

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7710

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO CRUZ DE CHULLIN DEL BARRIO SAN BARTOLOMÉ, HUARI

Departamento: Áncash

Provincia: Huari

Distrito: Huari



DICIEMBRE
2025

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO CRUZ DE CHULLIN DEL BARRIO SAN BARTOLOMÉ, HUARI

Distrito Huari
Provincia Huari
Departamento Áncash



Elaborado por la Dirección de
Geología Ambiental y Riesgo
Geológico del Ingemmet

Equipo técnico:

Ely M. Ccorimanya Chalco

Norma L. Sosa Senticala

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). *“Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Cruz de Chullin del Barrio San Bartolomé, Huari”*. Distrito Huari, provincia Huari, departamento de Áncash. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N°A7710, 45p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1.1. Objetivos del estudio	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	4
1.3. Aspectos generales.....	6
1.3.1. Ubicación	6
1.3.2. Población	8
1.3.3. Accesibilidad	8
1.3.4. Clima	8
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	11
3.1. Unidades litológicas.....	11
3.1.1. Formación Oyón (Ki-oy).....	11
3.1.2. Depósitos cuaternarios.....	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	15
4.1. Pendientes del terreno	15
4.2. Índice Topográfico de Humedad.....	15
4.3. Unidades geomorfológicas	18
4.3.1. Unidad de montañas	18
4.3.2. Unidad de vertiente	19
5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	21
5.1. Derrumbe-flujo.....	21
5.2. Caída de rocas.....	24
5.3. Deslizamiento en proceso de reactivación	25
5.4. Deslizamiento rotacional Antiguo	28
5.5. Factores condicionantes.....	29
5.6. Factores desencadenantes.....	30
6. CONCLUSIONES.....	32
7. RECOMENDACIONES.....	34
8. BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXO 1: MAPAS.....	36
ANEXO 2: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA.....	41

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el cerro Cruz de Chullin, del barrio San Bartolomé, distrito Huari, provincia Huari, departamento Áncash. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

El sustrato rocoso del área de estudio cerro Cruz de Chullin está compuesto principalmente por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas, intercaladas con limoarcillitas negras y grises muy fracturadas, laminadas y altamente meteorizadas. Estas características litológicas favorecen la infiltración de agua, y bajo condiciones de saturación hídrica, las limoarcillitas pierden cohesión y adquieren un comportamiento plástico, lo que reduce significativamente la resistencia al corte del terreno, aumentando su susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa por gravedad.

El poblado de Huari se encuentra sobre un depósito coluvio-deluvial poco consolidado, correspondiente a un antiguo deslizamiento, compuesto por una mezcla heterométrica de fragmentos angulosos a subangulosos de roca (10%) de tipo areniscas cuarzosas de grano fino a medio de la Formación Oyón, gravas (35%) y matriz areno arcilloso (55%) y presentan una estructura caótica.

Geomorfológicamente el cerro Cruz de Chullin corresponde a una montaña en roca sedimentaria, específicamente a un escarpe principal de in deslizamiento antiguo, presenta pendientes muy fuertes (25° a 45°) y sectores con pendientes muy escarpadas (>45°), lo cual constituye un factor geomorfológico que favorece la ocurrencia de movimientos en masa por gravedad, como derrumbes, caída de rocas y deslizamientos, especialmente en combinación con la alta fracturación de la roca sedimentaria aflorante.

En cuanto a la geodinámica externa se identificó un derrumbe-flujo con 5 m de longitud de zona de arranque y 12 m de altura ocurrido el 22 de marzo del 2025 fue originado por la rotura de una tubería de 6 pulgadas de diámetro de abastecimiento de agua potable al reservorio 1, la cual fue afectada por el empuje de raíces de un árbol de eucalipto, este evento generó un flujo de detritos alcanzando 57 m ladera abajo y pudo afectar a las viviendas ubicadas en el Barrio San Bartolomé.

En cuanto al proceso de caída de rocas, en las coordenadas 261370 E; 8966140 N, se identificó un afloramiento rocoso entre muy fracturado a medianamente fracturado que corresponde a areniscas cuarzosas con grietas abiertas que han evolucionado desde el 2019 y que evidenciaron desprendimientos durante las lluvias del 2022. Se visualizó una grieta longitudinal que corta todo el afloramiento con 20 cm de abertura. La infraestructura del mirador Mamashoco, ubicada en la base del talud rocoso, presenta daños estructurales graves, como grietas con longitudes de hasta 20 m, asentamientos de 12 cm y desplazamientos diferenciales con aberturas de 4, 10 y hasta 30 cm que indican la afectación directa por deformaciones del terreno y caída de rocas.

Finalmente en la margen izquierda del afloramiento rocoso en las coordenadas 261381 E; 8966165 N, se identificó un deslizamiento en proceso de reactivación con longitud de escarpe de 20 m, distancia entre el escarpe y pie del deslizamiento de 52 m, actualmente se encuentra sin cobertura vegetal (por tala de árboles) lo que favorece a la erosión hídrica y saturación del terreno, de continuar con las mismas características actuales podría

reactivarse en periodos de lluvias y afectar 23 m de la vía nacional y aproximadamente 07 viviendas del barrio San Bartolomé.

Las actividades humanas como los cortes de talud para el camino de peregrinación han alterado el equilibrio geotécnico del terreno, disminuyendo el factor de seguridad de las laderas intervenidas. Estas modificaciones incrementan el riesgo de inestabilidad en el sector y la presencia de tuberías de abastecimiento para los reservorios 1,2 y 3 de agua potable que cruzan la ladera del cerro, que, por su deterioro o ruptura por empuje del terreno o raíces, representa un factor detonante adicional, esta infiltración descontrolada de agua por fugas podría saturar localmente el terreno, favoreciendo la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes, caída de rocas que pondrían en riesgo a las viviendas del barrio San Bartolomé, ubicadas al pie del cerro.

Los principales factores desencadenantes, para la ocurrencia de movimientos en masa son las precipitaciones pluviales y los sismos, donde la infiltración de agua durante lluvias intensas en materiales finos y en roca fracturada reduce la resistencia al corte del terreno y pueden reactivar o generar nuevos procesos de movimientos en masa. Por su parte los sismos inducen vibraciones que desestabilizan bloques rocosos en equilibrio precario y pueden romper la cohesión del suelo en zonas saturadas y esto favorecería a la ocurrencia de caída de rocas, derrumbes, deslizamientos en laderas de altas pendientes.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas mencionadas líneas arriba, el área de estudio se considera de **Peligro Alto** frente a caída de rocas, derrumbes y deslizamientos. Las condiciones actuales favorecen a una posible ocurrencia de caída de rocas, derrumbes y reactivación del deslizamiento por lo que se recomienda implementar medidas de mitigación especialmente en el manejo de las aguas superficiales de drenajes y canales de riego en la parte alta de la ladera del cerro Cruz de Chullin.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones generales a fin de que las autoridades competentes lo pongan en práctica.

INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) el “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad distrital de Huari según Oficio N°105-2025-MPHi/A; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos en el Cerro Cruz de Chullin del Barrio San Bartolomé, Huari.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros geólogos Ely Milder Ccorimanya Challco y Norma Luz Sosa Senticala, para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en el poblado Huari, específicamente en el Cerro Cruz de Chullin del Barrio San Bartolomé, llevado a cabo el 15 de julio del 2025. Los trabajos de campo se realizaron previa coordinación con representante del área de Gestión del Riesgo de Desastres del Distrito de Huari.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: i) Gabinete I, con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; ii) etapa de campo con la toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local; iii) Gabinete II, se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, reinterpretación de imágenes satelitales, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital y Provincial de Huari e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664. A fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el Cerro Cruz de Chullin del Barrio San Bartolomé, Huari.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a la zona de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 60, Serie A, Carta Geológica Nacional: “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, escala 1:100 000” (Wilson, J., Reyes L., Garayar J. 1996). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores, donde aflora la formación Oyón.
- B) Informe técnico N° A7501 – Diagnostico de zonas críticas por movimientos en masa en laderas a nivel Nacional (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET., 2024), donde muestra el cuadro de zonas críticas por movimientos en masa ocurrido en laderas, en el que se menciona reptación de suelos ocurrido en el distrito de Cajay.
- C) Informe Técnico N° A7106 Evaluación de Peligros Geológicos por Movimientos en Masa en el Centro Poblado de Cajay (Lara J. & Araujo G., 2020), donde evaluaron procesos de reptación de suelos y deslizamientos. Entre los factores condicionantes tenemos la pendiente del terreno, suelos no consolidados, escasa cobertura vegetal y mal manejo del sistema de drenaje y riego. Los factores desencadenantes son las precipitaciones pluviales y/o sismicidad. Se concluye que el área de estudio es considerada como una Zona Crítica de peligro muy alto a la ocurrencia de reptación de suelos y deslizamientos.
- D) Reporte complementario N° 5470 – 1/5/2025/COEN-INDECI/22:30 HORAS – Deslizamiento en el distrito de Huari -Ancash, donde mencionan que a consecuencia de las lluvias intensas se registró un deslizamiento que causó daños materiales (infraestructura de transporte) en el centro poblado de Mallas, distrito y provincia de Huari.
- E) Boletín N° 38, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Riesgos Geológicos en la Región Ancash” (Zavala, B., et al. 2009), donde se prepararon el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la región utilizando el método heurístico, donde se muestra que el área de estudio se encuentra dentro del grado de susceptibilidad alto a muy alto a movimientos en masa (Figura 1).

