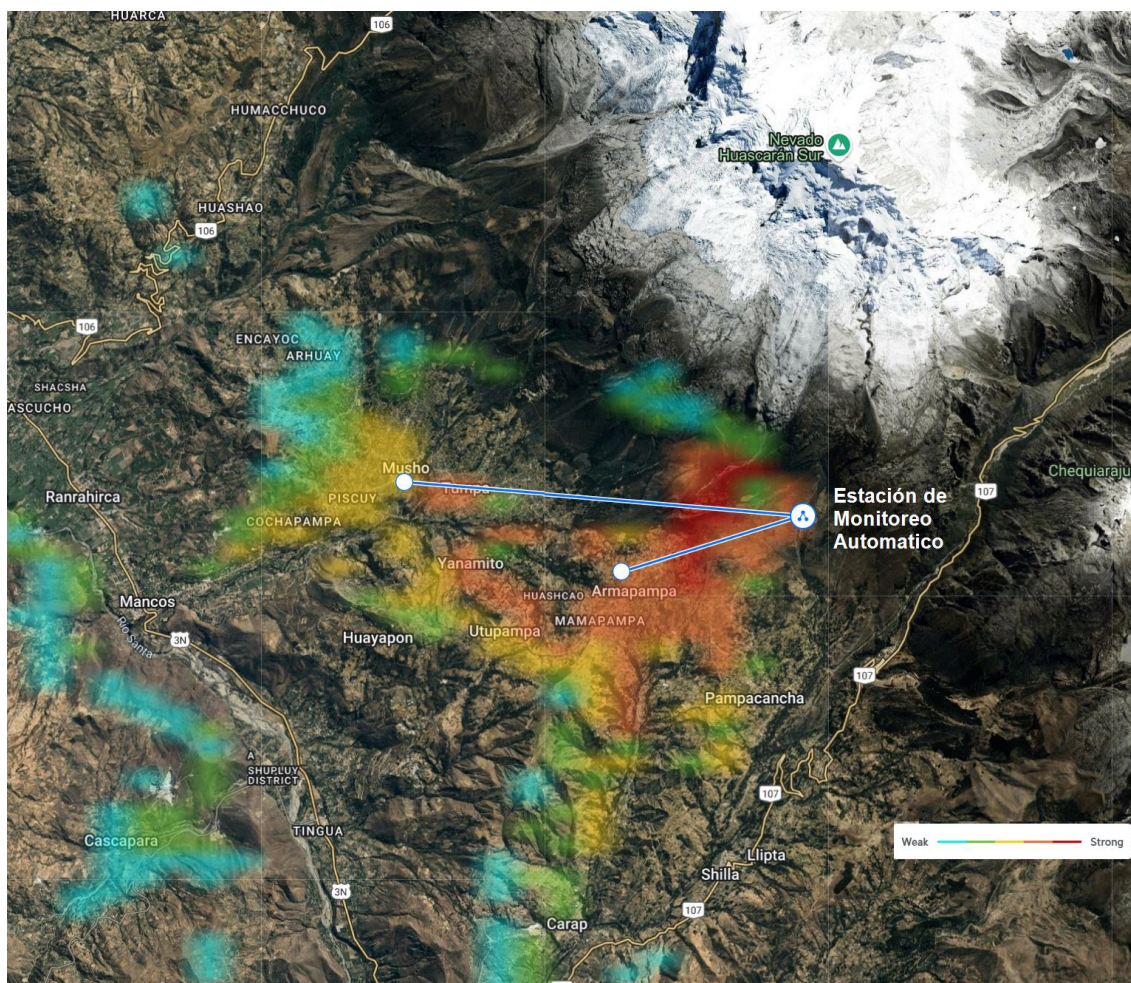
Gestión de datos e información

Los datos recopilados por la estación de monitoreo automática deberán enviarse prioritariamente a un Centro de Operaciones de Emergencia Local y/o Regional u otro lugar de conveniencia, con fines de evaluación y respuesta. Para ello, se recomienda optar por las siguientes formas de envío de datos: Envío directo y envío diferido.

A. Envío directo

El envío directo involucra una conexión directa e independiente entre un emisor y un receptor. El emisor debe estar ubicado en la Estación de Monitoreo Automático, desde el cual se enviarán los datos recopilados. Por otro lado, el receptor puede estar ubicado en cualquier punto de la zona resaltada con colores de el Anexo A 7. Las zonas resaltadas en color turquesa y verde representan aquellos lugares con capacidad de recepción de señal baja o débil, mientras que los lugares en color rojo o naranja presentan una alta recepción de señal. Los lugares resaltados en naranja representan una capacidad de recepción de señal intermedia o moderada. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran a modo de ejemplo los distritos de Musho y Armapampa como posibles ubicaciones donde podrían recibir los datos.

Anexo A 7. Zonas posibles de recepción de datos para la Estación de Monitoreo Automático (Latitud: -9.176587 y Longitud: -77.611440)



B. Envío diferido

El envío diferido involucra una conexión dependiente de proveedor de comunicaciones, el cual podría ser un operador satelital o proveedor de banda ancha local. Bajo este concepto, la Estación de Monitoreo Automático podría transmitir los datos a través de un proveedor satelital. Los datos enviados serían recopilados y almacenados en un servidor centralizado en la nube, para luego estar disponibles a través de internet. Con este tipo de monitoreo existe un desfase de tiempo desde el momento en que se detecta un evento hasta el cual se notifica a la entidad competente. El tiempo podría variar desde pocos segundos hasta varios minutos en función del volumen de datos que enviará.

