

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7273

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE LAS ZONAS DE NACOREQUE, CHIJSIA, APABUCO, HUENCALA, MORORIA Y CERRO CCATASUYO

Departamento Puno
Provincia Sandia
Distrito Sandia



JUNIO
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE LAS ZONAS DE
NACOREQUE, CHIJISIA, APABUCO, HUENCALA, MORORIA Y CERRO
CCATASUYO**

Distrito Sandía, provincia Sandía, departamento Puno.

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

Equipo de investigación:

David Antonio Valdivia Humerez

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros Geológicos de las zonas de Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y cerro Ccatasuyo. Distrito Sandía, provincia Sandía, departamento Puno, Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7273, 52p.

ÍNDICE

ÍNDICE	3
RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Objetivos del estudio	5
1.2 Antecedentes y trabajos anteriores.....	6
1.3 Aspectos generales	6
2. GLOSARIO	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
3.1 Unidades litoestratigráficas	10
3.1.1 Formación Sandia (Os-s).....	10
3.1.2 Formación Ananea (SD-a).....	10
3.1.3 Depósito coluvial-deluviales (Qh-cd).....	11
3.1.4 Depósito aluviales (Qh-al)	12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1 Pendientes del terreno.....	12
4.2 Unidades geomorfológicas	13
4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional ..	13
4.2.2 Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional...	14
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa.....	15
5.1.1 ZONA NACOREQUE.....	16
5.1.2 ZONA CHIJISIA.....	18
5.1.3 ZONA DE APABUCO	21
5.1.4 ZONA DE HUENCALA	25
5.1.5 ZONA DE MORORIA.....	27
5.1.6 ZONA CERRO CATASUYO	31
5.2 Factores condicionantes	33
5.3 Factores desencadenantes	33
6. CONCLUSIONES	35
7 RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXO 1: MAPAS	41
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	50

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en las zonas: Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y Cerro Ccatasuyo, en el distrito y provincia de Sandía, departamento Puno. 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 actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

Las rocas metamórficas que afloran en el área de estudio están conformadas por cuarcitas, metareniscas, arcillitas y pizarras de color gris oscuro. Los macizos rocosos se encuentran moderadamente meteorizados y muy fracturados; asimismo, estos afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos coluvio - deluviales; sobre los cuales se desarrollan condiciones muy susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos, caída de rocas, derrumbes y flujos de detritos. Los depósitos están compuestos por materiales poco consolidados, como bloques de forma angulosas a subangulosas con diámetros máximos de 7 m, gravas, inmersos en una matriz arcillo-limosa.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional, conformado por ladera de montaña en roca metamórfica, además de geoformas de carácter depositacional y agradacional, originadas por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente coluvio-deluvial) y planicies (terrazas aluviales).

Se han identificado, en la zona evaluada, los siguientes movimientos en masa:

- Nacoreque: en el sector Puente Qoni (Nacoreque) derrumbes a causa de la erosión fluvial del río Yacureque, que afectó aproximadamente 85 m de la vía Nacional PE-34H (tramo Cuyocuyo-Sandia).
- Ayo, sector Chijisia se identificó un deslizamiento antiguo reactivado (**DA1**), que afectó 20 m de la vía Nacional PE-34H (tramo Cuyocuyo-Sandia).
- Apabuco, sector de Chimun se identificó un deslizamiento antiguo (**DA2**), en proceso de reactivación en forma de derrumbes a causa de la erosión fluvial del río Sandía, afectando 20 m de la vía Nacional PE-34H (tramo Cuyocuyo-Sandia). Además, se tiene el sector de Vivero donde se han generado inundaciones fluviales.
- Huencala, el sector del túnel San Marcos se identificó una zona propensa a caída de rocas. Además, el sector, barrio Los Pinos es una zona propensa a inundación.
- Mororia, se identificó un deslizamiento antiguo (**DA3**), y un flujo de detritos que afectó carretera Sandía-Mororia en un tramo de 10 m y terrenos de cultivo en 0.29 ha. También se identificó derrumbes que afectó la vía Nacional Sandía-San Juan de Oro, PE-34H en un tramo de 60 m.
- Cerro Ccatasuyo se identificó caída de rocas que afecta al Barrio Alegre.

Los factores detonantes, que activaron estos eventos, son las precipitaciones pluviales intensas y prolongadas (excepcionales), además de la actividad sísmica.

Las zonas evaluadas como Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Mororia y Cerro Ccatasuyo, se consideran de **peligro Muy Alto** con movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes, seguido de flujo de detritos y caída de rocas; mientras que en la zona de Huencala se considera de **peligro Alto** que puede ser afectada por caída de rocas. Además, las zonas de Apabuco, Huencala y Mororia se encuentran en **Alta susceptibilidad** ante inundaciones.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes pongan en práctica en las zonas de estudio, propuestas con la finalidad de minimizar las ocurrencias de daños que pueden ocasionar los procesos identificados; así como también evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen daños.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la municipalidad provincial de Sandia, según Oficio N° 088-2020-A/MPS el marco de nuestras competencias, el INGEMMET designó al Ing. David Valdivia, quién realizó una evaluación de los peligros geológicos en las zonas de Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y Cerro Catasuyo, los días 02 y 03 de febrero de 2022.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Provincial de Castilla, Gobierno Regional de Arequipa, oficina de INDECI y COER - Arequipa, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, 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) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en las zonas de Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y Cerro Catasuyo; los cuales pueden comprometer la seguridad física de personas, vehículos, medios de vida (cultivos agrícolas) y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
- c) Emitir recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados

1.2 Antecedentes y trabajos anteriores

- A) Boletín N°77, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la Región Puno” (Gómez & Pari, 2020), indican que dentro de la región Puno los peligros geológicos más recurrentes se tienen flujos de detritos (huaicos), caídas de rocas, deslizamientos, movimientos complejos y reptación de suelos. Se elaboró un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa representando cinco categorías: muy baja susceptibilidad, baja susceptibilidad, moderada susceptibilidad, alta susceptibilidad y muy alta susceptibilidad, a escala 1: 400 000. Las zonas de Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y Cerro Ccatasuyo, presentan un alto grado de susceptibilidad a movimientos en masa como son: derrumbes, deslizamientos, caída de rocas y huaicos.
- B) En el Boletín N°28, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3” (Fidel et al, 2003); se realiza un mapa de ocurrencia de peligros geológicos múltiples (a escala regional), denominando al distrito de Sandia, como zona de Muy Alto Riesgo, donde se conjugan numerosos peligros: principalmente flujos de detritos, caídas de rocas, deslizamientos, que suceden en terrenos de pendiente fuerte a muy escarpado.
- C) Núñez, (2007). En el Informe Técnico “Evaluación de los Peligros Geológicos en los alrededores de Sandia” (distrito, provincia Sandia – región Puno), señala que en el cerro Ccatasuyo siempre se han originado caída de rocas, evidenciado por la presencia de depósitos coluviales en la parte inferior del talud. Estos depósitos, fueron ocupados por viviendas, exponiéndose a un peligro alto por derrumbes y desprendimientos de rocas. El reciente evento, tipo caída de rocas, ocurrió el 27 enero del año 2006, donde se presentan bloques de hasta 5m de diámetro que afectaron 5 viviendas.
- D) Gómez & Ccorimanya, (2021), en el Informe Técnico “Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores Huancaluque, Llamani y cerro Ccatasuyo” (distrito, provincia Sandia – región Puno), indica, que en el flanco noreste del cerro Ccatasuyo se presentaron caída de rocas, que abarcan toda la ladera ubicada a espaldas del barrio Los Pinos. Las causas corresponden a rocas muy fracturadas, diaclasadas y con presencia de micro fallas, pendiente muy fuerte y escasas cobertura de vegetación, siendo los factores detonantes las precipitaciones pluviales intensas y excepcionalmente la actividad sísmica.