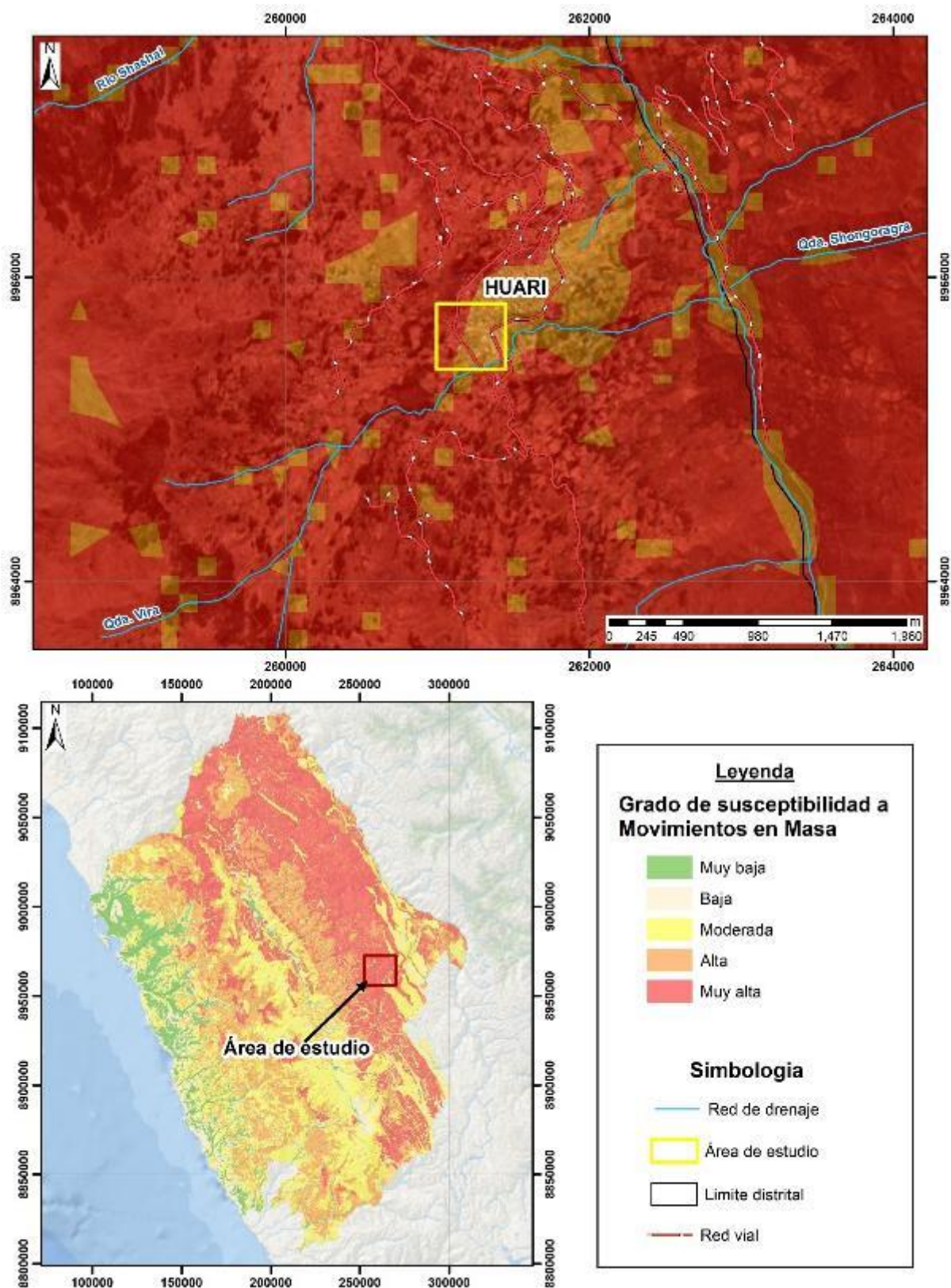


Figura 1. Imagen donde se muestra el grado de susceptibilidad a movimientos en masa del Poblado Huari.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El cerro Cruz de Chullin del barrio San Bartolomé, políticamente pertenece al distrito de Huari, provincia Huari y departamento Ancash

Las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) se muestran en la tabla 1 que a continuación se detalla:

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	260834	8965894	-9.348371°	-77.177562°
2	261222	8966309	-9.344642°	-77.174007°
3	261798	8965975	-9.347693°	-77.168784°
4	261243	8965475	-9.352181°	-77.173863°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	261166	8966019	-9.347260°	-77.174533°

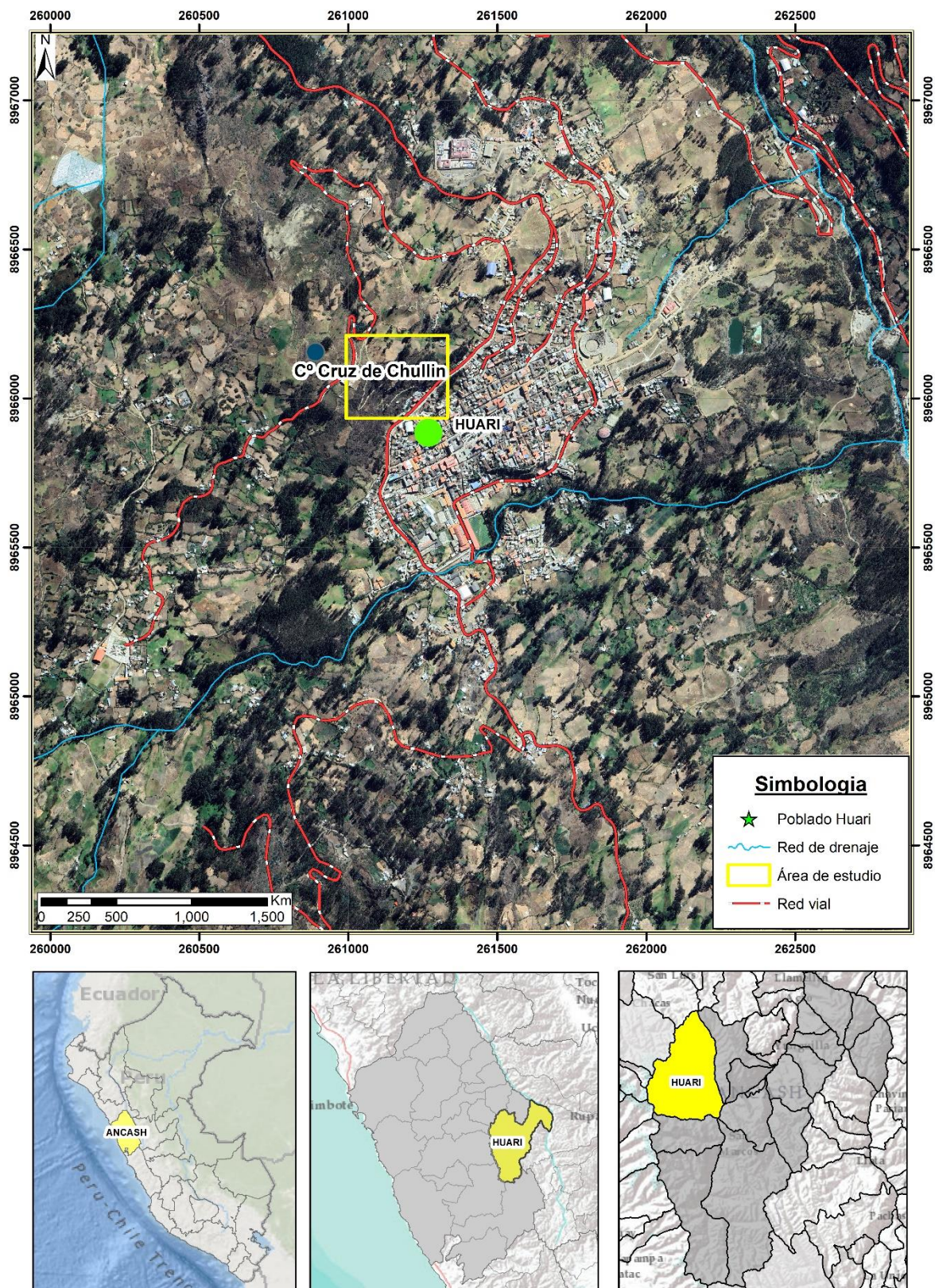


Figura 2. Imagen satelital donde se muestra la ubicación del Área de estudio cerro Cruz de Chullin del barrio San Bartolomé y su ubicación geopolítica.

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la población censada del distrito de Huari fue de 9178 habitantes de las cuales 4397 son hombres y 4781 son mujeres, respecto a la ciudad Huari se tiene un total de 4850 habitantes de los cuales 2315 son hombres y 2535 son mujeres que habitan 1375 viviendas particulares.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre desde la sede central de Ingemmet, mediante la siguiente ruta (tabla 2):

Tabla 2. Ruta de acceso al área de estudio.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Conococha	Asfaltada	329	6 hora 41 min
Conococha – Chavin de Huántar	Asfaltada	126	2 hora 42 min
Chavin de Huántar - Huari	Trocha	39.3	2 hora 22 min

1.3.4. Clima

Según los datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere, el cual analiza datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos ráster y de satélite, la precipitación máxima registrada en el periodo enero, 2022 – julio 2025 fue de 55.7 mm, según los registros de precipitaciones diarias vemos que entre los meses de enero hasta abril corresponde a los meses de mayor ocurrencia a precipitaciones pluviales (figura 3).

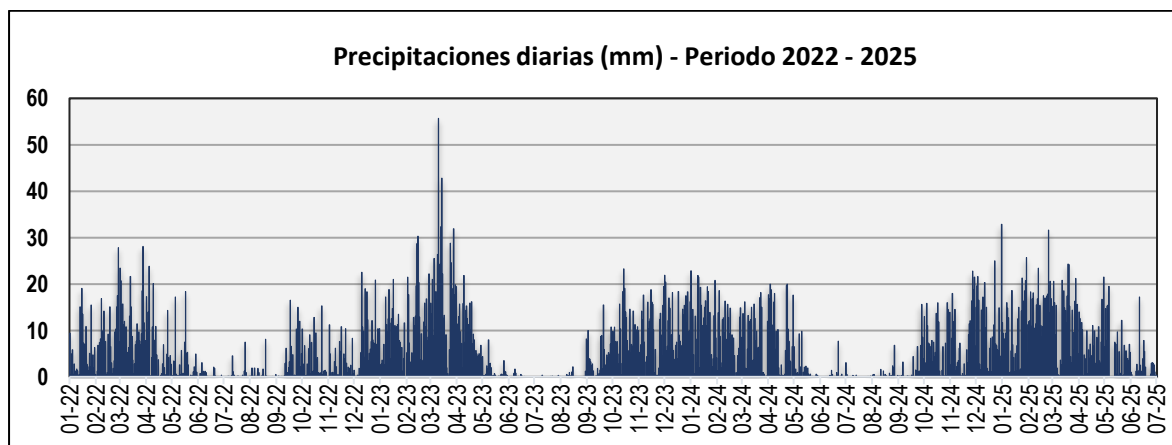


Figura 3. Precipitaciones máximas acumulada en mm, distribuidas a lo largo del periodo enero, 2022 –julio, 2025. Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history>.