Características técnicas del equipamiento

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
1	Cámara óptica de monitoreo visual de alta resolución (día)	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de imagen: 1/1.8" Progressive Scan CMOS • Resolución Máxima: 3840 x 2160, 25 fps en resoluciones: 3840 x 2160, 3200 x 1800, 2688 x 1520, 1920 x 1080, 1280 x 720 	1
2	Cámara infrarroja B/N (día/noche)	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de imagen: 1/1.8" Progressive Scan CMOS • Resolución Máxima: 1920 x 1080 • Iluminación mínima: Color: 0.005 Lux @ (F1.5, AGC ON), B/W: 0.001 Lux @ (F1.5, AGC ON), 0 Lux with IR • Tiempo de obturación: Desde 1/1 s hasta 1/300,000 s • Zoom: 25 x optical, 16 x digital 	1
3	Sensor infrasónico	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad estimada: mínimo 56,000 counts / Pascal $\pm 10\%$ • Nivel de ruido (estimado): máximo ~0.5 pulgadas de agua (± 125 Pa) • Rango dinámico del digitalizador: Mínimo 24 bits (ADC Sigma-Delta), 144 dB • Bits efectivos (estimados): Mínimo 21 bits (126 dB) de 1 a 20 Hz @ 100 sps • Linealidad de la medición de presión: <0.5% (incluida en el margen de error total) • Banda pasante estimada (-3 dB): • Filtro mecánico de 1 s (por defecto): de 1 Hz a 44 Hz • Filtro mecánico de 20 s (opcional): de 0.08 Hz a 44 Hz • Rolloff (caída fuera de banda): 2 polos o 40 dB/década • Polos estimados (con filtro de 1 s): -0.312 rad/s (20 s, filtro de hardware) -6.289 rad/s (1 Hz, filtro mecánico) • Ceros estimados: 0, 0 • Ganancia: Calibración automática, verificada en fábrica 	1
4	Unidad de procesamiento (miniPC o microcontrolador) (Registrador de datos)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema operativo: Linux, Windows • Memoria RAM: Mínimo 8 GB • Almacenamiento eMMC: Mínimo 32 GB • Entrada de alimentación: DC 9 - 36 V, 01 conector terminal de 2 pines • PoE: Compatible con IEEE 802.3af • Interruptor de encendido: No • Botón de reinicio: Sí • Ethernet: 1 x 10/100/1000 Mbps (con soporte PoE*) • RS485 (aislados): Mínimo 2 puertos 	1

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
5	Módulo de comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Canales: Mínimo 8 (half-duplex) • Frecuencias soportadas: CN470, IN865, EU868, RU864, US915, AU915, KR920, AS923-1/2/3/4 • Sensibilidad: -140 dBm @292 bps • Potencia de transmisión: Hasta 27 dBm • Conector de antena: 1 x N-Female 50 Ω (externo) • Protocolos: LoRaWAN 1.0.3 Clase A y Clase C • Dispositivos soportados: Hasta ~2000 dispositivos (Clases A/B/C) • Servidor integrado soporta hasta 100 dispositivos • Integración: MQTT API 	1
6	Panel solar con batería de respaldo	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: Monocristalino • Corriente a potencia máx (IMP): Mínimo 10A • Tensión a potencia máx (VMP): Mínimo 18V • Potencia máx: 200W • Dimensiones: 1580 x 808 x 35 mm. 	4
7	Trigger Line (sensor de ruptura)	<p>Línea física</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cable de inducción de 2 hilos • Diámetro: 2 a 3 mm • Longitud: Según topografía, entre 50 m y 100 m por línea • Revestimiento: PVC resistente a la intemperie <p>Sensor de ruptura</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo: Interruptor de lazo abierto/cerrado o sensor reed magnético • Voltaje de operación: 3.3V – 12V (según datalogger) • Tiempo de respuesta: < 1 s • Tipo de señal: Digital (1 = cerrado, 0 = abierto) • Protección: IP67 o superior <p>Registrador de Datos (Datalogger)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo: Digital con entradas de contacto seco (<i>trigger</i>) • Entradas digitales: Mínimo 2 • Memoria interna: ≥ 1 MB o capacidad para más de 10 000 eventos • Frecuencia de muestreo: 1 Hz o configurable • Interfaz: USB, RS-232 o WiFi/LoRa/ethernet /Satélite (según ubicación) • Temperatura operativa: -20 °C a +60 °C • Protección: IP65 o superior (gabinete) 	3
8	Estación meteorológica automática (EMA)	<p>Pluviómetro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de precipitaciones: Líquidas, sólidas y mixtas. • Superficie colectora: 200 cm² o 400 cm². 	1

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
		<ul style="list-style-type: none"> Principio de medición: Por pesaje Rango de medición de precipitación: 0 a 50 mm/min Umbral de detección: 0.05 mm/h (acumulación) y 0.1 mm/min (intensidad). Precisión: ± 0.1 mm o $\pm 1\%$ del valor medido. Resolución: Hasta 0.01 mm Intervalos de medición: c/1 min Retardo de emisión: < 1 min en tiempo real; 5 min en modo no tiempo real. Interfaces de comunicación: SDI-12 v1.3, RS-485, USB 2.0. Alimentación: 5.5 a 28 VDC, consumo típico 9.2 mA a 12 VDC. Debe incluir calefacción Temperatura de operación: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Humedad relativa: 0 a 100 % Grado de protección: IP68 	
		<p>Sensor de temperatura del aire</p> <ul style="list-style-type: none"> Rango de medición: de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Exactitud: $\pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-10\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq +40\text{ }^{\circ}$). $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $T > +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (o mejor). Resolución: $\leq 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tiempo de respuesta: ≤ 10 s Constante de tiempo (sin tapa de protección): ≤ 40 s. Interfaz de salida: <ul style="list-style-type: none"> Digital: SDI-12 v1.3 Análoga: 0–1 V o 4–20 mA Voltaje de alimentación: entre 10.5 VDC y 15 VDC. Consumo : ≤ 10 mA. Altitud: 0 a 5000 m.s.n.m. Protección: IP66 	1
		<p>Sensor de temperatura subsuperficial</p> <ul style="list-style-type: none"> Rango de Temperatura de Operación: $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ Precisión Típica: $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$) Resolución: $0.0078\text{ }^{\circ}\text{C}$ Salida: SDI-12 	2
		<p>Componentes del sistema fotovoltaico</p> <ul style="list-style-type: none"> Panel solar 30W, batería recargable de gel 12 V 25 Ah, controlador de carga 20A y gabinete de poliéster para intemperie 20 cm x 30 cm x 40 cm (IP66) 	1