1.3 Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada comprende seis zonas: Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y Cerro Ccatasuyo, ubicados en el distrito y provincia de Sandia, departamento de Puno (Figura 1), dentro de las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Nacoreque (A)

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	446136.00 m E	8404301.00 m S	14° 25' 59.635" S	69° 29' 59.021" W
2	446422.00 m E	8404301.00 m S	14° 25' 59.655" S	69° 29' 49.469" W

3	446136.00 m E	8403934.00 m S	14° 26' 11.58" S	69° 29' 59.048" W
4	446422.00 m E	8403934.00 m S	14° 26' 11.6" S	69° 29' 49.496" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Puente Qoni</i>	446307.00 m E	8404070.00 m S	14° 26' 7.165" S	69° 29' 53.327" W

Cuadro 2. Chijisia (B)

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	448246.00 m E	8411926.00 m S	14° 21' 51.595" S	69° 28' 48.02" W
2	448508.00 m E	8411926.00 m S	14° 21' 51.613" S	69° 28' 39.272" W
3	448246.00 m E	8411525.00 m S	14° 22' 4.647" S	69° 28' 48.048" W
4	448375.00 m E	8411525.00 m S	14° 22' 4.656" S	69° 28' 43.741" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Ayo</i>	448380.00 m E	8411762.00 m S	14° 21' 56.942" S	69° 28' 43.557" W

Cuadro 3. Zona de Apabuco (C)

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	448876.00 m E	8414810.00 m S	14° 20' 17.766" S	69° 28' 26.788" W
2	449262.00 m E	8414810.00 m S	14° 20' 17.791" S	69° 28' 13.901" W
3	448876.00 m E	8414142.00 m S	14° 20' 39.509" S	69° 28' 26.834" W
4	449262.00 m E	8414142.00 m S	14° 20' 39.534" S	69° 28' 13.947" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Sector de Chimun</i>	448990.00 m E	8414220.00 m S	14° 20' 36.977" S	69° 28' 23.022" W

Cuadro 4. Huencala (D)

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	449692.00 m E	8416062.00 m S	14° 19' 37.068" S	69° 27' 59.462" W
2	449813.00 m E	8416062.00 m S	14° 19' 37.076" S	69° 27' 55.423" W
3	449692.00 m E	8415859.00 m S	14° 19' 43.676" S	69° 27' 59.475" W
4	449813.00 m E	8415859.00 m S	14° 19' 43.684" S	69° 27' 55.436" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Tunel San Marcos</i>	449765.00 m E	8415947.00 m S	14° 19' 40.816" S	69° 27' 57.033" W

Cuadro 5. Mororia (E)

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	450679.00 m E	8417614.00 m S	14° 18' 46.616" S	69° 27' 26.411" W
2	451016.00 m E	8417614.00 m S	14° 18' 46.637" S	69° 27' 15.161" W
3	450679.00 m E	8417180.00 m S	14° 19' 0.742" S	69° 27' 26.439" W
4	451016.00 m E	8417180.00 m S	14° 19' 0.764" S	69° 27' 15.19" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Mororia</i>	450847.00 m E	8417397.00 m S	14° 18' 53.69" S	69° 27' 20.817" W

Cuadro 6. Cerro Ccatasuyo (F)

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	449466.00 m E	8416660.00 m S	14° 19' 17.589" S	69° 28' 6.966" W
2	449626.00 m E	8416660.00 m S	14° 19' 17.599" S	69° 28' 1.625" W
3	449466.00 m E	8416470.00 m S	14° 19' 23.773" S	69° 28' 6.979" W
4	449626.00 m E	8416470.00 m S	14° 19' 23.784" S	69° 28' 1.638" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Barrio Alegre</i>	449559 m E	8416582.00 m S	14° 19' 20.134" S	69° 28' 3.867" W

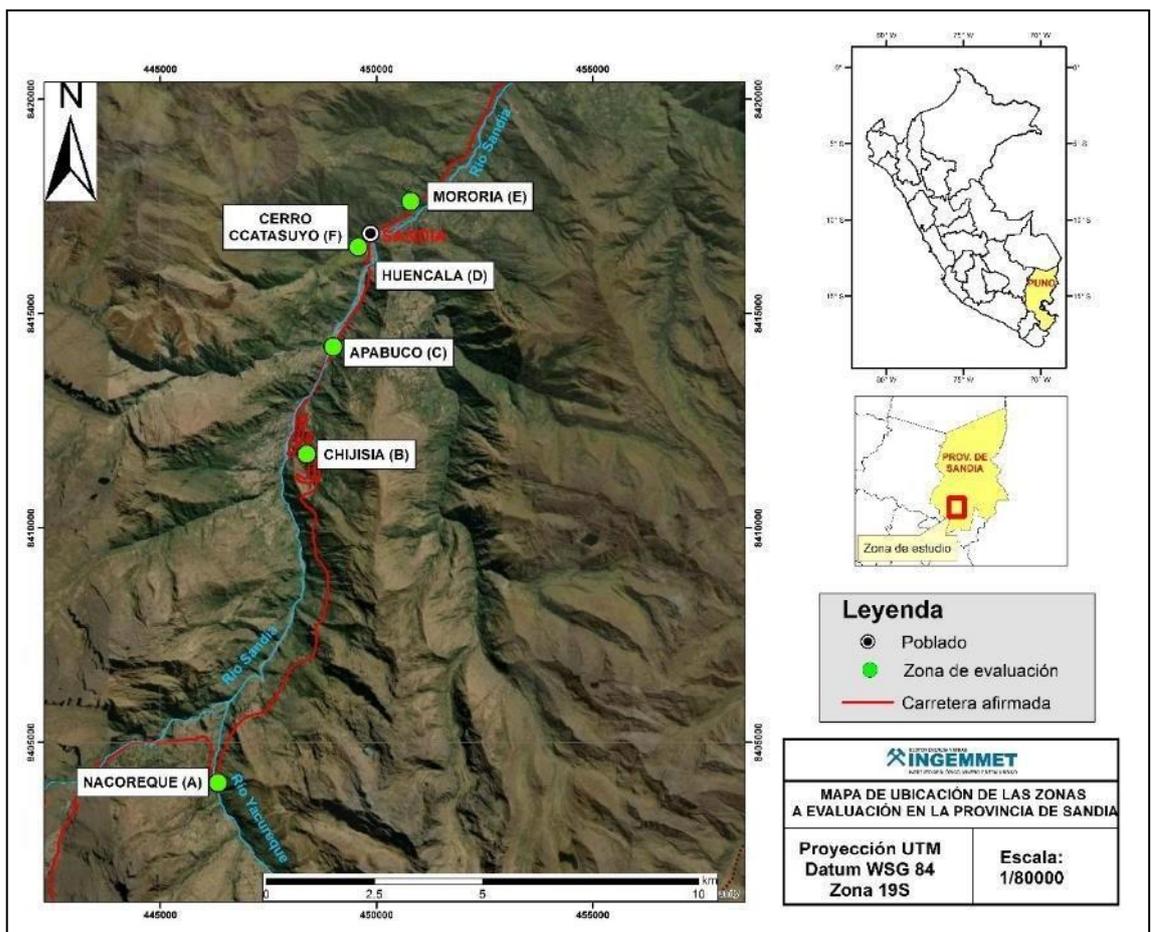


Figura 1. Ubicación de las zonas de Nacoreque (A), Chijisia (B), Apabuco (C), Huencala (D), Mororia (E) y Cerro Ccatasuyo (F).

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a los sectores de Nacoreque, Chijisia-Ayo, Apabuco, Huencala, Mororia y cerro Ccatasuyo se realizó vía terrestre, desde la ciudad de Juliaca, mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Juliaca – Putina	Asfaltada	92.2	1 h 43 min
Putina – Cuyo Cuyo	Asfaltada	108	2 h 13 min
Cuyo Cuyo - Nacoreque	Trocha carrozable	8.9	16 min

Nacoreque - Sandia	Trocha carrozable	20.5	44 min
--------------------	----------------------	------	--------

2. GLOSARIO

Deslizamiento. - Llamado también fenómenos de ladera o movimientos de ladera; son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, se entiende como movimiento del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad, Corominas y García Yagüe, (1997).

Movimiento en Masa (mass movement, landslide). - Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladero abajo de una masa de roca, de detritoso de tierras (Cruden, 1991).

Caída de rocas. - La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5 x 10¹ mm/s. En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

Derrumbe. - Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (figura 1). Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados (Vilchez, 2020).

Fractura (Crack). - Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007)- Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p).

Flujo de detritos (Huaicos). - Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (Figura 2). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “u”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Tiene un alto potencial destructivo.

La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hungar, 2005).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se elabora teniendo como base la geología de los cuadrángulos de Sandia(29-y) y San Ignacio(29-z), a escala 1:100,000, elaborado por De la Cruz & Carpio (1996).