La temperatura oscila entre un máximo de 20°C y un mínimo de 0°C (figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 69.212% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

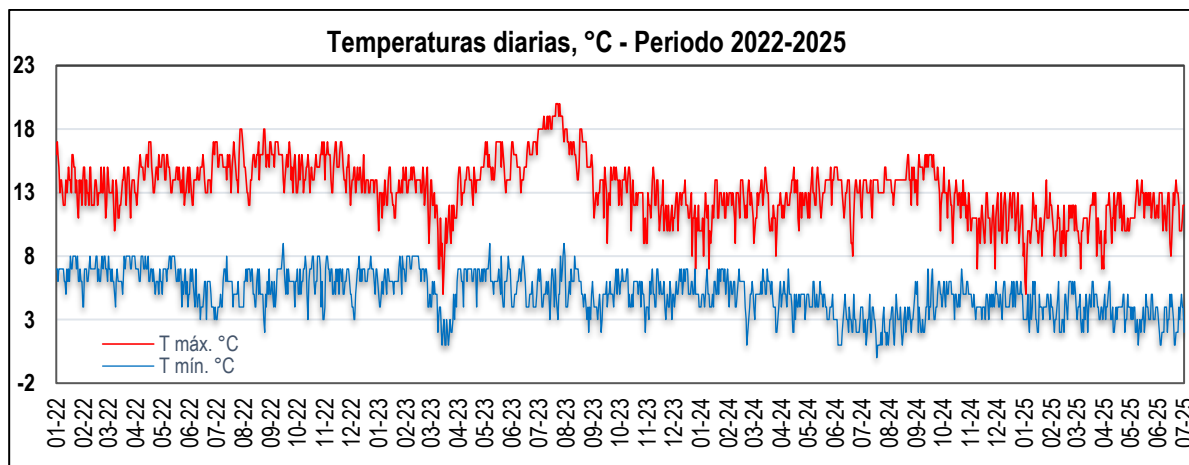


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo enero 2022-julio 2025. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. **Fuente:** <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history>.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos; es por ese motivo, considerando como base el libro de “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), se desarrolla algunas definiciones:

ACTIVIDAD: La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

ACTIVO: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

AGRIETAMIENTO: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CAÍDA: Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

COLUVIAL: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

DERRUMBE: Es un tipo de caída que ocurre ladera abajo por efectos de la gravedad, este tipo de peligro a diferencia de un deslizamiento no presenta una superficie clara de desplazamiento del material. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

DESLIZAMIENTO: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

DESLIZAMIENTO ROTACIONAL: Tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

FACTOR CONDICIONANTE: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

FACTOR DETONANTE: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

INACTIVO: Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la masa de suelo o roca actualmente no presenta movimiento, o que no presenta evidencias de movimientos en el último ciclo estacional (WP/WLI, 1993).

INACTIVO LATENTE: Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993).

MOVIMIENTO EN MASA: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.

PELIGROS GEOLÓGICOS: Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.

REPTACIÓN DE SUELOS: Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

SATURACIÓN: El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

SUSCEPTIBILIDAD: La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

VELOCIDAD: Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base el mapa geológico de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari (Hojas 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-g y 19-i) (Wilson J., Reyes L., Garayar J., 1996) a escala 1: 100,000 y la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huari (19-i) Escala 1: 100 000” (Valdivia & Mamani, 2003) donde se ha identificado principalmente unidad litoestratigráfica como la Formación Oyón.

De igual manera, esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite y observaciones de campo.

3.1. Unidades litológicas

La unidad litológica que conforma el sustrato rocoso son rocas sedimentarias de la Formación Oyón conformada por areniscas cuarzosas masivas con pequeñas intercalaciones de limoarcillitas negras.

Específicamente en el área de estudio, esta unidad se encuentra ligeramente cubierta por depósitos recientes de tipo coluvio-deluvial producto del depósito de un deslizamiento antiguo, (Anexo 1: Mapa 01).

3.1.1. Formación Oyón (Ki-oy)

La Formación Oyón de edad Cretácico inferior el cual corresponde al sustrato rocoso conformado por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, intercaladas con limoarcillitas oscuras (negras y grises) que generalmente se encuentran laminadas, además de delgados niveles de carbón, afloran en el cerro Cruz de Chullin que rodea de norte a noroeste la ciudad de Huari, donde se puede visualizar niveles de limoarcillitas que pueden alcanzar los 2 m de espesor.

Ladera arriba se pudo visualizar afloramientos de la Formación Oyón que corresponden a areniscas cuarzosas, las cuales se encuentran medianamente fracturada, moderadamente meteorizada, particularmente las limoarcillitas se encuentran muy fracturadas y altamente meteorizadas, las cuales, al saturarse, pierden cohesión y se comportan de manera plástica,

disminuyendo significativamente su resistencia al corte. Esta condición favorece la generación de procesos de movimientos en masa bajo condiciones de saturación hídrica.

Los espaciamientos entre fracturas en los afloramientos de areniscas que van desde 0.10 a 0.60 m, esta característica permite mayor infiltración de aguas de precipitaciones pluviales y/o del riego de terrenos en la parte alta lo que podría condicionar a la estabilidad de taludes.



Fotografía 1. Afloramiento rocoso de la Formación Oyón que corresponden a areniscas cuarzosas de grano fino a medio, las cuales se encuentran medianamente fracturada con espaciamientos entre fracturas que van de 0.10 a 0.60 m, moderadamente meteorizada.



Fotografía 2. Afloramiento rocoso de la Formación Oyón que corresponde a limoarcillitas negras laminadas, las cuales se encuentran muy fracturadas y meteorizadas.

3.1.2. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd)

Proviene de diversos movimientos en masa, transportados por la gravedad e influencia del agua. El poblado de Huari se encuentra sobre este tipo de depósito. Se le asigna una edad Cuaternario-Holoceno, están conformados por material proveniente de movimientos en masa antiguos, como deslizamientos y deluviales (transporte y deposición por acción del agua de escorrentía superficial no canalizada), está compuesto por una mezcla heterométrica de fragmentos angulosos a subangulosos de roca (10%) de tipo areniscas cuarzosas de grano fino a medio de la Formación Oyón, gravas (35%) y matriz areno arcilloso (55%) y presentan una estructura caótica (figura 5).

Por el tipo de matriz areno arcilloso, es de permeabilidad muy variable lo que favorece la acumulación de agua en ciertos estratos y puede inducir condiciones de saturación parcial o incluso total, con baja compacidad y resistencia al corte lo que favorecería a la ocurrencia de un deslizamiento o movimiento en masa por gravedad, especialmente cuando este se encuentre saturado.



Figura 5. Depósito coluvio-deluvial compuesto por fragmentos angulosos a subangulosos de roca (10%) de tipo areniscas cuarzosas, gravas (35%) y matriz areno arcilloso (55%) y presentan una estructura caótica

b. Depósito coluvial (Qh-cl):

Son depósitos no consolidados que se acumulan en la ladera o al pie de ladera, son el resultado de procesos por gravedad como deslizamientos, derrumbes, los depósitos coluviales están compuestos por una mezcla de fragmentos de roca angulosos a subangulosos, de tamaño variable y con una estratificación ausente, envueltos en matriz areno arcillosa, de permeabilidad media a alta. Son de naturaleza litológica homogénea (fragmentos de areniscas de 5 a 25 cm) y producto de un derrumbe.

El depósito se encuentra conformado por fragmentos de roca (30%), gravas (40%), arena y arcilla (30%), que presentan poca a nula compactación (fotografía 3).

En el área de estudio este tipo de depósitos principalmente se encuentran producto del derrumbe desencadenado por la ruptura de tubería de agua potable que cruza por la ladera del Cerro Cruz de Chullin.



Fotografía 3. Vista del depósito coluvial conformada por fragmentos de roca (30%), gravas (40%), arena y arcilla (30%), se puede observar que corresponde a un depósito no consolidado, producto de derrumbe.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno es uno de los parámetros más importantes en la evaluación de procesos por movimientos en masa, ya que actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el anexo 1: Mapa 02, se presenta el mapa de pendientes elaborado en base a información de un modelo de elevación digital (DEM) de 12.5 m de resolución obtenido de ALOS PALSAR (USGS) y en base de la fotogrametría con dron con 0.178 m de resolución procesados en el software ArcGis. Donde se analiza 6 rangos de pendientes del terreno: i) 0°-1°, muy baja; ii) 1° a 5°, baja; iii) 5° a 15°, moderada; iv) 15° a 25°, fuerte; v) 25° a 45° muy fuerte; y vi) mayor a 45° muy escarpado o abrupto.

El área de estudio cerro Cruz de Chullin se encuentra sobre montaña en roca sedimentaria, específicamente en el escarpe principal del deslizamiento antiguo y con pendientes que varían desde pendiente muy fuerte (25° a 45°) y pendientes muy escarpados > 45°.

4.2. Índice Topográfico de Humedad

El índice topográfico de humedad (TWI) permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de aguas de escorrentía superficial (Figura 6).

La obtención de este indicador fue realizada mediante una secuencia de análisis de modelos digitales de terreno (MDT) obtenido de ALOS y procesados en SAGA GIS.

Es así, que muestra una importante cantidad de acumulación de agua y drenajes que discurren ladera abajo en temporada de lluvias con dirección al cuerpo del deslizamiento antiguo donde se encuentra asentada el poblado de Huari; lo que sugiere que en periodos de lluvias incrementa la posibilidad de inestabilidad y producirse nuevas reactivaciones de deslizamientos.

Por otro lado, respecto al TWI local específico en el cerro Cruz de Chullin sugiere que en periodos de lluvias el agua discurre formando drenajes por la ladera del cerro con dirección al barrio San Cristóbal.