Item	Equipo	Descripción	Cantidad
		Registrador de datos (unidad de almacenamiento local)	1
9	Estación hidrométrica con sensor no sumergido	Sensor de nivel <ul style="list-style-type: none"> • Principio de medición: Radar sin contacto. • Rango de medición: 0.10 a 30 m. • Resolución mínima: 1 mm. • Exactitud: ≤ 0.3 % en todo el rango de medición. • Tiempo medio de salida: ≤ 30 s. • Interfaz de salida: SDI-12 v1.3, 4–20 mA o protocolo estándar abierto compatible. • Rango de temperatura operativa: –30 °C a +60 °C. • Protección ambiental: IP67 o NEMA o superior. • Cable de conexión: hasta 150 m, sin empalmes. • Soportes de instalación: Incluye base, brazo, bastidor o tubo para montaje vertical en estructuras. Fabricados en fierro galvanizado ≥ 550 g/m² y con tornillería de acero inoxidable. 	1
		Componentes del sistema fotovoltaico Panel solar 30W, batería recargable de gel 12 V 25 Ah, controlador de carga 20A y gabinete de poliéster para intemperie 20 cm x 30 cm x 40 cm (IP66)	1
		Registrador de datos (unidad de almacenamiento local)	1

Infraestructura

Ítem	Actividad	Descripción
1	Instalación de cerco de seguridad, soportes de sensores	Estructura para instalación de sensores, caja de protección, materiales. Incluye pozo a tierra del sistema de monitoreo
2	Transporte de materiales	Movilización hacia zona de instalación (vehículos, acémilas, viáticos)
3	Obras menores de instalación	Instalación en campo de sensores, configuración y prueba técnica completa

4	Centro de monitoreo / COEL o COER	Habilitación de espacio con PC, UPS, visualizador de datos, muebles y cartelería.
5	Servidor / almacenamiento de datos en la nube	Servidor / almacenamiento de datos en la nube

Priorización de equipos

Equipamiento

En un escenario de corto plazo, la siguiente tabla presenta un listado de equipos prioritarios para la implementación de una medida básica de monitoreo. Entre ellos se incluye una cámara óptica diurna, cuyo propósito es detectar deslizamientos de masas. Esta cámara puede operar de forma manual por personal capacitado o por operadores del COEL o COER. No obstante, su modo automático representa una funcionalidad valiosa cuando se combina con algoritmos de inteligencia artificial. Si bien esta automatización podría reducir significativamente la carga operativa del personal de vigilancia, no se recomienda prescindir completamente de la supervisión humana.

En la misma línea, se contempla el uso del sensor Trigger Line, un cable físico instalado en la sección frontal del cauce potencial de deslizamiento. Al romperse, este sensor emite una señal que puede ser interpretada como un aviso de ocurrencia de deslizamiento. Este sistema se complementa con la vigilancia visual proporcionada por la cámara. Adicionalmente, se incluyen equipos de cómputo y módulos de comunicación, los cuales permitirán la transmisión de datos entre los sensores y el centro de control.

Estimación priorizada de equipos

Ítem	Equipo	Cantidad
1	Cámara óptica de monitoreo visual de alta resolución (día)	1
2	Unidad de procesamiento (miniPC o microcontrolador) (Registrador de datos)	1
3	Módulo de comunicación satelital	1
4	Módulo de comunicación local	1
5	Trigger Line (sensor de ruptura)	2

Infraestructura

Como parte de las actividades mínimas para la implementación de la infraestructura, se recomienda la instalación de un cerco de protección, en cuyo interior se ubicará la cámara, la unidad de procesamiento y los módulos de comunicación local y satelital. Este cerco constituye una medida básica de seguridad para la protección de los equipos mencionados.

Asimismo, se prevé la ejecución de obras menores en terreno de montaña, destinadas a la instalación de los sensores Trigger Line. Estas obras permitirán la fijación de los sensores en al menos dos puntos del cauce estimado de deslizamiento. Finalmente, se considera prioritaria la logística de transporte de materiales, tanto para la construcción del cerco como para la instalación de los sensores. Para esta actividad, se recomienda promover la participación de las comunidades y pobladores locales del área de monitoreo, así como la cooperación de instituciones como el Ejército, los guías de montaña, entre otros actores clave.

Estimación priorizada de actividades de construcción de infraestructura

Ítem	Actividad
1	Instalación de cerco de seguridad, soportes de sensores
2	Obras menores de instalación
3	Transporte de materiales

ANEXO C

RESULTADOS DE LABORATORIO

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

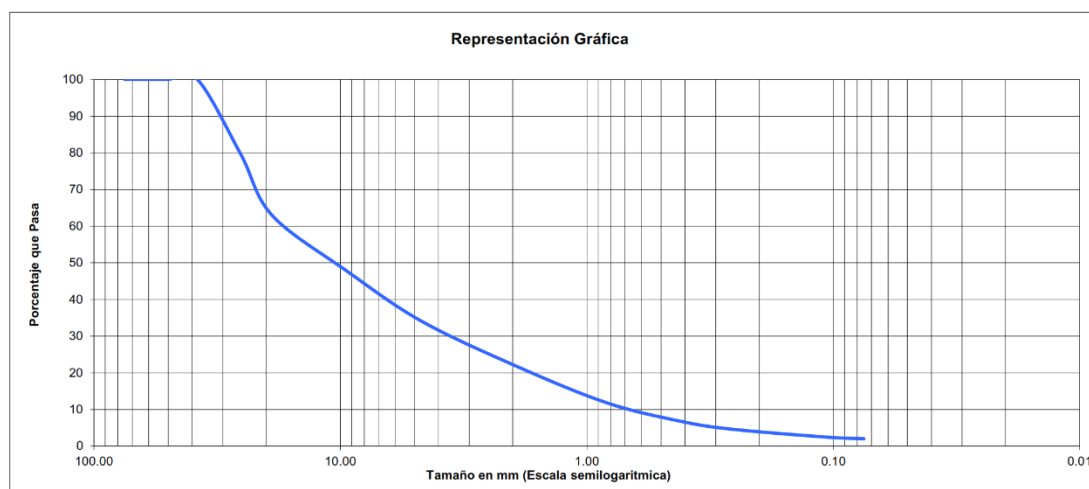
Proyecto: EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA **Código de Muestra:** **250616-MS-HU02**
Ubicación: Dist. Mancos y Amashca, Prov. Yungay, Region Ancash **Fecha de Campo / Ensayo:** 16/06/2025 19/06/2025
Subcuenca: - **Coordenadas UTM ESTE/NORTE** 209,969.00 8,984,296.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