3.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes, son de origen metamórfico, como las formaciones Ananea y Sandia; adosados por depósitos recientes, tanto coluvio-deluviales y aluviales.

3.1.1 Formación Sandia (Os-s).

En los sectores Huencala y Cerro Ccatasuyo, esta formación está constituida por pizarras y cuarcitas (Figura 2), de grano fino a medio, muy fracturadas, altamente meteorizadas; cubiertas por depósitos coluvial-deluvial. Los estratos tienen pendientes muy fuertes a escarpadas (25° a $>45^\circ$) susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa (caída de rocas).



Figura 2. Afloramiento rocoso fracturado de la Formación Sandia ubicada en el sector de Huencala, margen izquierda del río Sandia (coordenadas UTM E: 449770, N: 8415925).

3.1.2 Formación Ananea (SD-a).

En el sector de Puente Qoni esta formación está constituida por una gruesa secuencia de pizarras gris oscuras, laminares y foliadas (Figura 3). Los afloramientos rocosos de la Formación Ananea suprayacen a la Formación Sandia en un contacto fallado inversamente como producto de una tectónica comprensiva (Laubacher, 1978). Además, los macizos se encuentran intensamente deformados, fracturados y cubierto por depósitos coluviales.



Figura 3. Afloramiento rocoso fracturado de la Formación Ananea ubicada en el sector de Nacoreque, margen izquierda del río Sandia (coordenadas UTM E: 446321, N: 8404336).

3.1.3 Depósito coluvial-deluviales (Qh-cd).

Son materiales sueltos, depositados en las depresiones de las montañas y partes bajas de las laderas como resultado de la erosión de las partes altas; constituyendo depósitos de deslizamientos antiguos, escombros de laderas que cubren parcialmente a los afloramientos de las formaciones Sandia y Ananea. Están conformados por materiales gruesos de naturaleza homogénea y heterométrica, bloques angulosos a subangulosos englobados en una matriz arcillosa (Figura 4).



Figura 4. Depósito coluvial-deluvial, fotografía tomada con vista hacia el escarpe del derrumbe, ubicado en el sector Mororia (coordenadas UTM E: 450951, N: 8417401).

3.1.4 Depósito aluviales (Qh-al).

Estos depósitos han sido reconocidos a lo largo del río Sandia compuesto principalmente de arenas y gravas de forma redondeada a subredondeada en matriz limoarenoso. Formando en ambas márgenes y por sectores pequeñas terrazas.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendientes del terreno

Las pendientes de los terrenos en las zonas de Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y cerro Ccatasuyo varían desde llanos a inclinados suavemente en el valle (1° - 5°), y en la zona media del valle se tiene un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy fuerte (25° - 45°) a escarpados ($> 45^{\circ}$) (Figura 5), mientras en la zona alta presenta pendientes fuertes a moderadas (5° - 25°). Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 12.5 m, tomado del portal EARTH-DATA - Alaska Satellite Facility Distributed (ASF DAAC) de la NASA (Mapa 3).

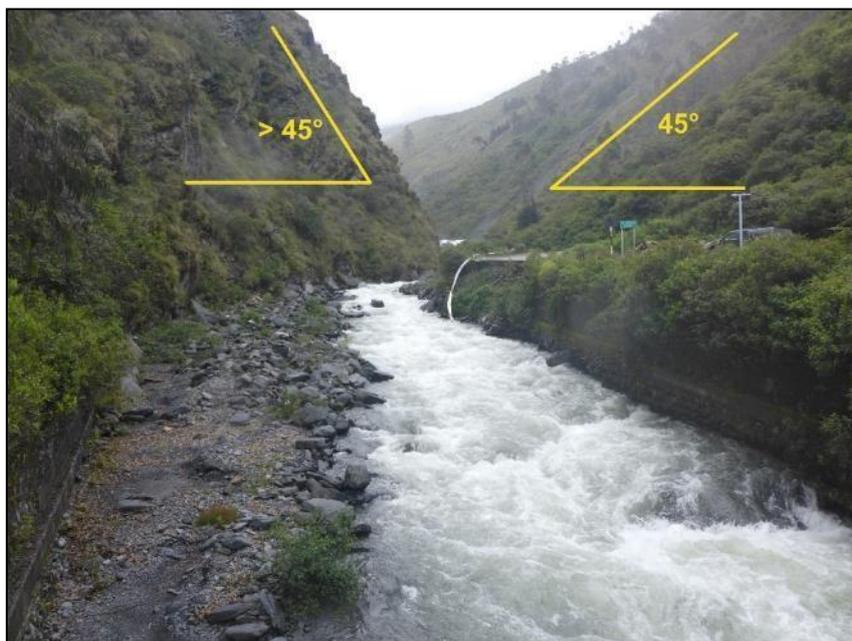


Figura 5. Pendientes muy fuertes ($25^\circ - 45^\circ$) a escarpado ($> 45^\circ$) en el sector de puente Qoni, zona de Nacoreque (coordenadas UTM E: 446307, N: 8404070).

4.2 Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005); cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Degradacionales o denudativos
- Agradacionales o deposicionales

Los sectores evaluados se encuentran entre los 2100 y 3800 m s.n.m. sobre las cuales se presentan vertientes montañosas, elevadas y abruptas asociadas a la incisión de los ríos que descienden desde las partes altas de la cordillera.

Son tres geoformas y unidades geomorfológicas reconocidas en estos sectores, tales como: Vertiente o piedemonte compuesto por depósitos coluvio-deluvial (V-cd), terrazas aluviales (T-al) y montaña en rocas metamórficas (RM-rm). De las cuales, la primera y la última presentan mayor susceptibilidad a generar movimientos en masa

4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades:

4.2.1.1 Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30%.

Sub Unidad de ladera de montaña en roca metamórfica (RM-rm): Corresponde a relieve moldeado sobre roca metamórfica de las formaciones Sandia y Ananea (Figura 6); debido a la forma del terreno y las pendientes de la ladera de las montañas varían principalmente de pendiente muy fuerte a muy escarpado. En esta subunidad ocurren principalmente los procesos de movimientos en masa identificados como derrumbes y caída de rocas.

4.2.2 Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.2.1 Unidad de Piedemonte

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluvial-deluvial y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Las unidades de piedemonte identificadas son las siguientes:

Sub Unidad de Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Agrupa depósitos de piedemonte de origen gravitacional y fluvio-gravitacional, acumulado en las vertientes o márgenes del valle; en muchos casos, son resultado de una mezcla de ambos, constituyendo depósitos de laderas adosados parcialmente los afloramientos metamórficos de la Formación Sandia y Ananea (Figura 6).

Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones de depósitos de vertiente con taludes de pendiente entre moderado (5° - 15°) a muy fuerte (25° - 45°). Se les encuentra como capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños y angulosos. Esta unidad corresponde a las acumulaciones de laderas inestables, originadas por procesos de movimientos en masa (derrumbes, deslizamiento y caída de rocas), así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o transportados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan sucesivamente al pie de laderas.

4.2.2.2 Unidad de planicies

Terraza aluvial (T-al): Subunidad geomorfológica caracterizada por un relieve plano con escasos sectores ondulados, constituida por acumulación de material aluvial sin

consolidación, sus pendientes corresponden a inclinación moderada (5° - 15°), esta unidad es susceptible a inundación.