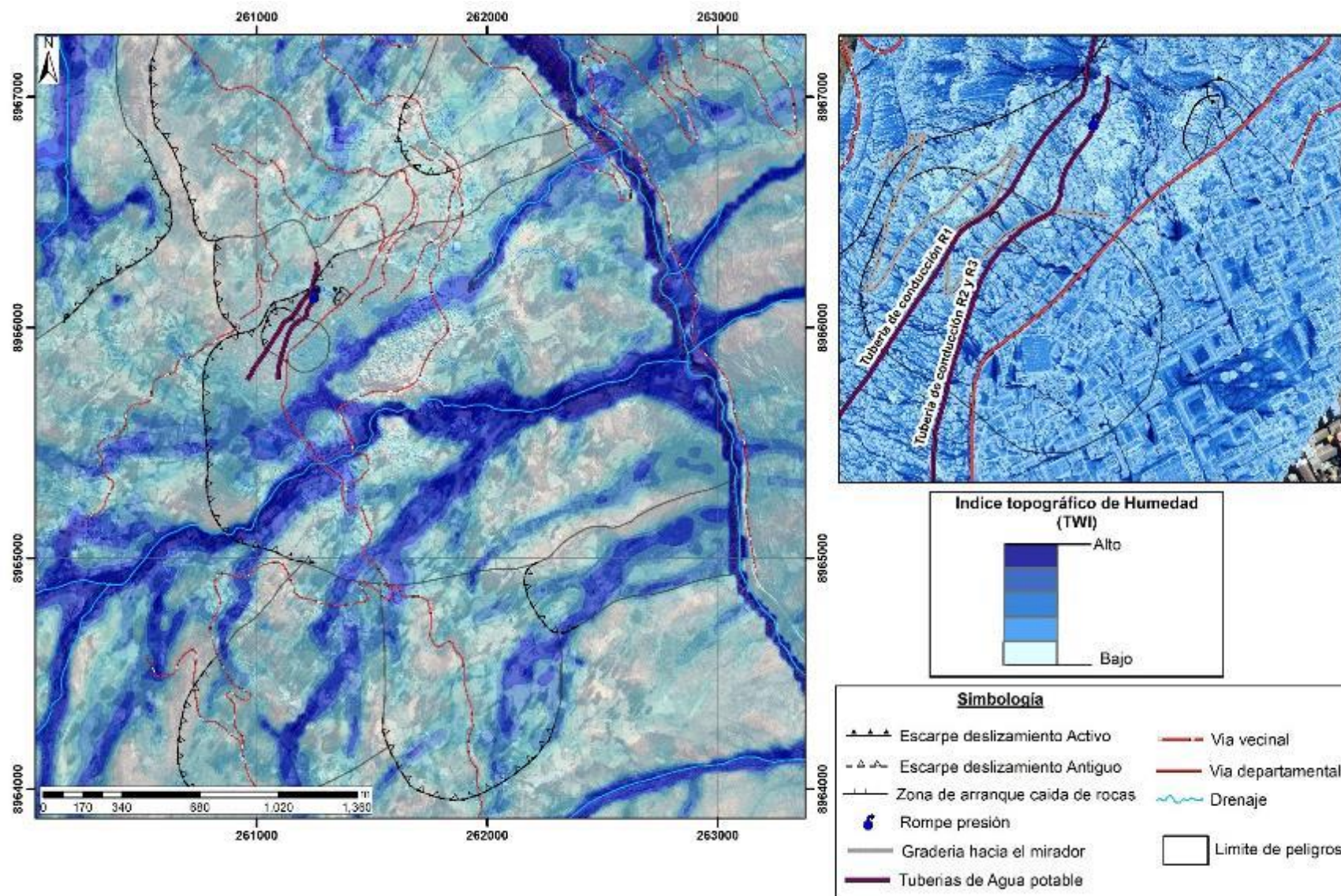


Figura 6: Mapa de Índice topográfico de humedad (TWI) en el cerro Cruz de Chullin del barrio San Bartolomé y alrededores.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades y subunidades geomorfológicas en el área de estudio se utilizó el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve. Asimismo, para la delimitación de las subunidades, se consideró los límites de las unidades litoestratigráficas (afloramiento y substrato rocoso, así como depósitos superficiales).

En el Anexo 1: Mapa 03 se presentan las subunidades geomorfológicas identificadas en la zona evaluada y alrededores; identificándose las siguientes geoformas:

4.3.1. Unidad de montañas

Se caracterizan por tener una altura de más de 300 m con respecto al nivel base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual (Villota, 2005).

a. Subunidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs):

Es una forma de relieve positivo con pendientes muy fuertes y en ciertas zonas presentan pendientes muy escarpados. Se encuentran en la parte alta del barrio San Bartolomé y alrededores del poblado Huari; su asociación litológica es principalmente sedimentaria areniscas cuarzosas de grano fino a medio, intercaladas con limoarcillitas negras y grises a veces laminadas, además de niveles de carbón (Formación Oyón); estructuralmente se presentan secuencias estratificadas fracturadas.

Geodinámicamente se asocian a procesos de movimientos en masa. Dependiendo del buzamiento de los estratos se pueden presentar derrumbes por falla planar y deslizamientos traslacionales cuando las capas buzan hacia la pendiente de la ladera.

En la ladera del cerro Cruz de Chullin por el grado de fracturamiento de la roca, el agua se infiltra, que podrían generar inestabilidad en el talud provocando futuros derrumbes, caída de rocas y deslizamientos, cabe mencionar que dicha ladera de cerro corresponde parte del escarpe del deslizamiento antiguo.



Figura 7. Vista de la subunidad de relieve de montaña en roca sedimentaria (RM-rs), cuyas laderas presentan pendientes de muy fuerte (25° - 45°) a muy escarpados ($>45^{\circ}$).

4.3.2. Unidad de vertiente

Se identificó las siguientes subunidades:

a. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):

Corresponde a la subunidad de tipo depositacional, es una geoforma que se origina por la acumulación de los materiales que fueron movilizados provenientes de deslizamientos antiguos y recientes ocurridos en la zona, modifican localmente la forma de la ladera alcanzando pendientes moderados, fuertes e incluso muy fuertes (7° - 45°).

Presentan una morfología convexa con forma semicircular a elongada, se ubica en la ladera este del cerro Cruz de Chullin y en los flancos este del cerro Yanaccacca, donde el material del deslizamiento se acumuló en su momento y generó variación en la superficie topográfica (figura 10). Este tipo de morfología son susceptibles a generar nuevos deslizamientos.

b. Subunidad de vertiente o piedemonte coluvial (V-cl):

Subunidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial (acarreados y acumulados por efecto de la gravedad), estos se acumulan al pie de los taludes formados producto de derrumbes. Se pueden asociar geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa como derrumbes, caída de rocas (figura 11).



Figura 10. Vista de la Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), donde se evidencia que el poblado de Huari se asienta sobre el cuerpo de un deslizamiento antiguo.



Figura 11. Vista de la Subunidad de vertiente coluvial (V-cl) en la ladera del cerro Cruz de Chullin, se visualiza también afloramiento rocoso muy fracturado susceptible a caída de rocas.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el poblado de Huari corresponden a deslizamientos de tipo rotacional con reactivaciones antiguos (Inactivo latente). Específicamente en la ladera del cerro Cruz de Chullin, se identificó un derrumbe-flujo provocado por la rotura de la tubería de agua potable que cruza la ladera de dicho cerro, adicionalmente a estos procesos podemos observar la existencia de afloramientos rocosos muy fracturados que podrían desprenderse y llegar a afectar algunas viviendas del barrio San Bartolomé. (anexo 1: Mapa 4).

La caracterización de este evento se realizó en base a la información obtenida durante los trabajos de campo, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico, basado en la observación y descripción morfométrica in situ; de igual modo, se tomó datos con GPS, fotografías a nivel de terreno, fotografías con dron y complementada con el análisis de imágenes satelitales.

5.1. Derrumbe-flujo.

El derrumbe-flujo ubicado en la ladera del cerro Cruz de Chullin en las coordenadas 261158 E; 8966044 N, el cual presenta 5 m de longitud de arranque y altura de 12 m (figura 12). La unidad de GRD y Defensa Civil del distrito Huari mencionan que el 05 de marzo del presente año se realizó una inspección in situ donde mencionan lo siguiente: El derrumbe-flujo fue desencadenado por la rotura de tubería de agua potable de 6 pulgadas de diámetro que abastece al Reservoirio 1 (este a su vez abastece de agua potable a los barrios San Bartolomé, Santa Rosa, Milagro y Virá Bajo), el cual pasa bajo el suelo por la ladera del cerro Cruz de Chullin, este reservorio fue roto por las raíces de los árboles de eucalipto que se encuentran en la zona.

Desde la zona de arranque se desprendió rocas de 15 a 25 cm que fueron arrastrados por el agua ladera abajo formando flujo de detritos con longitud de 57 m, llegando muy cerca de las viviendas asentadas al pie del cerro Cruz de Chullin que corresponden al barrio San Bartolomé (figura 13).

Según información recopilada por el área de GRD de Huari, indican que por la sección del cerro también pasa una segunda línea de conducción de agua con 6 pulgadas de diámetro, que abastece el Reservoirio 2 y 3, los cuales brindan agua a algunos barrios del distrito Huari.

Es importante mencionar que estas tuberías representan una amenaza para la estabilidad de taludes ya que ante una posible rotura podría inducir a nuevos procesos de movimientos en masa con una potencial afectación a las viviendas ubicadas en la parte inferior de la ladera (figura 14).



Figura 12. Vista del derrumbe provocado por la rotura de tubería con 5m de longitud de arranque y altura de arranque de 12m, en la ladera del cerro Cruz de Chullin, donde aflora la formación Oyón.



Figura 13. Vista de la zona de arranque del derrumbe provocado por la rotura de tubería que abastece el reservorio 1, el cual pasa justo apegado al camino de peregrinación.



Figura 14. Vista del derrumbe-flujo y de las tuberías de conducción de agua hacia los reservorios 1, 2 y 3 que pasan por la ladera del cerro Cruz de Chullin.

5.1.1. Otras características visuales encontradas en el cerro Cruz de Chullin.

El cerro Cruz de Chullin presenta cortes de talud en la ladera del cerro para el llamado “Camino de peregrinación”, el cual es un camino con graderías en ciertos tramos con material de concreto que conecta el barrio de San Bartolomé con la Cruz de Chullin, este camino es transitado en épocas de carnavales o semana santa, además del recorrido diario de algunos pobladores de la zona. Este corte de talud modifica el equilibrio de fuerzas que mantenía estable la masa de roca o suelo por lo que disminuye el factor de seguridad provocando con el tiempo derrumbes y deslizamientos.

En el recorrido del camino de herradura se visualizó pequeños derrumbes producto del corte de talud y lluvias intensas, aberturas en la plataforma de graderías con separaciones de 2 cm, esto demuestra empuje del terreno y zonas agrietadas por las raíces de los árboles de eucalipto que se encuentran muy cercanos al camino de peregrinación.

En las coordenadas 261248 E; 8966127 N, está ubicado una estructura rompe presión de las tuberías que abastecen los reservorios 2 y 3 que presenta un rebose por el exceso de agua en temporadas lluviosas, este exceso de agua discurre directamente a la ladera (figura 15), adicionalmente a esto se pudo visualizar terrenos de cultivos y de alfalfa ubicados ladera arriba los que son regados por inundación y aspersión y existencia de canales de riego rústicos lo que están generando saturación en el terreno y con eso gestar un futuro proceso de movimientos en masa coadyubado con la pendiente del terreno.



Figura 15. Vista del camino de peregrinación donde en el punto A) muestra desplazamiento de la gradería con abertura de 2 cm, B) muestra el empuje de la estructura de la gradería a causa de las raíces del árbol de eucalipto presente en la ladera, C) vista del rompe presión de la tubería que abastece los reservorios 2 y 3 donde se apreció empozamiento de agua, este exceso de agua discurre directamente a la ladera.

5.2. Caída de rocas

Al pie del cerro Cruz de Chullin en las coordenadas 261370 E; 8966140 N, se identificó un afloramiento rocoso entre muy fracturado a medianamente fracturado que corresponde a areniscas cuarzosas de grano fino a medio de la Formación Oyón. Se visualizó una grieta longitudinal que corta todo el afloramiento con 20 cm de abertura (fotografía 4).

Según testimonios indican que desde el año 2019 se apreciaron las primera fracturas y aberturas de 2 cm en el afloramiento rocoso y el año 2022 ocurrió caída de rocas en periodo de lluvias afectando la pileta y jardín del mirador Mamashoco. La estructura del Mirador Mamashoco el cual se encuentra al pie del afloramiento rocoso antes mencionado fue construido el año 2010, se visualizó muros inclinados (con separaciones de 25 a 30cm) de las graderías que suben hacia la virgen Mamashoco, el resto de la estructura presentan grietas con longitudes de hasta 20 m, con aberturas de 4 a 10 cm, profundidades visibles de 20 cm y en algunos sectores se evidencia asentamientos con desniveles de 12 cm.