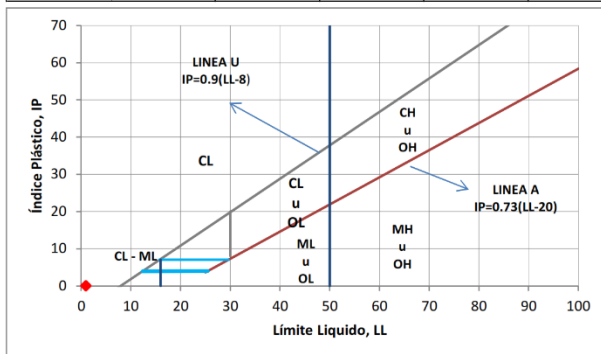
CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487): **GW** ASSTHO: **A-2-4(1)** HUMEDAD (ASTM D2216): **2.0**

Representación Gráfica



Tamiz		Peso retenido	Porcentaje			Descripción de la muestra
Tamaño	Estándar		retenido	acumulado	que pasa	
3"	75,0 mm	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R) B-08	
2"	50,8 mm	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 257.20 g	
1 1/2"	38,1 mm	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R 1,557.10 g	
1"	25,4 mm	259.3	20.4	79.6	Peso Suelo Seco con R 1,531.30 g	
3/4"	19,0 mm	211.5	16.6	63.0	Peso Suelo Seco sin R 1,274.10 g	
3/8"	9,50 mm	192.6	15.1	47.9	Peso Suelo Seco Lavado con R 1,506.60 g	
N° 4	4,76 mm	173.2	13.6	34.3	Peso Suelo Seco Lavado sin R 1,249.40 g	
N° 10	2,00 mm	154.1	12.1	22.2	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm	130.9	10.3	12.0		Grava (%): 65.7 D10: 0.65
N° 40	425 µm	64.2	5.0	6.9		Arena (%): 32.3 D30: 3.48
N° 60	260 µm	29.3	2.3	4.6		Limos y Arcillas (%): 2.0 D50: 10.44
N° 140	106 µm	27.9	2.2	2.4		Cc: 1.1 D60: 16.52
N° 200	75 µm	5.6	0.4	2.0		Cu: 25.48 D90: 30.93
FONDO	-	0.8	2.0	0.0		Grava bien graduada con arena



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-08
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{ema})	1,557.10
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{esa})	1,531.30
Peso del Recipiente (g)	(M _s)	257.20
Peso del Agua (g)	(M _w)	25.80
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,274.10
Humedad (%)	(w)	2.02

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

FIRMA DIGITAL Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:32:23 -05:00

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

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

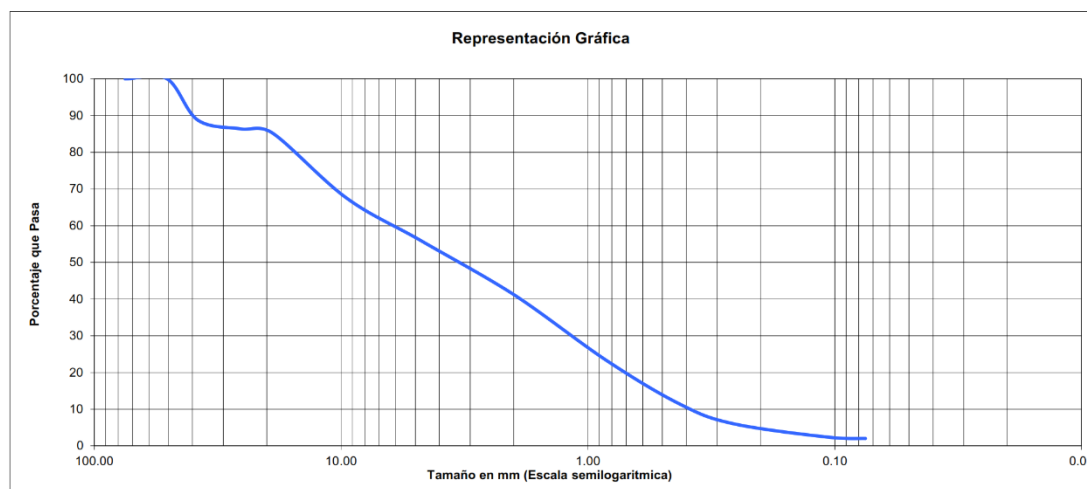
Proyecto: EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA **Código de Muestra:** 250617-MS-HU03
Ubicación: Dist. Mancos y Amashca, Prov. Yungay, Region Ancash **Fecha de Campo / Ensayo:** 17/06/2025 19/06/2025
Subcuenca: - **Coordenadas UTM ESTE/NORTE** 208,519.00 8,984,349.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

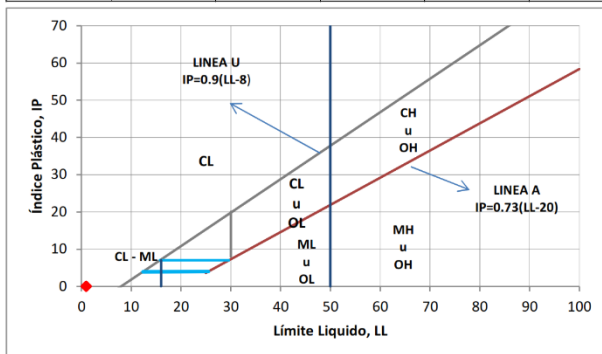
CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487): **SP** ASSTHO: **A-2-4(1)** HUMEDAD (ASTM D2216): **4.1**