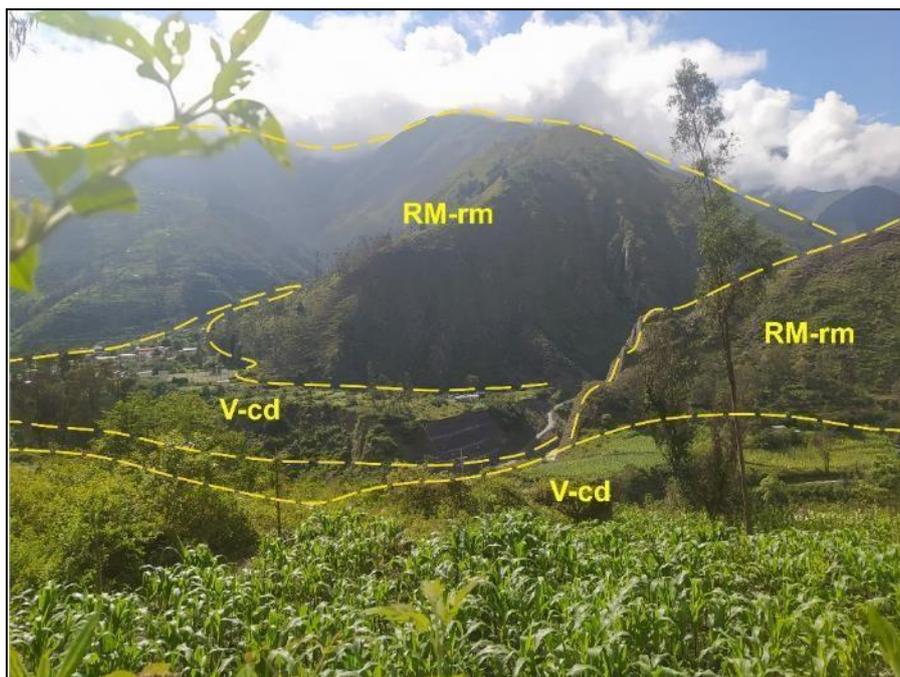


Figura 6. Imagen tomada con dirección sureste, donde se observa las subunidades de ladera de montaña en roca metamórfica y vertiente coluvio-deluvial en el sector Mororia (coordenadas UTM E: 450566, N: 8417299).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos, corresponden a movimientos en masa, tipo caídas (derrumbes), flujo (flujo de detritos) y caídas de roca. Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos. Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de desuelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas, extraordinarias que caen en la zona y la actividad sísmica. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

Las zonas de estudio y alrededores son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo deslizamientos, derrumbes, flujos, caída de rocas, condicionado por las características morfológicas, litológicas y pendiente, tal como se describe a continuación:

5.1.1 ZONA NACOREQUE

DERRUMBES

En la zona de Nacoreque (Mapa 4), el sector de Puente Qoni se sitúa a ambos márgenes del río Yacureque. En la visita de campo del 02 de febrero, se observó un derrumbe (Figura 9); a causa de la erosión fluvial del río Yacureque, provocando el debilitamiento y socavamiento de las defensas ribereñas del puente. Observándose agrietamientos en la carretera cerca al puente de hasta 14 cm de ancho y 5 m de largo aproximadamente (Figura 8), afectando aproximadamente 60 m de plataforma de la vía nacional PE-34H (tramo Cuyocuyo-Sandia), siendo esta la única vía de acceso al poblado de Sandia. Además en la mencionada vía cerca al puente Qoni, en las coordenadas UTM E: 446313, N: 8404157, se ha observado otro derrumbe que se dio el día 31 de enero del presente, este llegó hasta el río Yacureque a causa de la presencia de lluvias intensas que provoca que las terrazas de material coluvio-deluvial se colmate y se comporta de manera plástica afectando 25 m aproximadamente de la vía nacional, estos depósitos son susceptibles a los movimientos en masa generando que se presenten eventos similares a lo largo del río Yacureque (Figura 9). Estos eventos tienen las siguientes características:

- **Puente Qoni:** La zona de arrastre es irregular y discontinua con una longitud de 60 m, con una altura de aproximadamente 10 m, la zona corresponde a una terraza coluvio-deluvial poco consolidada; afectando 60 m de la vía Nacional PE-34H.
- **Derrumbe 31 de enero 2022.-** La zona de arrastre es irregular y discontinua con una longitud de 10 m, con una altura de 5 m, la zona corresponde a una terraza coluvio-deluvial poco consolidada; afectando 25 m de la vía nacional.
- Zona de arranque: Suelo coluvio-deluvial
- Esta zona presenta una pendiente muy alta a escarpada (46°) el material desprendido fue arrastrado hasta desembocar en el río Yacureque, no se observa represamiento del río (Figura 7).
- La masa derrumbada, está conformado por bloques (5%), con un diámetro máximo de 3 m, gravas (30%), arenas (10%) de formas angulosas a subangulosas de color gris oscuro a pardo; englobados en una matriz arcillo-limosa (70%).
- Los componentes encontrados en el cuerpo de los derrumbes corresponden a rocas que afloran en el sector, compuesto por bloques de pizarras de color gris oscuro, altamente meteorizadas y muy fracturadas; los mismos que generan el suelo coluvio-deluvial no consolidado, poco compactados y de fácil removilización si son saturados de agua.

Por otro lado, también debido a las pendientes muy fuertes a escarpadas (25°-> 45°) y las rocas metamórficas fracturadas y meteorizadas del sector del Puente Qoni, se podrían presentar caída de rocas a causa de sismos de gran magnitud (Figura 7).

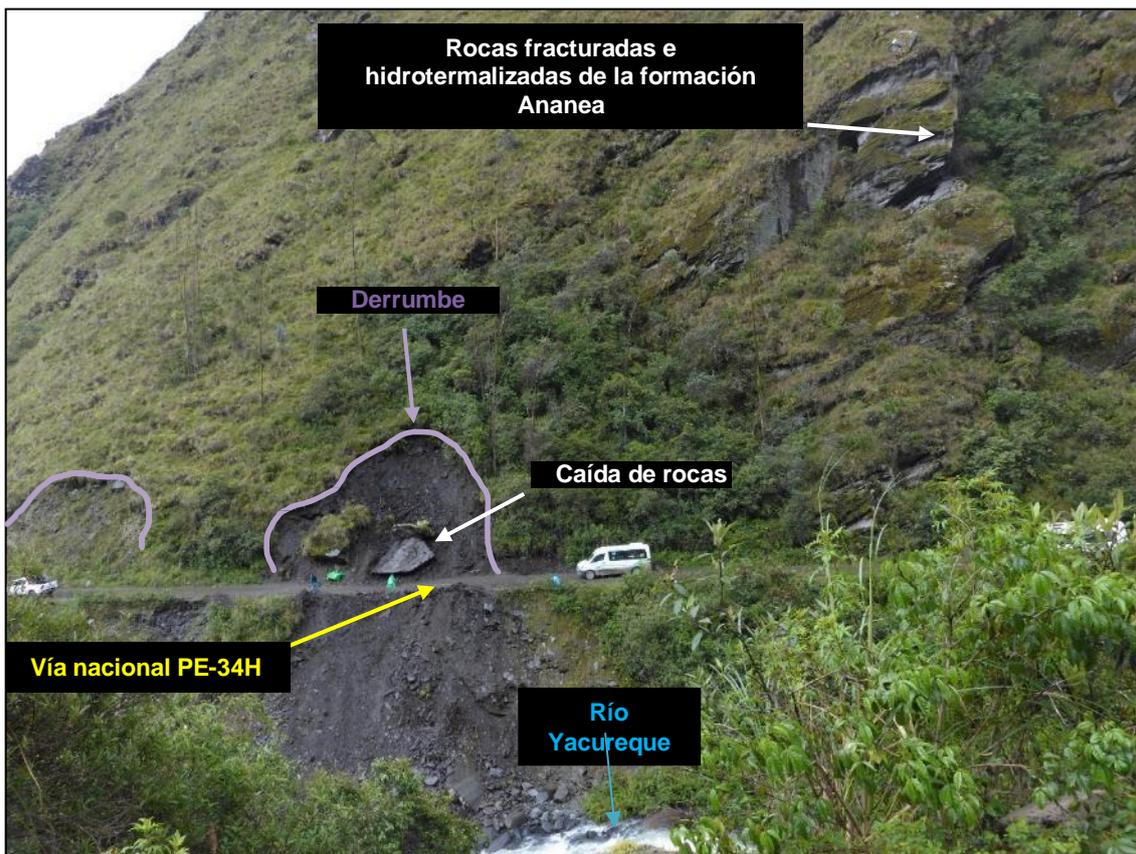


Figura 7. Derrumbe en el sector de Puente Qoni, afectando la vía PE-34H (coordenadas UTM E: 446262, N: 8404079).



Figura 8. Agrietamientos en la vía PE-34H cerca al puente Qoni (coordenadas UTM E: 446312, N: 8404019).