5.3. Deslizamiento en proceso de reactivación

Por otro lado en la margen izquierda del afloramiento rocoso en las coordenadas 261381 E; 8966165 N, se identificó un deslizamiento en proceso de reactivación con longitud de escarpe de 20 m, distancia entre el escarpe y pie del deslizamiento de 52 m, actualmente se encuentra sin cobertura vegetal (por tala de árboles) lo que favorece a la erosión hídrica y saturación del terreno, de continuar con las mismas características actuales podría reactivarse en periodos de lluvias y afectar 23 m de la vía nacional y 07 viviendas del barrio San Bartolomé.



Fotografía 4. Vista del afloramiento rocoso muy fracturada a medianamente fracturada, donde se visualiza una grieta longitudinal de 10 m aproximadamente, con abertura de hasta 20 cm, esto indica que la masa rocosa ante algún tipo de movimiento ya se el sismo, corte de talud o lluvias podría ceder y afectar talud abajo.



Figura 16. Vista del afloramiento de arenisca de la Formación Oyón, el cual se encuentra muy fracturada y meteorizada, en la parte alta se observa abertura de 15 cm, donde los fragmentos de rocas podrían caer ladera abajo afectando el mirador Mamashoco y personas que transitan por la zona.



Figura 17. A. Se muestra el afloramiento rocoso que presenta aberturas de hasta 15 cm susceptible a desprenderse por completo del macizo, B. Grieta longitudinal con abertura de hasta 20 cm, el cual se prolonga hacia el ponto C, donde se evidencia abertura y desplazamiento del macizo rocoso.



Figura 18. Vista del mirador Mamashoco, donde se muestra en los puntos a) grietas con desplazamientos de 8 cm, b) desplazamiento en las graderías de 10 cm y grietas en el piso, c) y d) desplazamientos de las paredes con abertura de 25 y 30 cm, e) aberturas en el piso de 10 cm y asentamientos de 12 cm, f) grietas en el piso a lo largo de la plataforma del mirador Mamashoco.

5.4. Deslizamiento rotacional Antiguo

Se evidencia que el Poblado Huari se asienta sobre el cuerpo de un deslizamiento antiguo el cual se reconoce a través de los escarpes antiguos con una distancia entre el escarpe y pie de deslizamiento de 1958 m y una longitud de escarpe de 1600 m.

El cuerpo del deslizamiento muestra una superficie ondulada, presentando zonas elevadas y hundidas con forma convexa, elongada, cuyo depósito coluvio-deluvial esta compuesto por materiales ligeramente consolidados por fragmentos de roca angulosos a subangulosos (10%), gravas (35%) y matriz areno arcilloso (55%).

Del análisis de imágenes satelitales y del modelo de elevación digital (DEM) de 12.5 m de resolución obtenido de ALOS PALSAR (USGS) se tienen algunas características de este proceso en cuyo cuerpo se evidencia reactivación de deslizamiento específicamente en la ladera del cerro Cruz de Chullin que tiene una longitud de escarpe 132 m y una distancia entre el escarpe y pie de deslizamiento de 223 m que en la actualidad presentan una actividad Inactivo- latente y sobre el cuerpo se asienta parte del barrio San Bartolomé.

Debido a la existencia de algunos canales de riego rústicos y al riego constante de terrenos y pastizales en el cuerpo del deslizamiento antiguo (Figura 19), estas acciones hacen que vayan infiltrando aguas al suelo llenando todos los poros del suelo superando la capacidad de infiltración del suelo sumado a esto el tipo de material coluvio deluvial con matriz areno arcillosa tienen la capacidad de absorber cantidades de agua aumentando el peso y reduciendo su resistencia al corte, esto hace que incremente la susceptibilidad del suelo a desprenderse o desplazarse ladera abajo por efectos de la gravedad y podría implicar una futura reactivación en el cuerpo del deslizamiento antiguo.



Figura 19. Vista de deslizamiento antiguo, donde se asienta el poblado de Huari.

Finalmente es importante mencionar que el control de aguas superficiales de usos como riegos de terrenos y pastizales debe ser considerado como prioridad debido a que el discurrimiento permanente de las aguas por los canales pueden influir significativamente en la reactivación de los deslizamientos antiguos donde en la actualidad se asienta el poblado de Huari principalmente por que el agua aumente la presión intersticial en el suelo, reduciendo la resistencia al corte y facilitando el movimiento del terreno, estos movimientos podrían iniciar con zonas de reptación de suelos.

5.5. Factores condicionantes

A continuación, se detalla los principales factores condicionantes que podrían condicionar la ocurrencia de movimientos en masa, los cuales se detallan a continuación:

❖ Litológico

- El sustrato rocoso que aflora en el cerro Cruz de Chullin está conformado principalmente por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, con espaciamientos entre fracturas que varían entre 0.10 y 1.10 m, esta estructura favorece una mayor infiltración de aguas provenientes de precipitaciones pluviales. Dichas areniscas se encuentran intercaladas con niveles de limoarcillitas negras y grises, a veces laminadas, las cuales presentan un alto grado de meteorización y fracturamiento, se observan además ínfimas capas con presencia de carbón, bajo condiciones de saturación hídrica, las limoarcillitas tienden a perder cohesión y a comportarse de forma plástica, reduciendo significativamente su resistencia al corte. Esta condición litológica y estructural incrementa la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de movimientos en masa, especialmente durante episodios de intensa o prolongada precipitación.
- El poblado de Huari se emplaza sobre depósito coluvio-deluvial poco consolidado correspondiente al cuerpo de un deslizamiento antiguo, presentan fragmentos angulosos a subangulosos de roca (10%) de tipo areniscas cuarzosas de grano fino a medio de la Formación Oyón, gravas (35%) y matriz areno arcilloso (55%).

❖ Geomorfológico y de Relieve

- El área de estudio Cerro Cruz de Chullin se encuentra una montaña en roca sedimentaria, específicamente en el escarpe principal de un deslizamiento antiguo, donde la pendiente del terreno de las laderas varía desde pendiente muy fuerte (25° a 45°) y pendientes muy escarpados > 45°, lo cual favorece la ocurrencia de movimientos por gravedad como derrumbes, deslizamientos y caída de rocas en las zonas escarpadas por el grado de fracturamiento que presenta el afloramiento rocoso.
- La combinación de la geoforma, pendiente y características litológicas del terreno, representan un factor condicionante importante a la ocurrencia de un movimiento en masa.

❖ Antrópico

- Cortes de talud para construir el camino de peregrinación, por lo que al alterar el equilibrio natural y geotécnico del terreno y disminuye el factor de seguridad del talud o ladera.

Las tuberías rotas (en este caso las tuberías que abastecen los reservorios 1, 2 y 3 que cruzan por la ladera del cerro Cruz de Chullin y que al romperse ya sea por el empuje de las raíces de los árboles y empuje del terreno) podrían condicionar a la ocurrencia de movimientos en masa y afectar a las viviendas del barrio San Bartolomé ubicada a las faldas del cerro Cruz de Chullin.

- El discurrir de las aguas pluviales por canales de drenaje satura el terreno y la presencia de canales de riego no impermeabilizados coadyuban a la saturación del terreno.

5.6. Factores desencadenantes

A continuación, se detalla los principales factores que podrían desencadenar la ocurrencia de movimientos en masa, los cuales se detallan a continuación:

❖ Precipitaciones

- Las lluvias son uno de los principales detonantes naturales de los movimientos en masa como deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos entre otros, en el cerro Cruz de Chullin por el tipo de material roca fracturada favorece a la infiltración del agua en el terreno, esto incrementa el peso propio del talud y con esto genera mayor esfuerzo cortante y puede provocar el colapso formando derrumbes, deslizamientos etc.
- En materiales finos como en este caso el cuerpo del deslizamiento antiguo compuesto por una matriz areno arcilloso, la precipitación pluvial también se infiltra en el suelo reduciendo la cohesión de los materiales con esto se reduce el ángulo de fricción interna y por lo tanto la resistencia al corte favoreciendo el inicio de una reactivación de deslizamiento, este tipo de suelo arcillosos tiende a retener la humedad por su capacidad de absorber y retener cantidades de agua elevando la presión intersticial y con el tiempo podrían generar procesos como reptación de suelos por el grado de pendiente que presenta la zona (cuerpo del deslizamiento antiguo donde se asienta el poblado de Huari) y deslizamientos, especialmente cuando este se encuentre saturado.

❖ Sismos

- Un sismo puede desencadenar caídas de roca, derrumbes, deslizamientos debido a la combinación de vibraciones sísmicas, características geológicas de la ladera y condiciones geomorfológicas preexistentes, ya que durante un sismo, el terreno experimenta aceleraciones horizontales y verticales y estas vibraciones provocan fuerzas dinámicas que actúan sobre los bloques rocosos expuestos en el talud y ladera y cabe mencionar que las ondas sísmicas se amplifican en las crestas, laderas con topografías pronunciadas de muy alta pendiente o escarpados y esto hace que los bloques cercanos a estos puntos sufran mayores aceleraciones por ende aumenta la probabilidad de desprendimiento.
- En la ladera del cerro Cruz de Chullin especialmente en el afloramiento rocoso ubicado en el mirador Mamashoco muchos bloques de roca están en **equilibrio inestable**, sostenidos solo por fricción en contactos entre rocas, cohesión residual (arcillas o raíces) y el movimiento sísmico puede provocar la pérdida de ese equilibrio.

- En cuanto a los deslizamientos, los sismos pueden reactivarlos, si se tienen las condiciones como terreno saturado, que ante un movimiento sísmico el terreno podría perder su equilibrio. Al provocar vibraciones y sacudidas en el terreno, estas vibraciones pueden romper la cohesión del suelo generando fuerzas que superan la resistencia del material y causando su desplazamiento ladera abajo.