Representación Gráfica



Tamaño	Estándar	Peso retenido	Porcentaje			Descripción de la muestra
			retenido	acumulado	que pasa	
3"	75,0 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R) B-12
2"	50,8 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 251.20 g
1 1/2"	38,1 mm	142.0	11.2	11.2	88.8	Peso Suelo Húmedo con R 1,569.00 g
1"	25,4 mm	30.7	2.4	13.6	86.4	Peso Suelo Seco con R 1,516.80 g
3/4"	19,0 mm	13.8	1.1	14.7	85.3	Peso Suelo Seco sin R 1,265.60 g
3/8"	9,50 mm	224.8	17.8	32.5	67.5	Peso Suelo Seco Lavado con R 1,492.60 g
N° 4	4,76 mm	146.3	11.6	44.1	55.9	Peso Suelo Seco Lavado sin R 1,241.40 g
N° 10	2,00 mm	186.0	14.7	58.8	41.2	Valores para la clasificación
N° 20	840 µm	227.1	17.9	76.7	23.3	Grava (%): 44.1 D10: 0.37
N° 40	425 µm	150.0	11.9	88.6	11.4	Arena (%): 53.9 D30: 1.17
N° 60	260 µm	67.6	5.3	93.9	6.1	Limos y Arcillas (%): 2.0 D50: 3.35
N° 140	106 µm	47.2	3.7	97.6	2.4	Cc: 0.6 D60: 6.06
N° 200	75 µm	4.4	0.3	98.0	2.0	Cu: 16.46 D90: 39.15
FONDO	-	1.5	2.0	100.0	0.0	Arena mal graduada con grava



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-12
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,569.00
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{ss})	1,516.80
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	251.20
Peso del Agua (g)	(M _w)	52.20
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,265.60
Humedad (%)	(w)	4.12

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

FIRMA DIGITAL
10 AÑOS **INAIGEM**
 INSTITUTO NACIONAL DE
 INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA
 Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:32:45 -05:00

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

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

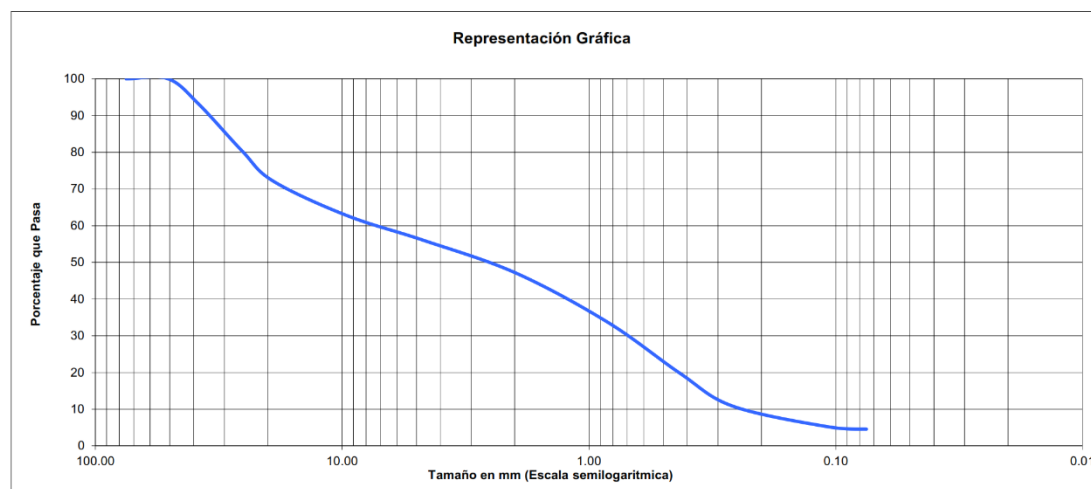
Proyecto: EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA **Código de Muestra:** **250617-MS-HU04**
Ubicación: Dist. Mancos y Amashca, Prov. Yungay, Region Ancash **Fecha de Campo / Ensayo:** 17/06/2025 19/06/2025
Subcuenca: - **Coordenadas UTM ESTE/NORTE** 204,777.00 8,984,093.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

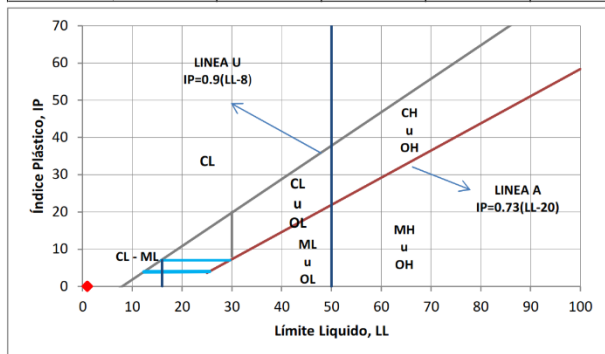
CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487): **SP** ASSTHO: **A-2-4(1)** HUMEDAD (ASTM D2216): **1.5**

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-02
2"	50,8 mm	0.0	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 255.30 g
1 1/2"	38,1 mm	120.6	6.9	6.9	93.1	Peso Suelo Húmedo con R 2,020.30 g
1"	25,4 mm	222.5	12.8	19.7	80.3	Peso Suelo Seco con R 1,994.70 g
3/4"	19,0 mm	142.0	8.2	27.9	72.1	Peso Suelo Seco sin R 1,739.40 g
3/8"	9,50 mm	164.3	9.4	37.3	62.7	Peso Suelo Seco Lavado con R 1,917.40 g
N° 4	4,76 mm	113.5	6.5	43.9	56.1	Peso Suelo Seco Lavado sin R 1,662.10 g
N° 10	2,00 mm	154.7	8.9	52.8	47.2	Valores para la clasificación
N° 20	840 µm	235.4	13.5	66.3	33.7	
N° 40	425 µm	244.4	14.1	80.3	19.7	Arena (%): 51.6 D30 : 0.71
N° 60	260 µm	154.7	8.9	89.2	10.8	Limos y Arcillas (%): 4.6 D50 : 2.61
N° 140	106 µm	97.3	5.6	94.8	5.2	Cc : 0.3 D60 : 7.16
N° 200	75 µm	10.3	0.6	95.4	4.6	Cu : 30.71 D90 : 34.37
FONDO	-	2.4	4.6	100.0	0.0	Arena mal graduada con grava