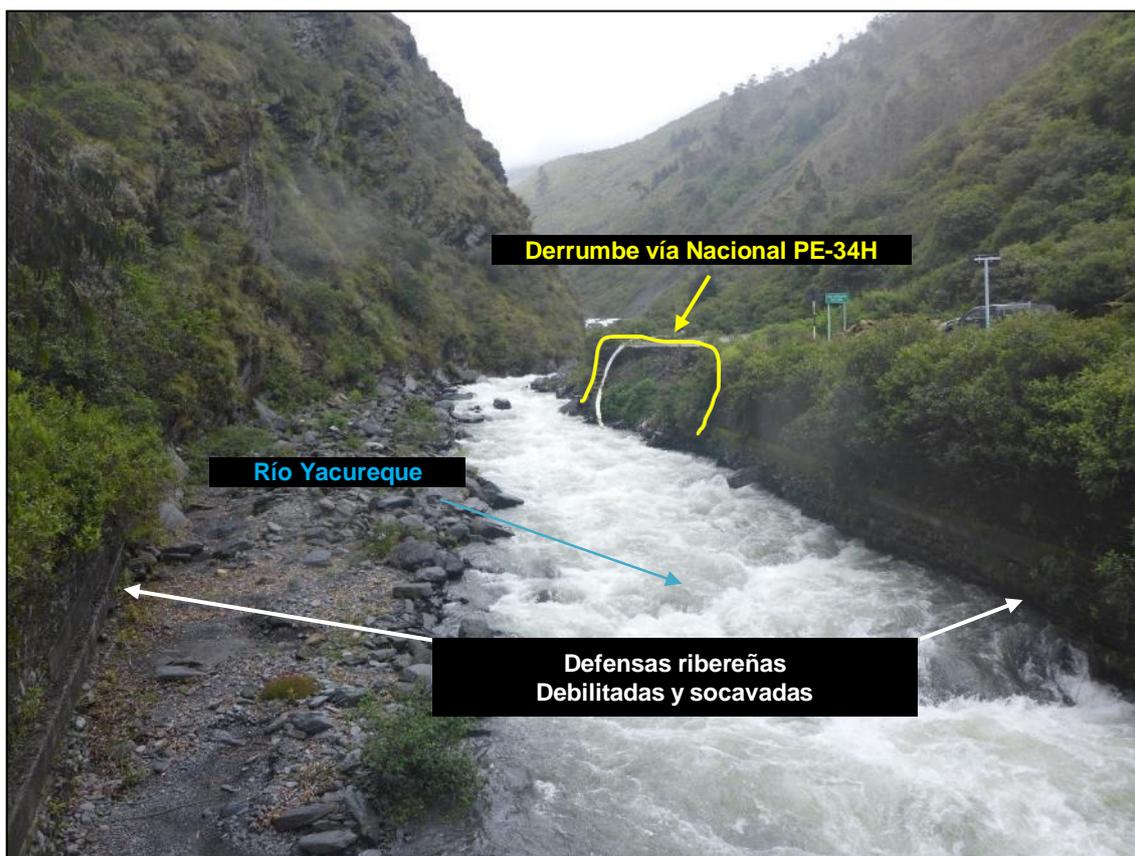


Figura 9. Imagen tomada desde el puente Qoni. Se observa el debilitamiento de las defensas ribereñas y el derrumbe de la vía PE-34H (UTM E: 446307, N: 8404070).

5.1.2 ZONA CHIJSIA

DESLIZAMIENTO ANTIGUO CHIJSIA (DA1)

En zona de Chijisia, se aprecia depósitos deslizamientos antiguo (**DA1**) (Mapa 5), con un escarpe de aproximadamente 4.7 km de largo y un desnivel de 528 m generando depósitos coluvio-deluviales de deslizamientos antiguos donde actualmente se encuentra asentada la población de esta zona (Figura 10).



Figura 10. Deslizamiento antiguo Chijisia (DA1) (coordenadas UTM E: 448650, N: 8411383)

REACTIVACION DEL DESLIZAMIENTO ANTIGUO CHIJSIA EN EL SECTOR DE AYO

El 02 de febrero del 2022 se observó una reactivación del deslizamiento antiguo en el sector de Ayo, originado por la presencia de lluvias intensas en la zona (UTM E: 448386, N: 8411753), esta reactivación del deslizamiento antiguo (Mapa 5) se desarrolló sobre los depósitos coluvio-deluviales del cuerpo del deslizamiento antiguo, teniendo un desnivel de 1.6 m y una corona no visible debido a la vegetación, además se aprecia agrietamientos de hasta 7 cm de ancho y 2 m de longitud en las coordenadas UTM E: 448386, N: 8411753. Este movimiento en masa (Figura 11, 12) ocasiono que 20 m de la vía nacional PE-34H quede afectada e intransitada por aproximadamente 2 horas.



Figura 11. Imagen tomada en el sector de Ayo, se observa el deslizamiento, con un desnivel de 1.6m, además de agrietamientos en la vía PE-34H (coordenadas UTM E: 448386, N: 8411753).



Figura 12. Agrietamientos de 7cm en la vía PE-34H, sector de Chijisia-Ayo (coordenadas UTM E: 448386, N: 8411753).

5.1.3 ZONA DE APABUCO

DESLIZAMIENTO ANTIGUO APABUCO (DA2)

En el sector Apabuco, se ha podido identificar un deslizamiento antiguo Apabuco (**DA2**) (Mapa 6) (Figura 13), con un escarpe de aproximadamente 3.7 km y un desnivel de 273 m, produciendo depósitos coluvio-deluviales donde se encuentran asentados los pobladores de la zona de Apabuco.



Figura 13. Deslizamiento antiguo Apabuco (**DA2**) (coordenadas UTM E: 449410, N: 8414030)

DERRUMBE

En el sector de Chimun (UTM E: 448980, N: 8414206) se aprecian 03 derrumbes (Figura 14, 15) en depósitos coluvio-deluviales que se originaron a causa de la erosión fluvial del río Sandia (**Cuenca de Inambari**) que en temporada de lluvia aumenta su caudal y socaba las laderas de los depósitos del deslizamiento antiguo Apabuco (**DA2**), además esta zona se encuentra en una curva del río generando que el impacto sea mayor contra las terrazas de material poco consolidado (Mapa 6). Este evento viene afectando aproximadamente 20 m de la vía nacional PE-34H (tramo Cuyocuyo-Sandia), además no se observan estructuras de protección ribereña a lo largo de este tramo.

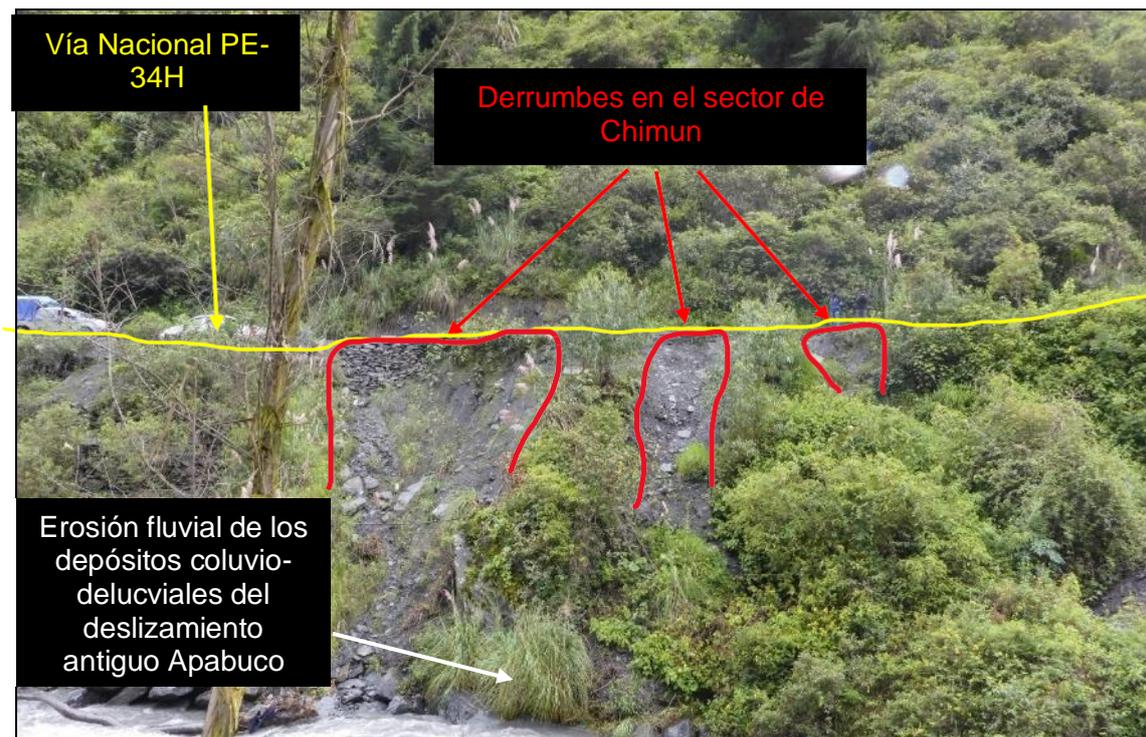


Figura 14. Imagen tomada en la zona de Apabuco, sector de Chimun se observa los derrumbes en la vía PE-34H producto de la erosión fluvial del río Sandia sobre los depósitos coluvio-delucviales (coordenadas UTM E: 448980, N: 8414206).