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica, geomorfológica y geodinámica de la zona de estudio, así como a los trabajos de evaluación de peligros geológicos realizado en campo, se emiten las siguientes conclusiones:

- 1) El sustrato rocoso del cerro Cruz de Chullin compuesto por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas, intercaladas con limoarcillitas negras y grises muy fracturadas, laminadas y altamente meteorizadas. Estas características litológicas favorecen la infiltración de agua, y bajo condiciones de saturación hídrica, las limoarcillitas pierden cohesión y adquieren un comportamiento plástico, lo que reduce significativamente la resistencia al corte del terreno, aumentando su susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa por gravedad.
El poblado de Huari se encuentra sobre un depósito coluvio-deluvial poco consolidado, correspondiente a un antiguo deslizamiento, con alto porcentaje de matriz areno-arcillosa (55%).
- 2) El cerro Cruz de Chullin corresponde a una montaña en roca sedimentaria, presenta pendientes muy fuertes (25° a 45°) y sectores con pendientes muy escarpadas (>45°), lo cual constituye un factor geomorfológico que favorece la ocurrencia de movimientos en masa por gravedad, como derrumbes, caída de rocas y deslizamientos, especialmente en combinación con la alta fracturación de la roca sedimentaria aflorante.
- 3) El derrumbe-flujo con arranque de 5 m y altura 12 m, que ocurrido el 22 de marzo del 2025 fue originado por la rotura de una tubería de 6 pulgadas de diámetro de abastecimiento de agua potable al reservorio 1, la cual fue afectada por el empuje de raíces de un árbol de eucalipto, este evento generó un flujo de detritos alcanzando 57 m ladera abajo y puso en peligro a las viviendas ubicadas en el Barrio San Bartolomé.
- 4) La caída de rocas (coordenadas 261370 E; 8966140 N), proviene de un afloramiento rocoso (areniscas cuarzosas) medianamente a muy fracturado a fracturado; las fracturas presentan grietas abiertas que han evolucionado desde el 2019, en el 2022 se presentó el evento. Se visualizó una grieta longitudinal con abertura de 20 cm, que corta todo el afloramiento.
- 5) La infraestructura del mirador Mamashoco, ubicada en la base del talud rocoso, presenta daños estructurales severos, como grietas con longitudes de hasta 20 m, asentamientos de 12 cm y desplazamientos diferenciales con aberturas de 4, 10 y hasta 30 cm, que indican la afectación directa por deformaciones del terreno y caída de rocas.
- 6) Se identificó un deslizamiento en proceso de reactivación (coordenadas 261381 E; 8966165 N), que presenta un escarpe con longitud de 20 m, distancia entre el escarpe y pie del deslizamiento de 52 m, actualmente se encuentra sin cobertura vegetal (por tala de árboles) lo que favorece a la erosión hídrica y saturación del terreno, de continuar con las condiciones actuales podría seguir la reactivación en periodos de lluvias y afectaría la vía nacional en 23 m y 07 viviendas del barrio San Bartolomé.

- 7) Los cortes de talud para el camino de peregrinación han alterado el equilibrio geotécnico del terreno, disminuyendo el factor de seguridad de las laderas intervenidas.
- 8) Las tuberías de agua potable para el abastecimiento de los reservorios 1, 2 y 3, cruzan la ladera del cerro, por sus malas condiciones, generan fugas de agua que está saturando localmente al terreno, genera inestabilidad y favorecer la ocurrencia de movimientos en masa, que pondrían afectar viviendas del barrio San Bartolomé, ubicadas al pie del cerro.
- 9) Los principales factores desencadenantes, para la ocurrencia de movimientos en masa son lluvias y sismos.
- 10) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas, geodinámicas y antrópicas que presenta el área de estudio, se considera de **Peligro Alto** frente a ocurrencia de movimientos en masa. Las condiciones actuales favorecen la reactivación del deslizamiento, por lo que se recomienda implementar medidas de mitigación especialmente en el manejo de las aguas superficiales de drenajes y canales de riego en la parte alta de la ladera del cerro Cruz de Chullin.

7. RECOMENDACIONES

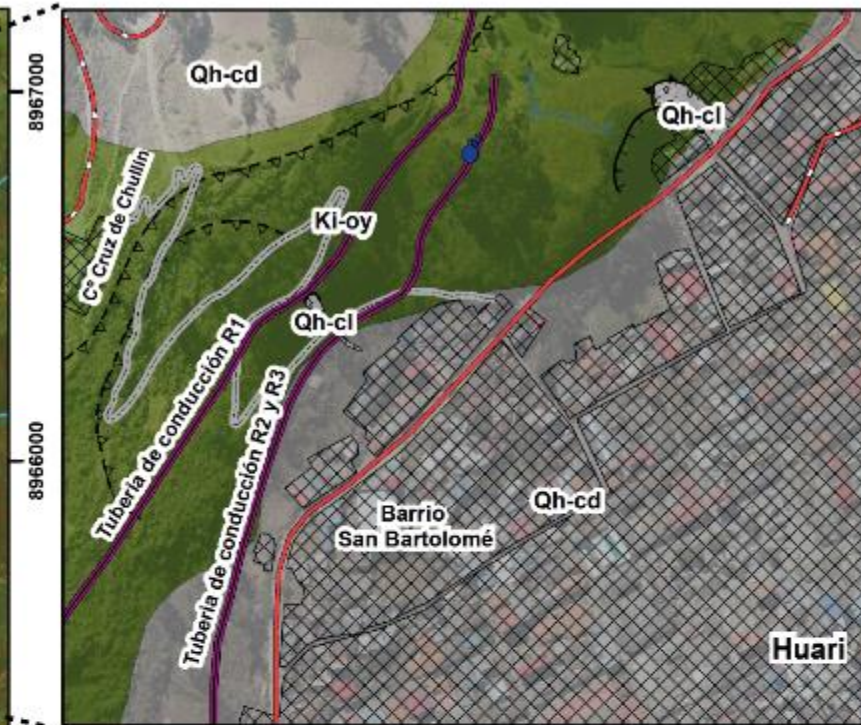
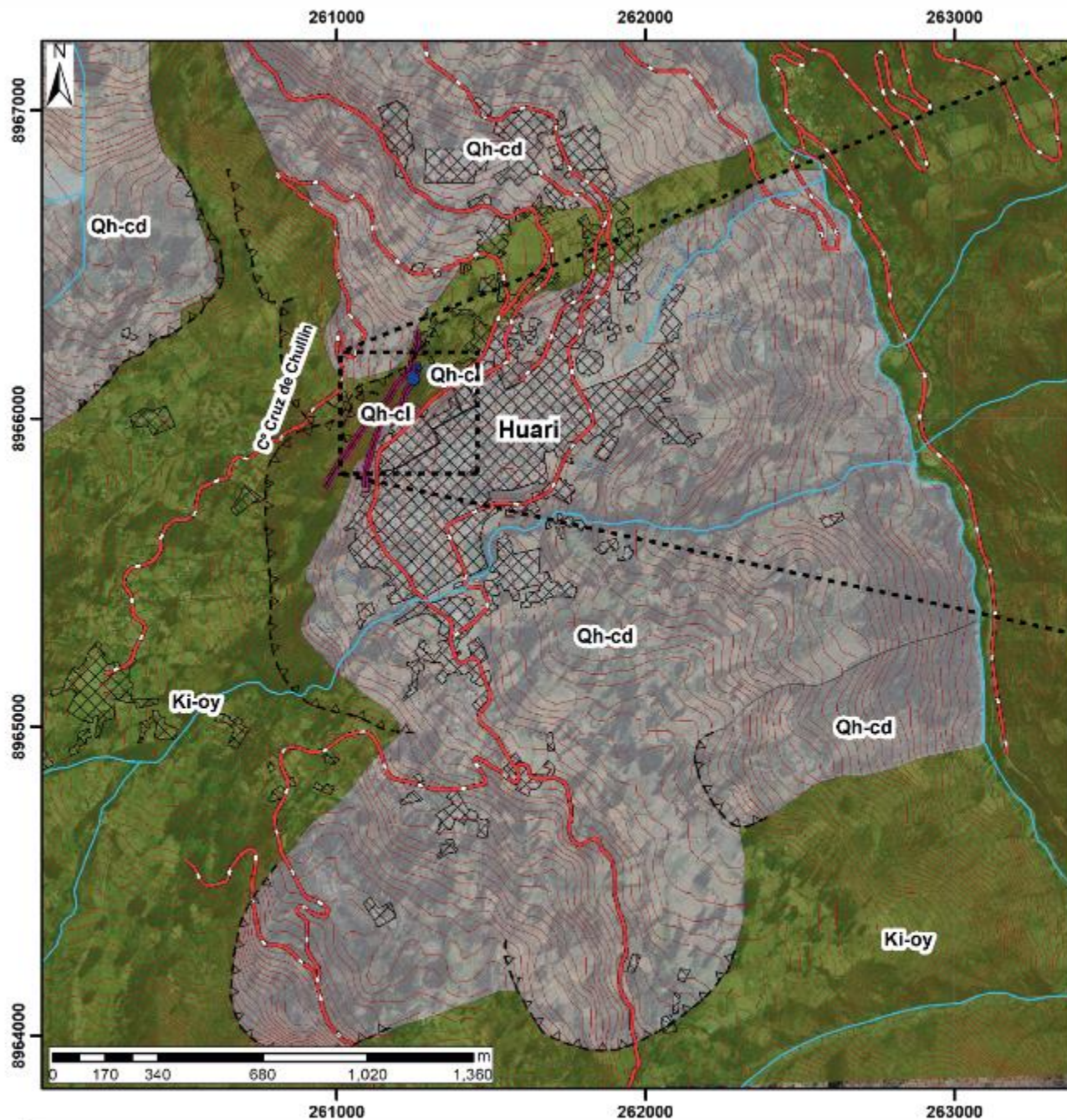
En base a la evaluación de peligros geológicos realizada en el presente informe, se brindan las siguientes recomendaciones:

- 1) Considerar el cambio del trazo o rediseñar el trazado de las tuberías que abastecen los reservorios 1, 2 y 3, los cuales cruzan por la ladera del cerro Cruz de Chullin para evitar la ruptura de estos debido a cualquier inestabilidad en la ladera y usar tuberías flexibles y resistentes a los empujes laterales del terreno.
- 2) Considerar implementar los reservorios rompe presión bien selladas o con drenaje controlado e impermeabilizado para evitar el rebose o acumulación de agua en la ladera.
- 3) Reforestar con plantas nativas las zonas circundantes y desprovistas de vegetación del terreno para consolidar el suelo y reducir la erosión superficial y considerar el retiro controlado de los árboles de eucalipto que contribuyen al agrietamiento del terreno y rotura de las tuberías y sustituirlas por vegetación de poco peso.
- 4) Evitar el riego por inundación en los terrenos de cultivos y pastizales ubicados ladera arriba del cerro Cruz de Chullin y parte alta del mirador Mamashoco y optar por sistemas de riego tecnificado que minimizan la infiltración de agua.
- 5) Impermeabilizar o revestir los canales de riego rústicos que puedan existir tanto ladera arriba del cerro Cruz de Chullin y a los alrededores del poblado de Huari (en el cuerpo del deslizamiento antiguo) con el fin de evitar infiltraciones en el terreno y provocar inestabilidad.
- 6) **Prohibir el corte de talud**, restringir nuevas construcciones de viviendas en las zonas de alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa especialmente en la ladera y pie del cerro Cruz de Chullin.
- 7) Considerar la instalación de mallas o sistema de barreras dinámicas en el afloramiento rocoso muy fracturado ubicado alrededores del mirador Mamashoco y/o implementar anclajes o pernos de consolidación en los bloques de rocas más inestables, estos trabajos se deberán realizar previo un análisis geotécnico y geomecánico a cargo de un especialista y evalúe cual es el mejor y adecuado método de estabilización del talud (Ver ANEXO 2).
- 8) Restringir el acceso y el uso del camino de peregrinación en periodos de lluvias y si existiera señales de inestabilidad restringir el uso del camino en carnavales o semana santa.
- 9) Realizar una evaluación de riesgo (EVAR) originados por caída de rocas, derrumbes y deslizamiento, en el cerro Cruz de Chullin, con la finalidad de determinar las medidas estructurales definitivas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Consulta marzo, 2025. Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/main-map/fields/all>.
- Informe Técnico N°A 7501 – Diagnóstico de zonas críticas por movimientos en masa en laderas a nivel Nacional. INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 153 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/5005>
- Informe Técnico N°A 7106 – Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el Centro Poblado de Cajay. INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 34 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3045>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. (Consulta: Junio 2021). Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm.
- 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-g y 19-i. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, Boletín N° 60, 85 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/199>
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Reporte complementario N° 5470 – 1/5/2025/COEN-INDECI/22:30 HORAS – Deslizamiento en el distrito de Huari -Ancash, Disponible en <https://portal.indeci.gob.pe/emergencias/reporte-complementario-n-2360-21-2-2025-coen-indeci-1900-horas-reporte-n-1-deslizamiento-en-el-distrito-de-huari-ancash/>
- Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.
- Zabala, B., et al (2007). Informe técnico Geología Ambiental – Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la Región Ancash-Primer Reporte. Disponible en;https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2004/1/A6550-Zonas_cr%C3%aadticas_regi%C3%b3n_Ancash.pdf
- Zabala, B., et al (2009) – Riesgos Geológicos en la Región Ancash. INGEMMET, Boletín N° 38, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 280 p., 18 mapas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/243>