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-02
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{uma})	2,020.30
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{usa})	1,994.70
Peso del Recipiente (g)	(M _u)	255.30
Peso del Agua (g)	(M _w)	25.60
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,739.40
Humedad (%)	(w)	1.47

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

FIRMA DIGITAL
10 AÑOS **INAIGEM**
 INSTITUTO NACIONAL DE
 INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA
 Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 23600404252 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:33:18 -05:00

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

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

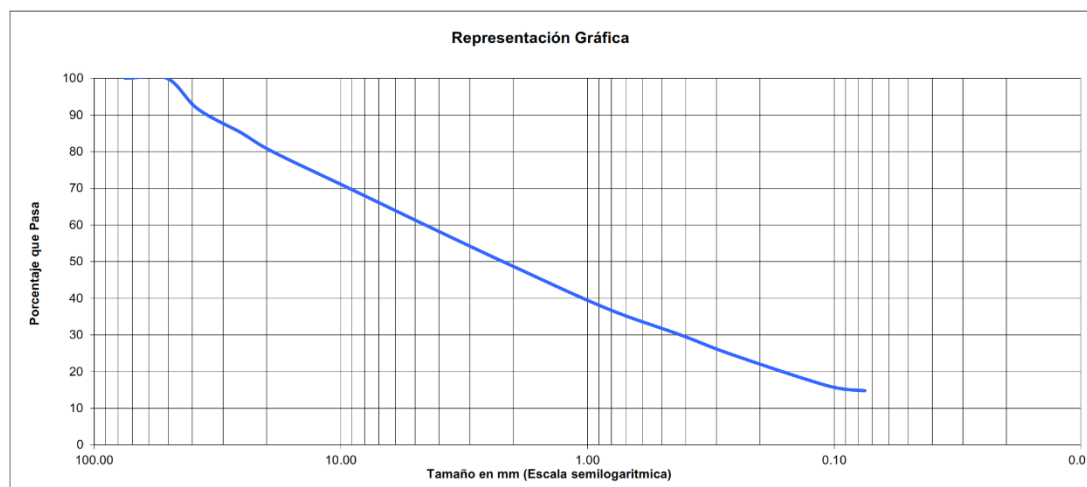
Proyecto: EVALUACIÓN GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA **Código de Muestra:** 250618-MS-HU05
Ubicación: Dist. Mancos y Amashca, Prov. Yungay, Region Ancash **Fecha de Campo / Ensayo:** 18/06/2025 19/06/2025
Subcuenca: - **Coordenadas UTM ESTE/NORTE** 211,324.00 8,983,314.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

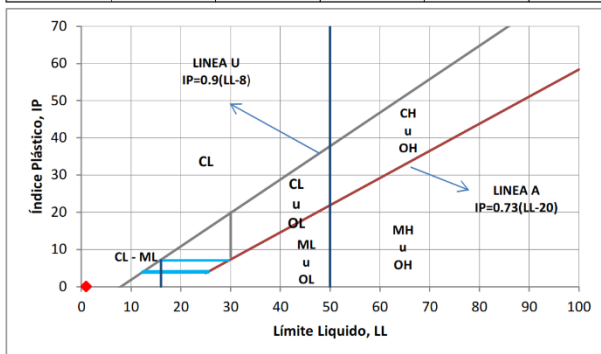
CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487): **SM** ASSTHO: **A-2-4(0)** HUMEDAD (ASTM D2216): **8.6**

Representación Gráfica



Tamiz		Peso retenido	Porcentaje			Descripción de la muestra
Tamaño	Estándar		retenido	acumulado	que pasa	
3"	75,0 mm	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R) B-06	
2"	50,8 mm	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 255.60 g	
1 1/2"	38,1 mm	87.6	8.3	91.7	Peso Suelo Húmedo con R 1,399.50 g	
1"	25,4 mm	68.7	6.5	85.2	Peso Suelo Seco con R 1,309.20 g	
3/4"	19,0 mm	54.1	5.1	80.0	Peso Suelo Seco sin R 1,053.60 g	
3/8"	9,50 mm	101.7	9.7	70.4	Peso Suelo Seco Lavado con R 1,156.20 g	
N° 4	4,76 mm	102.6	9.7	60.6	Peso Suelo Seco Lavado sin R 900.60 g	
N° 10	2,00 mm	125.6	11.9	48.7	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm	120.5	11.4	37.3		Grava (%): 39.4 D10: 0.02
N° 40	425 µm	74.9	7.1	30.2		Arena (%): 45.9 D30: 0.42
N° 60	260 µm	57.9	5.5	24.7		Limos y Arcillas (%): 14.8 D50: 2.19
N° 140	106 µm	90.2	8.6	16.1		Cc: 2.1 D60: 4.53
N° 200	75 µm	14.1	1.3	14.8		Cu: 248.75 D90: 34.10
FONDO	-	2.7	14.8	0.0		Arena limosa con grava



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-06
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{um})	1,399.50
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{ss})	1,309.20
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	255.60
Peso del Agua (g)	(M _w)	90.30
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,053.60
Humedad (%)	(w)	8.57

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
NP	NP	NP

FIRMA DIGITAL
10 AÑOS **INAIGEM**
 INSTITUTO NACIONAL DE
 INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA
 Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:33:38 -05:00

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

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: EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA **Código de Muestra:** 250618-MS-HU06
Ubicación: Dist. Mancos y Amashca, Prov. Yungay, Region Ancash **Fecha de Campo / Ensayo:** 18/06/2025 19/06/2025
Subcuenca: - **Coordenadas UTM ESTE/NORTE** 210,617.00 8,981,933.00