Figura 15. Derrumbe en la zona de Chimun compuesto por depósitos coluviales con bloques de formas angulosas a subangulosa, heterométricos, de composición metamórfica (coordenadas UTM E: 448980, N: 8414206).

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN FLUVIAL

En el punto UTM E: 446124, N: 8404947 en el sector de Vivero se observa el debilitamiento y erosión fluvial de las defensas ribereñas (Figura 16 y 17), a 15 m del río se encuentra el colegio Phoccaracane (Figura 18), un vivero “Acopio” (Figura 19), una zona de almacén de vehículos motorizados pertenecientes a la comunidad campesina de Apabuco y viviendas sobre terrazas de material aluvial casi al mismo nivel del cauce máximo alcanzado por el río Sandia en años anteriores (Figura 16), caracterizando esta zona de alta susceptibilidad a inundaciones (INGEMMET, 2007).



Figura 16. Zonas susceptibles a inundación con edificaciones de viviendas, margen derecha del río Sandia sin defensas ribereñas sector de Apabuco (coordenadas UTM E: 449115, N: 8414664).

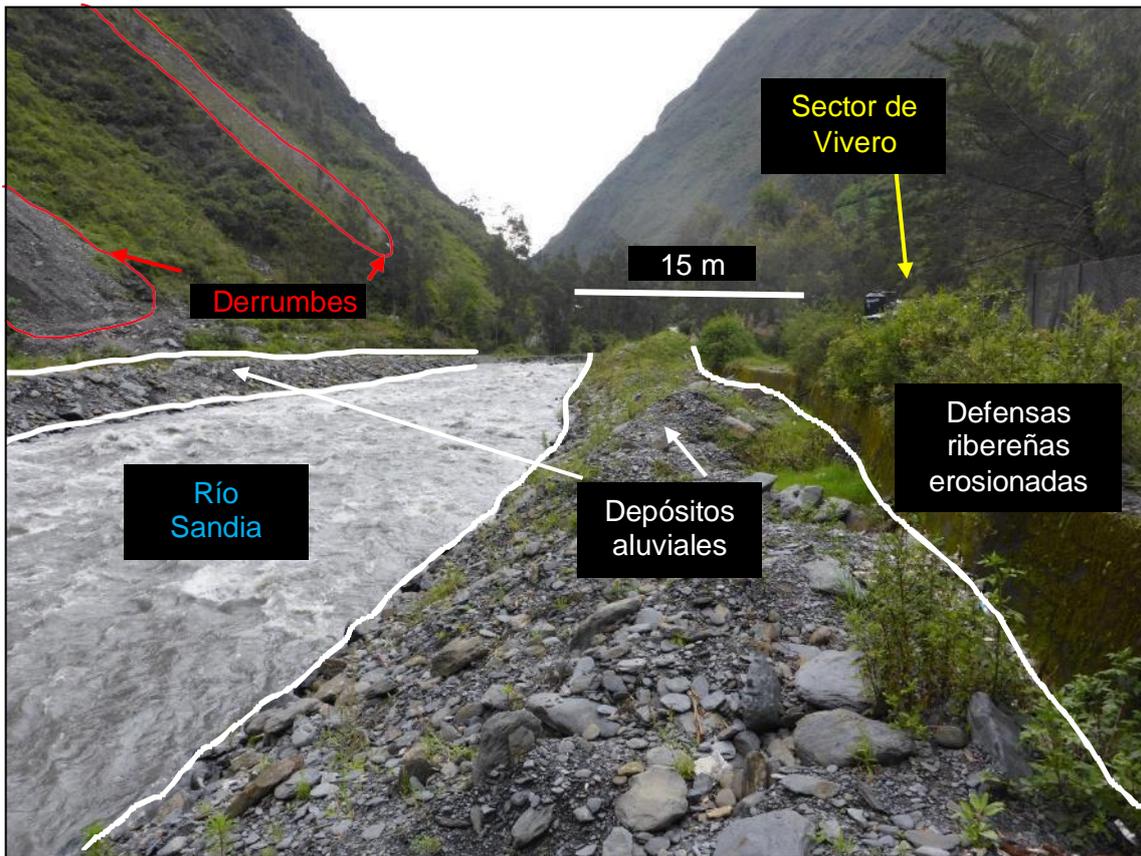


Figura 17. Margen izquierda del río Sandia, con defensas ribereñas debilitadas, construcciones a 15m del cauce del río (coordenadas UTM E: 449133, N: 8414680).



Figura 18. Centro educativo Phoccaracane a 40m del río, edificado en una zona susceptible a inundaciones (coordenadas UTM E: 449132, N: 8414629).



Figura 19. Vivero “Acopio”, utilizado para el cultivo de papaya a 30m del cauce del río Sandía, edificado en una zona susceptible a inundaciones (coordenadas UTM E: 449260, N: 8414749).

5.1.4 ZONA DE HUENCALA

CAÍDA DE ROCAS

En la zona de Huencala en el punto UTM E: 449548, N: 8416552, en el sector del túnel San Marcos (Mapa 7) se aprecia un afloramiento de roca metamórfica (Pizarra) fracturada y meteorizada, con filtrado de agua y pendientes fuertes a escarpadas (25° a $> 45^\circ$) (Figura 20), esta zona es transitada tanto por vehículos motorizados como por la población en general, este túnel no cuenta con un sistema de protección ante caída de rocas, lo cual podría generar caída de rocas de presentarse un sismo de gran magnitud y/o por las vibraciones generadas por vehículos pesados que transitan por la zona.



Figura 20. Sector de Huencala, túnel San Marcos roca metamórfica fracturada de la formación Sandía (coordenadas UTM E: 449780, N: 8415936).

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN FLUVIAL

En el punto UTM E: 449485, N: 8415929 en el sector de barrio los Pinos se observa viviendas asentadas sobre depósitos aluviales, a una distancia entre 5 a 10 m del río Sandía (Figura 21, Mapa 7), en este sector las defensas ribereñas se encuentran afectadas por erosión fluvial, estas viviendas se encuentran en una zona de alto peligro por inundaciones (INGEMMET, 2007).



Figura 21. Sector de Huencala, barrio los “Pinos”, sobre depósitos aluviales alta susceptibilidad a inundaciones (coordenadas UTM E: 449741, N: 8415999).

5.1.5 ZONA DE MORORIA

DESLIZAMIENTO ANTIGUO (DA3)

En el sector Mororia, se ha podido identificar un deslizamiento antiguo Mororia (**DA3**) (Mapa 8), con un escarpe de aproximadamente 4.5 km y un desnivel de 634 m, produciendo depósitos coluvio-deluviales donde se encuentran asentados los pobladores del sector de Mororia; además se ha identificado una antigua reactivación (**AR1**) (Mapa 8) del deslizamiento de Mororia con un escarpe de aproximadamente 870 m y un desnivel de 140 m, en dirección sureste hacia el río Sandia (Figura 22).