ANEXO 1: MAPAS



LEYENDA

SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICOS
CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito coluvial
		Depósito coluvio-deluvial
CRETÁCICO	INFERIOR	Formación Oyón



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: ANCASH
PROVINCIA: HUARI
DISTRITO: HUARI

GEOLOGÍA DEL POBLADO DE HUARI Y ALREDEDORES

Escala: 1/20000

Elaborado por: Ccorimanya, E.

MAPA

Proyección: UTM Zona 18 Sur

Datum: WGS 84

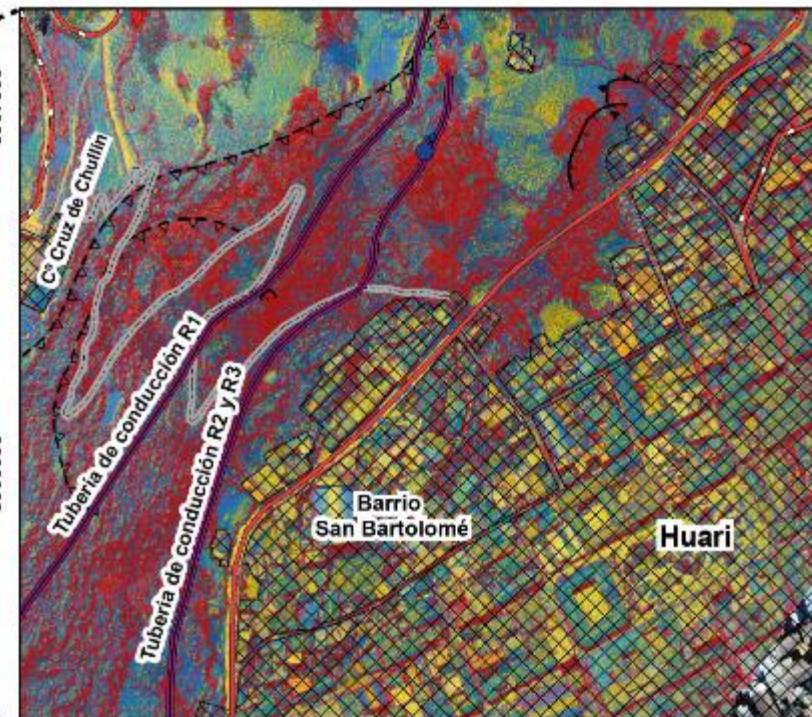
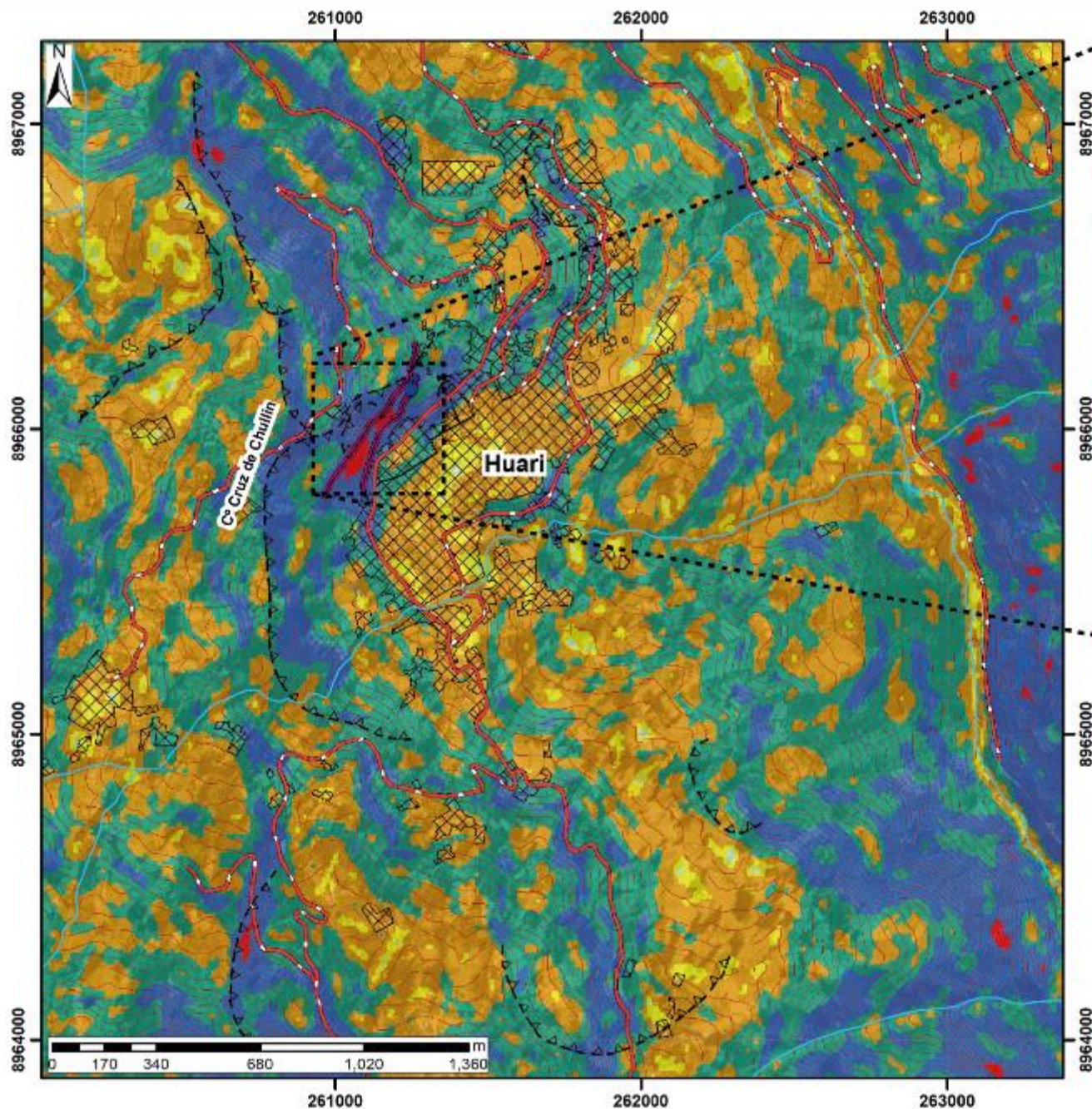
Versión digital 2025

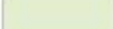
Impreso: Setiembre, 2025

01

Simbología

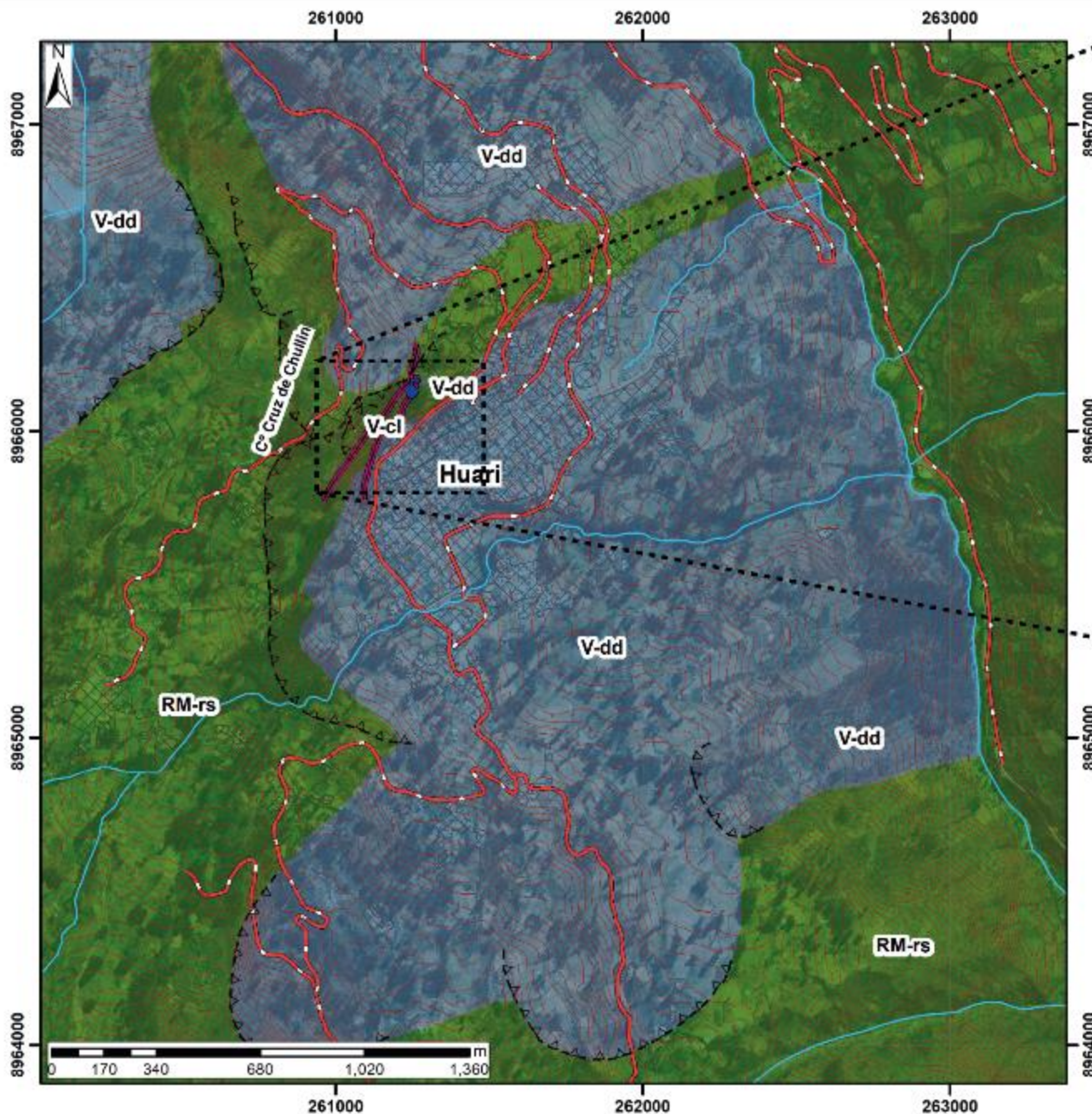
Rompe presión	Escarpe deslizamiento Activo	Canales de riego	Área urbana
Gradería hacia el mirador	Escarpe deslizamiento Antiguo	Via vecinal	Curvas de nivel
Tuberías de Agua potable	Zona de arranque caída de rocas	Via departamental	Drenaje