RESULTADOS DEL ENSAYO

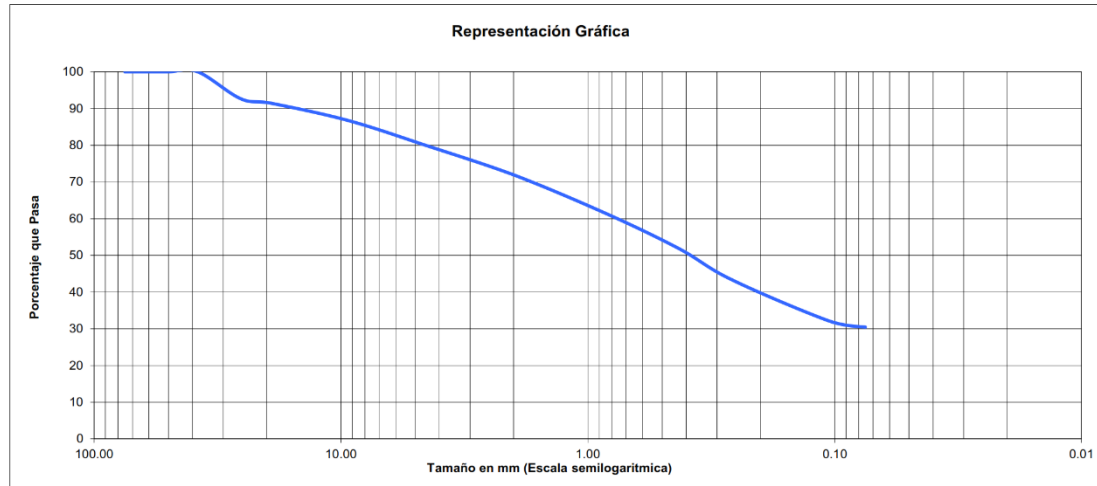
CLASIFICACIÓN:

SUCS (ASTM D2487): **SM**

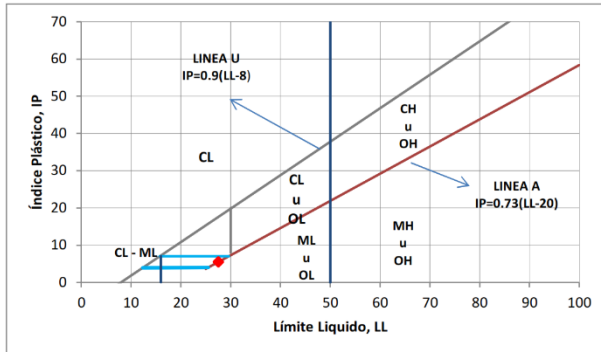
ASSTHO: **A-2-4(0)**

HUMEDAD (ASTM D2216): **5.1**

Representación Gráfica



Tamiz		Peso retenido	Porcentaje			Descripción de la muestra
Tamaño	Estándar		retenido	acumulado	que pasa	
3"	75,0 mm	0.0	0.0	100.0	N° del Recipiente (R) B-10	
2"	50,8 mm	0.0	0.0	100.0	Peso del Recipiente (R) 263.10	
1 1/2"	38,1 mm	0.0	0.0	100.0	Peso Suelo Húmedo con R 1,387.60	
1"	25,4 mm	79.2	7.4	92.6	Peso Suelo Seco con R 1,333.20	
3/4"	19,0 mm	12.8	1.2	91.4	Peso Suelo Seco sin R 1,070.10 g	
3/8"	9,50 mm	48.3	4.5	86.9	Peso Suelo Seco Lavado con R 1,011.70	
N° 4	4,76 mm	68.8	6.4	80.5	Peso Suelo Seco Lavado sin R 748.60 g	
N° 10	2,00 mm	91.2	8.5	71.9	Valores para la clasificación	
N° 20	840 µm	113.3	10.6	61.3		Grava (%): 19.5 D10: 0.00
N° 40	425 µm	102.8	9.6	51.7		Arena (%): 50.0 D30: 0.07
N° 60	260 µm	90.6	8.5	43.3		Limos y Arcillas (%): 30.4 D50: 0.38
N° 140	106 µm	118.4	11.1	32.2		Cc: 1.5 D60: 0.77
N° 200	75 µm	19.0	1.8	30.4		Cu: 189.29 D90: 15.32
FONDO	-	4.2	30.4	0.0		Arena limosa con grava



CONTENIDO DE HUMEDAD		
Descripción de la Muestra		Muestra Total
N° de Recipiente (R)		B-10
Peso Suelo Húmedo más Recipiente (g)	(M _{emb})	1,387.60
Peso Suelo Seco más Recipiente (g)	(M _{esa})	1,333.20
Peso del Recipiente (g)	(M _r)	263.10
Peso del Agua (g)	(M _w)	54.40
Peso del Suelo Seco (g)	(M _s)	1,070.10
Humedad (%)	(w)	5.08

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límites		Índice
Líquido	Plástico	Plástico
27.58	22.17	5.41

FIRMA DIGITAL Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404292 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:34:20 -05:00

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

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:	EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Yungay y Carhuaz	Distrito:	Mancos y Amashca
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	-	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN							
CODIGO:	250616-MS-HU01	Ubicación:	Norte:	8,984,719.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	-
CODIGO DE CAMPO:	MS-01		Este:	210,959.00		Largo (m.)	-
Fecha de Registro:	16 de Junio de 2025		Cota:			Prof. (m.)	-
Método de Excavación:	Manual						

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6189.60
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	2018.00
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	4171.60
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)	2617.60
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	1817.78
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraida del hoyo + recipiente	(gr)	4045.90
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30
10	Peso de la muestra extraida del hoyo [08-09]	(gr)	3796.60
11	Densidad humeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	2.09
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	1.98
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-04
14	Peso de la muestra humeda + recipiente	(gr)	1575.40
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1504.20
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	71.20
17	Peso del recipiente	(gr)	257.60
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1246.60
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	5.71

REGISTRO FOTOGRAFICO



Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Excavación del hoyo, c) Realización del ensayo de densidad en el deposito glaciario.

Observaciones

El deposito glaciario que conforma parte del valle glaciario, presenta taludes casi verticales formados por la erosión fluvial, en los cuales se realizo el ensayo de densidad.