Leyenda					
<u>Rango de pendientes del terreno</u>					
	0° a 1°	Pendiente Llano		15° a 25°	Pendiente fuerte
	1° a 5°	Inclinado con Pendiente suave		25° a 45°	Pendiente Muy fuerte
	5° a 15°	Pendiente moderado		>45°	Pendiente Muy escarpado

Simbología							
	Rompe presión		Escarpe deslizamiento Activo		Canales de riego		Area urbana
	Graderia hacia el mirador		Escarpe deslizamiento Antiguo		Via vecinal		Curvas de nivel
	Tuberías de Agua potable		Zona de arranque caída de rocas		Via departamental		Drenaje

 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO		
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO: ANCASH PROVINCIA: HUARI DISTRITO: HUARI		
PENDIENTE DE LOS TERRENOS DEL POBLADO DE HUARI Y ALREDEDORES		
Escala: 1/20000	Elaborado por: Ccorimanya, E.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2025	Impreso: Setiembre, 2025	



LEYENDA

UNIDAD	SUBUNIDAD GEOMORFOLOGICA	
MONTAÑA	Montaña en roca sedimentaria	RM-rs
VERTIENTE O PIEDEMONTE	Vertiente con depósito de deslizamiento	V-dd
	Vertiente o piedemonte coluvial	V-cl

Simbología					
	Rompe presión		Escarpa deslizamiento Activo		Canales de riego
	Gradería hacia el mirador		Escarpa deslizamiento Antiguo		Via vecinal
	Tuberías de Agua potable		Zona de arranque caída de rocas		Via departamental
			Area urbana		Curvas de nivel
					Drenaje



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: ANCASH
PROVINCIA: HUARI
DISTRITO: HUARI

GEOMORFOLOGÍA DEL POBLADO DE HUARI Y ALREDEDORES

Escala: 1/20000

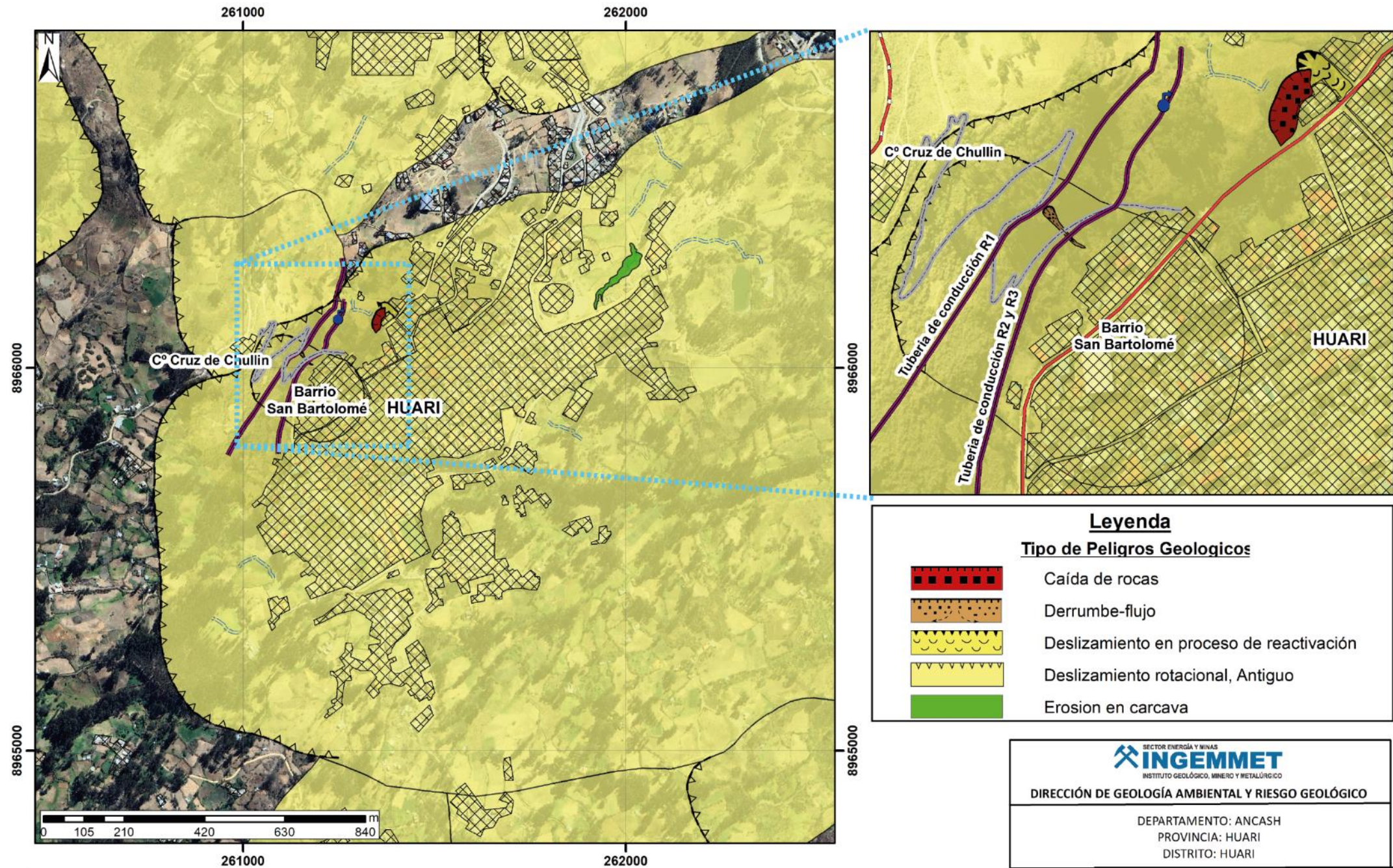
Elaborado por: Ccorimanya, E.

MAPA

Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84

Versión digital 2025 Impreso: Setiembre, 2025

03



Leyenda

Tipo de Peligros Geológicos

	Caída de rocas
	Derrumbe-flujo
	Deslizamiento en proceso de reactivación
	Deslizamiento rotacional, Antiguo
	Erosion en carcava



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: ANCASH
PROVINCIA: HUARI
DISTRITO: HUARI

PELIGROS GEOLÓGICOS DEL CERRO CRUZ DE CHULLIN Y ALREDEDORES

Escala: 1/12, 500

Elaborado por: Ccorimanya, E.

MAPA

Proyección: UTM Zona 18 Sur

Datum: WGS 84

Versión digital 2025

Impreso: Setiembre, 2025

04

Simbología

	Rompe presión		Escarpe deslizamiento en proceso de reactivación		Canales de riego		Area urbana
	Gradería hacia el mirador		Escarpe deslizamiento Antiguo		Via vecinal		Curvas de nivel
	Tuberías de Agua potable		Zona de arranque caída de rocas		Via departamental		Drenaje

ANEXO 2: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA.

Las medidas de control en las zonas con caída de rocas deben ser implementadas previa evaluación geotécnica de estabilidad de taludes por los profesionales adecuados, entre estas medidas se tiene:

Barreras dinámicas: Es un sistema de protección utilizado en taludes con riesgo de caída de rocas, diseñado específicamente para interceptar y retener las rocas en un punto de su trayectoria de caída, disipando la energía cinética del movimiento a través de la deformación plástica de determinados elementos del sistema diseñados a tal efecto, y de la actuación elástica de elementos diseñados con determinados grados de libertad respecto del impacto recibido.

En ciertas situaciones de riesgo de caída de roca, puede que no sea práctico instalar una malla de protección contra cortinas o estabilización de la superficie debido a problemas técnicos, topográficos, de acceso o económicos. En estos casos a menudo se proporciona una solución rentable mediante la instalación de barreras dinámicas de caída de rocas en la cara de la pendiente. Las barreras dinámicas de protección contra desprendimientos se caracterizan por su capacidad de absorción de impactos.

Por ello conforman un sistema muy eficaz y seguro para detener la caída de rocas y otras masas. Su configuración varía de acuerdo con la energía requerida en el impacto previsto (figura 20).



Figura 20. Ejemplo de barrera dinámica.

Pernos de Anclaje: Es una técnica para estabilizar afloramientos rocosos y de suelos, consiste en la instalación de pernos de acero, también conocidos como pernos de roca para proporcionar soporte y refuerzo.

Estos pernos se utilizan para asegurar el macizo rocoso transfiriendo la carga de la roca inestable a los materiales circundantes más estables. El diseño y la instalación de los pernos de anclaje requieren una cuidadosa consideración de factores como el tipo de roca, los requisitos de carga y las condiciones geológicas.

El proceso comienza con la perforación de agujeros en la roca o el suelo. Estos agujeros suelen perforarse a un ángulo y profundidad específicos, según las condiciones geológicas y el nivel de estabilización deseado. Posteriormente, se limpian los agujeros para eliminar cualquier residuo suelto y polvo.

Una vez preparados los agujeros, se insertan pernos de acero, generalmente de acero de alta resistencia. Estos pernos suelen ser roscados o acanalados para mejorar su adherencia a la roca o el suelo circundante. Suelen recubrirse con epoxi o lechada de cemento para mejorar su rendimiento y aumentar su durabilidad.

Los pernos de roca se tensan posteriormente con equipo especializado para crear una fuerza de pretensado en la roca o el suelo. Esta fuerza de pretensado ayuda a contrarrestar el posible movimiento o inestabilidad de la masa rocosa o terrestre. Además, mejora la estabilidad general y la capacidad de carga de la estructura o talud que se refuerza.



Figura 21. Ejemplo de pernos de anclaje y enmallado.