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

Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:26:06 -05:00

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

DATOS DEL PROYECTO						
PRODUCTO:	EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Yungay y Carhuaz	Distrito:	Mancos y Amashca
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	-	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN						
CODIGO:	250616-MS-HU02	Ubicación:	Norte:	8,984,296.00	Dimensiones:	Ancho (m.)
CODIGO DE CAMPO:	MS-02		Este:	209,969.00		Largo (m.)
Fecha de Registro:	16 de Junio de 2025		Cota:	3,326.00		Prof. (m.)
Método de Excavación:	Manual					

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6184.10
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	1962.00
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	4222.10
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)	2668.10
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	1852.85
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	4152.80
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30
10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	3903.50
11	Densidad húmeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	2.11
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	2.06
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-08
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1557.10
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1531.30
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	25.80
17	Peso del recipiente	(gr)	257.20
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1274.10
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	2.02

REGISTRO FOTOGRAFICO

a)



Fotografía: a) Vista panorámica del talud donde se realizó el ensayo de densidad de campo.

Observaciones

El depósito glaciario que conforma parte del valle glaciar, presenta taludes casi verticales formados por la erosión fluvial, en los cuales se realizó el ensayo de densidad.

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

Firmado digitalmente por: COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:26:26 -05:00

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

DATOS DEL PROYECTO						
PRODUCTO:	EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Yungay y Carhuaz	Distrito:	Mancos y Amashca
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	-	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN						
CODIGO:	250617-MS-HU03	Ubicación:	Norte: 8,984,349.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	-
CODIGO DE CAMPO:	MS-03		Este: 208,519.00		Largo (m.)	-
Fecha de Registro:	17 de Junio de 2025		Cota: 3,117.00		Prof. (m.)	-
Método de Excavación:	Manual					

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6158.00
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	2348.60
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	3809.40
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)	2255.40
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	1566.25
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	3074.40
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30
10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	2825.10
11	Densidad húmeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	1.80
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	1.73
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-12
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1569.00
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1516.80
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	52.20
17	Peso del recipiente	(gr)	251.20
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1265.60
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	4.12

REGISTRO FOTOGRAFICO



Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Excavación del hoyo, c) Realización del ensayo de densidad en el depósito fluvial.

Observaciones

El ensayo de densidad se realizó en el margen del río, siendo un material fácilmente erosionable y con una pendiente baja.

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

Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:27:11 -05:00

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

DATOS DEL PROYECTO						
PRODUCTO:	EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Yungay y Carhuaz	Distrito:	Mancos y Amashca
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	-	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN						
CODIGO:	250618-MS-HU05	Ubicación:	Norte: 8,983,314.00	Dimensiones:	Ancho (m.)	-
CODIGO DE CAMPO:	MS-05		Este: 211,324.00		Largo (m.)	-
Fecha de Registro:	18 de Junio de 2025		Cota: 3,512.00		Prof. (m.)	-
Método de Excavación:	Manual					

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	6106.00
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	1951.90
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	4154.10
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)	2600.10
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	1805.63
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	3889.80
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30
10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	3640.50
11	Densidad húmeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	2.02
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	1.86
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-06
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1399.50
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1309.20
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	90.30
17	Peso del recipiente	(gr)	255.60
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1053.60
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	8.57

REGISTRO FOTOGRAFICO



Fotografía: a) Preparación del suelo para la realización del ensayo in situ, b) Excavación del hoyo, c) Realización del ensayo de densidad en el depósito inconsolidado.

Observaciones
El ensayo de densidad se realizó en un corte de carretera.

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

Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:28:27 -05:00

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

DATOS DEL PROYECTO						
PRODUCTO:	EVALUACION GEOTECNICA DE LOS MATERIALES EN LOS DISTRITOS DE MANCOS Y AMASHCA					
Actividad POI 2025:	AOI00163000139					
Actividad:	MONITOREO DEL PELIGRO EN LAGUNAS Y GLACIARES PRIORIZADOS					
Ubicación Política:	Región:	Ancash	Provincia:	Yungay y Carhuaz	Distrito:	Mancos y Amashca
Ubicación Hidrográfica:	Cuenca:	Santa	Sub-cuenca:	-	Laguna:	-

DATOS DE LA EXCAVACIÓN						
CODIGO:	250618-MS-HU06	Ubicación:	Norte:	8,981,933.00	Dimensiones:	Ancho (m.)
CODIGO DE CAMPO:	MS-06		Este:	210,617.00		Largo (m.)
Fecha de Registro:	18 de Junio de 2025		Cota:			Prof. (m.)
Método de Excavación:	Manual					

ENSAYO CONO DE ARENA			
VOLUMEN DEL HOYO :			
1	Peso del cono + arena (inicial)	(gr)	5925.10
2	Peso del cono + arena (final)	(gr)	2809.60
3	Peso de la arena empleada [01-02]	(gr)	3115.50
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)	1561.50
6	Densidad de la arena	(gr/cm3)	1.44
7	Volumen del hoyo [05/06]	(cm3)	1084.38
DENSIDAD IN SITU DE LA MUESTRA TOTAL :			
8	Peso de la muestra extraída del hoyo + recipiente	(gr)	2201.50
9	Peso del recipiente	(gr)	249.30
10	Peso de la muestra extraída del hoyo [08-09]	(gr)	1952.20
11	Densidad húmeda in situ [10/07]	(gr/cm3)	1.80
12	Densidad seca in situ [11/(1+(19/100))]	(gr/cm3)	1.71
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
13	N° de recipiente		B-10
14	Peso de la muestra húmeda + recipiente	(gr)	1387.60
15	Peso de la muestra seca + recipiente	(gr)	1333.20
16	Peso del agua [14-15]	(gr)	54.40
17	Peso del recipiente	(gr)	263.10
18	Peso de la muestra seca [15-17]	(gr)	1070.10
19	Contenido de humedad [16/18*100]	(%)	5.08

REGISTRO FOTOGRAFICO



Observaciones

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

Firmado digitalmente por COSI
 FAJARDO Manuel Antonio FAU
 20600404262 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 15.07.2025 17:28:45 -05:00