Los componentes encontrados en el deslizamiento, corresponden a bloques de pizarras y cuarcitas, se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas; los mismos que generan un suelo no consolidado, poco compactado, de fácil de remoción y están saturados de agua

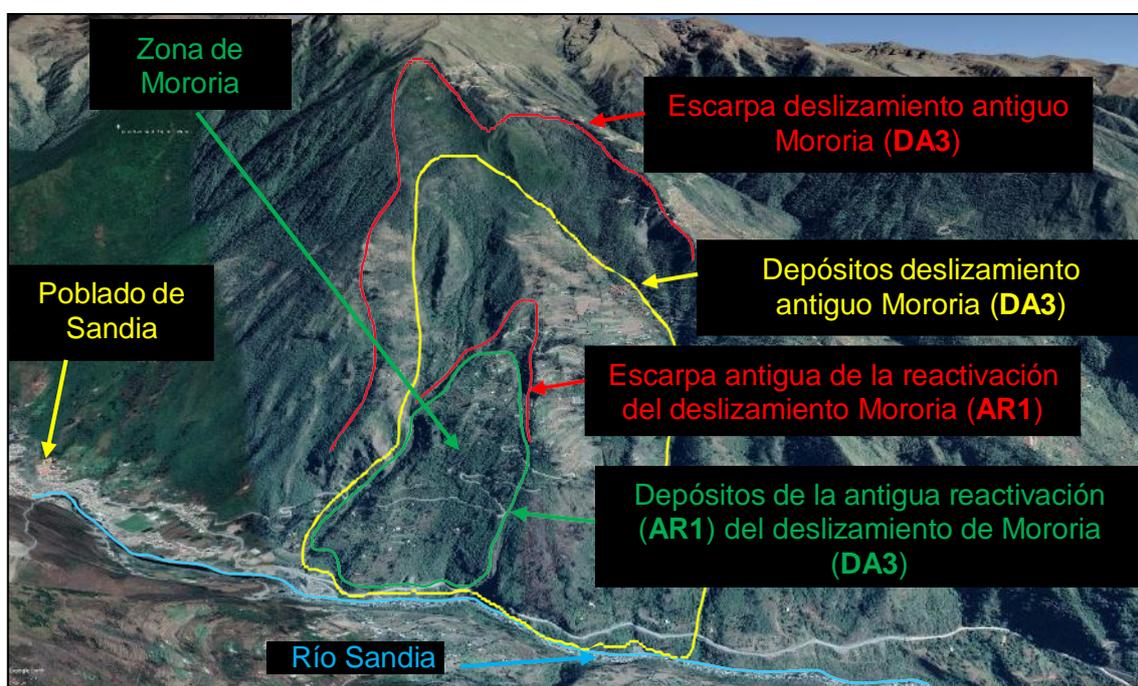


Figura 22. Deslizamiento antiguo Mororia (**DA3**) (coordenadas UTM E: 450709, N: 8417656)

FLUJO DE DETRITOS

En el sector Mororia en la inspección realizada el 03 de febrero del presente año, en el punto UTM E: 450768, N: 8417533, se identificó un flujo de detritos (Figura 23), este evento fue originado por el agua del manantial “Mororia”, que aumenta su caudal considerablemente en temporada de lluvia y el agua de escorrentía superficial producto de las intensas lluvias que se mezclan con los depósitos poco consolidados formando así este flujo. El flujo tiene una dirección 156° al SE, sobre una pendiente muy fuerte (36°) de terreno, la distancia alcanzada por el flujo es de 200 m (Figura 24) (Mapa 8) aproximadamente, también se observa encima del flujo de detritos zonas agrícolas con el sistema de riego por inundación.

Los componentes encontrados en el flujo de detritos, corresponden a bloques de pizarras y cuarcitas de hasta 7 m de diámetro (Figura 25), gravas y arenas, de forma angulosa a subangulosa, englobados en una matriz arcillo-limosa.

El mencionado flujo de detritos afectó aproximadamente 10 m de vía afirmada que comunica el centro poblado Mororia y el poblado de Sandia.



Figura 23. Sector de Mororia, flujo de detritos ocasionado por la colmatación del suelo coluvio-deluvial por un manantial de agua (coordenadas UTM E: 450768, N: 8417533).



Figura 24. Sector de Mororia, recorrido de casi 200m del flujo de detritos, afectando áreas de cultivo pendiente abajo (coordenadas UTM E: 450806, N: 8417479).



Figura 24.-Zona de Mororia, bloque de hasta 7 m de diámetro (coordenadas UTM E: 450810, N: 8417430).

DERRUMBE

En la parte baja del deslizamiento antiguo (**DA3**) (Mapa 8) en las coordenadas UTM E: 450929, N: 8417386, se observó una zona de derrumbes de aproximadamente 50 m (Figura 26, 26), cuya ladera está compuesta por depósitos coluvio-deluviales sobre una pendiente muy fuerte a escarpada ($25^\circ - >45^\circ$). Estos depósitos poco consolidados se saturan en temporada de lluvia originando derrumbes que afectan 60 m de la vía nacional PE-34H en el tramo Sandía – San Juan de oro; además en la parte alta del derrumbe se observa zonas agrícolas con el sistema de riego por inundación, observándose zonas saturadas en los depósitos coluvio-deluviales.



Figura 26.-Zona de Mororia, bloque de hasta 7 m de diámetro (coordenadas UTM E: 450929, N: 8417386).

5.1.6 ZONA CERRO CATASUYO

CAIDA DE ROCAS

Durante el trabajo realizado el día 03 de febrero, en las coordenadas UTM: 449548N, 8416552 N, se han observado antiguas caídas de rocas con bloques de 1.8 de largo y 2.5 m de ancho en el flanco noreste del cerro Ccatasuyo cerca de las viviendas del sector de barrio "Alegre" (Mapa 9); donde el talud rocoso se presenta muy fracturado y meteorizado con un buzamiento de 60° NE; teniendo una orientación desfavorable a las discontinuidades del macizo rocoso, la pendiente es escarpada (>45 °) y filtraciones de agua. (Figura 27 y 28).



Figura 27. Sector de Ccatasuyo, roca metamórfica fracturada de la formación Sandia cerca al barrio "Alegre", poblado de Sandia (coordenadas 449548N, 8416552 N).



Figura 28. Sector de cerro Ccatasuyo, caída de roca reciente bloques de hasta 2.5m de diámetro en el barrio "Alegre", poblado de Sandia (coordenadas 449548N, 8416552 N).

5.2 Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- En las zonas de Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y cerro Ccatasuyo, las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio están conformadas principalmente por rocas metamórficas, constituida principalmente por metareniscas intercaladas con capas de pizarras los cuales se encuentran meteorizadas, plegadas, muy fracturadas y afectadas por fallas; cubiertas por depósitos coluvio-deluviales, que presentan poca compactación. La meteorización y erosión de estas rocas y suelos crean coberturas susceptibles a los movimientos en masa.
- Los suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales). Está conformado por materiales gruesos de naturaleza homogénea y heterométrica, bloques angulosos a subangulosos provenientes de la Formación Sandía, inmersa en una matriz arcillo-limosa; poco compactos, son muy inestables cuando son sometidos a la saturación de agua, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

Factor geomorfológico

- Las zonas de Nacoreque, Chijisia, Apabuco, Huencala, Mororia y cerro Ccatasuyo se encuentran en ladera de montaña modelada sobre roca metamórfica donde presentan pendientes muy fuertes (25-45°) a muy escarpadas (>45°); ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad.

5.3 Factores desencadenantes

- Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú el periodo de lluvia en el Perú se da en los entre los meses de noviembre a marzo); registrando un máximo de 25.5 mm/día el 11 de noviembre del 2021 y 27.8 mm/día el 14 de marzo del 2022 (Figura 29), en la estación Meteorológica Ananea (SENAMHI) la más cercana al del poblado de Sandía a 40 km de distancia, estas lluvias saturan los terrenos poco consolidados, aumentando el peso de material y las fuerzas tienden al desplazamiento y también pueden presentarse los flujos de detritos (Huaycos).

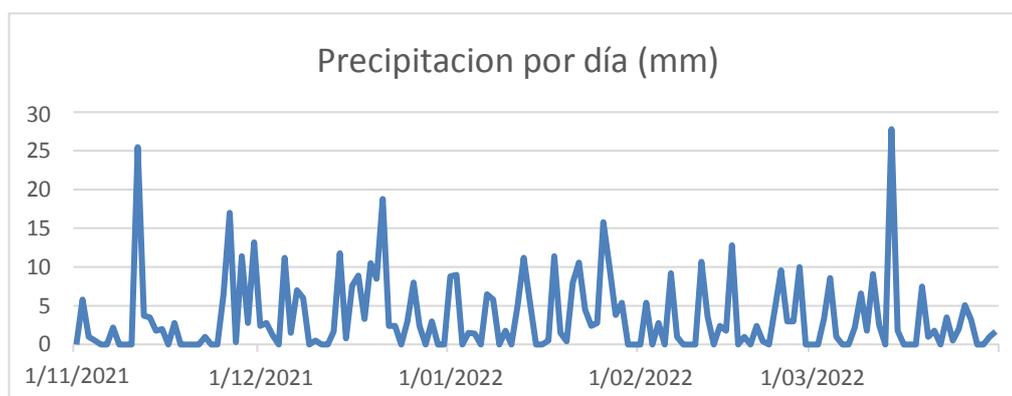


Figura 29. Precipitaciones por día entre los meses de noviembre 2021 y marzo 2022 (Fuente SENAMHI).

- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde

las partes altas. Según el Alva et al. (1984) el departamento de Puno se ubica en la zonificación sísmica moderada y baja (Figura 30). La zona de evaluación se encuentra en la zona de sismicidad moderada donde podrían generarse sismos de magnitud moderada.



Figura 30. Zonificación Sísmica del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

6. CONCLUSIONES

Zona Nacoreque

- A. En la zona se tienen rocas metamórficas como pizarras, que se encuentran muy fracturadas y moderadamente meteorizadas cubiertas por depósitos coluvio-deluviales de poca compactación. La meteorización y erosión de estas rocas y suelos crean coberturas susceptibles a derrumbes.
- B. Se tiene una montaña en roca metamórfica y con ladera de pendiente muy fuerte a escarpado, donde se ha identificado caída de rocas y derrumbes. En la geoforma de vertiente piedemonte coluvio-deluvial la pendiente del terreno varía de muy fuerte a escarpado, se tiene la presencia de derrumbes.
- C. Los peligros geológicos identificados en la zona Nacoreque corresponde a derrumbes, la causa principal es la erosión fluvial del río Yacureque (margen izquierda) que desestabiliza el talud. Afectó el puente Qoni y la vía en 60 m; además la carretera nacional PEH-34 en el tramo Cuyo cuyo – Sandía en 25 m.
- D. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la zona de Nacoreque es considerado como zona de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas o excepcionales y movimientos sísmicos fuertes.

Zona Chijisia

- A. Se tienen depósitos coluvio-deluviales de poca compactación, provenientes del deslizamiento antiguo (**Chijisia DA1**). Son susceptibles a derrumbes.
- B. Las geoformas de unidad de piedemonte, presentan terrenos con pendiente muy fuerte a escarpado, se tienen derrumbes y deslizamientos.
- C. En el sector de Ayo, se tiene la reactivación del deslizamiento antiguo, que afectó la carretera nacional PEH-34 Cuyo Cuyo – Sandía, en un tramo de 20 m.
- D. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la zona de Chijisia es considerado como de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de derrumbes y la reactivación del deslizamiento antiguo Chijisia (**DA1**) que pueden ser desencadenados por lluvias intensas excepcionales o de larga duración, erosión fluvial del río Sandía, otro factor es el riego por inundación.

Zona de Apabuco

- A. En las laderas conformada por roca metamórfica, se tienen suelos adosados que se encuentran inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales), provenientes del deslizamiento antiguo Apabuco (**DA2**). Material de fácil removilización ante precipitaciones pluviales intensas y erosión fluvial del río Sandía.
- B. Las laderas en la zona de estudio presentan pendientes muy fuertes a muy escarpadas, ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.
- C. Los peligros geológicos, derrumbes, afectó tramo de carretera Cuyocuyo- Sadia en 20m.
- D. También se identificó zonas susceptibles a inundaciones, ubicadas en el sector de vivero “Acopio” y el centro educativo Phoccaracane; que ante un incremento en el caudal del río Sandía serían afectadas.
- E. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas la zona de Apabuco es considerado como zona de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de peligros por movimientos en masa como derrumbes; mientras que en el sector de Apabuco presenta una zona de susceptibilidad muy alta ante a inundaciones, considerando este sector de **Peligro Muy Alto** ante peligros geo-hidrológicos por inundaciones. Estos fenómenos pueden ser desencadenados en temporada

de lluvias intensas o excepcionales, erosión fluvial del río Sandia y el sistema de riego por inundación empleado en la zona.

Zona de Huencala

- A. Se tienen rocas metamórficas de cuarcitas y pizarras que se encuentran ligeramente meteorizadas, plegadas y muy fracturadas, esta última característica genera que el sector del túnel San Marcos sea susceptibles a caídas de rocas.
- B. Las laderas presentan pendientes muy fuertes a escarpado, ello permite que el material suelto, dispuesto en su superficie se movilice pendiente abajo por efecto de la gravedad.
- C. El barrio los “Pinos”, es susceptible a inundaciones, por encontrarse sobre una terraza baja (altura de 3 m) que ante un incremento en el caudal del río Sandia sería afectado.
- D. En este sector se ha identificado caída de rocas, que podría afectar personas y vehículos que transitan el túnel San Marcos; se le cataloga como **Peligro Alto**.
- E. El sector Los Pinos presenta una zona de susceptibilidad muy alta ante a inundaciones fluviales, se considera de **Peligro Muy Alto**. Estos fenómenos pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas o excepcionales y por sismos de gran magnitud.

Zona de Mororia

- A. Se tienen depósitos coluvio-deluviales de poca compactación pertenecientes al deslizamiento antiguo Mororia (**DA3**). La saturación y erosión de estos depósitos crean zonas susceptibles a derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos.
- B. Las laderas en la zona de estudio presentan pendientes muy fuertes a escarpado, ello permite que el material suelto en la superficie de la ladera sea de fácil erosión y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad, causando derrumbes que afectan la vía nacional PEH-34 tramo Sandia - San Juan de Oro en 60 m.
- C. En el sector Mororia se identificó un flujo de detritos, una de las causas es el agua de escorrentía superficial generada por las lluvias intensas y por el manantial “Mororia” que al mezclarse con los depósitos poco consolidados forman el flujo. Este flujo de detritos afectó la vía Sandia-Mororia en 10 m, además terrenos de cultivo en un área de 0.29 ha.
- D. Los peligros geológicos identificados son derrumbe y flujo de detritos (huaico).
- E. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, Mororia es considerado como zona de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos (huaico) que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas o excepcionales, erosión fluvial por parte del río Sandia y el sistema de riego por inundación empleado en la zona.

Zona de Cerro Ccatasuyo

- A. En el flanco noreste del cerro Ccatasuyo la roca está muy fracturada, se evidencia procesos de caída de rocas recientes, en el depósito se aprecian bloques con de diámetro de hasta 2.5 m. El arranque de este evento es irregular y discontinua que están a favor de talud. De generarse el movimiento de masas por caídas de rocas afectaría al barrio Alegre que se encuentra al pie del cerro.
- B. La ocurrencia de caída de rocas, son debido a que las rocas metamórficas se encuentran deformadas (plegadas), muy fracturadas, afectadas por un sistema de fallas con buzamiento de 60° NE, orientación desfavorable a las discontinuidades y estratos, con una pendiente del terreno muy fuerte y poca

vegetación. El factor detonante son las precipitaciones pluviales intensas y la actividad sísmica.

- C. Las condiciones geológicas mencionadas anteriormente, en el Cerro Ccatasuyo, pueden generar caída de roca, por ello se considera de **Peligro Muy Alto**.

7 RECOMENDACIONES

- Controlar la erosión fluvial del río Sandia en la base del talud y terrazas con la construcción de muros de protección ribereña (gaviones, enrocado o espigones), según la propuesta en el anexo 2 figura 34, se debe hacer una remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes.
- Implementar una red de drenes de coronación que intercepten el agua superficial; estos deben ser derivados hacia un canal de drenaje principal (ríos Sandia y Yacureque), para evitar procesos de erosión de suelos.
- La población debe ser incentivada a la migración a nuevos tipos de cultivos y cambios de técnicas de irrigación, evitando las prácticas de riego por inundación. Además de impermeabilizar los canales de riego.
- Realizar la limpieza y descolmatación periódica del cauce del río Sandia.
- Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas, con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos. Para evitar construcción de viviendas o infraestructura en áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa e inundaciones.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización de taludes. En la selección de árboles se debe contemplar las características de las raíces, las exigencias en el tipo de suelo y los tamaños que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de los drenajes superficiales, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.
- En el sector de Ayo afectado por la reactivación del deslizamiento antiguo Chijisa se debe construir un sistema de andenería rodeado de plantas nativas de la zona. Además de la construcción de muros de contención ante futuros deslizamientos.
- En el cuerpo de los deslizamientos antiguos de Chijisia, Apabuco y Mororia hacer un drenaje tipo “espina de pez” (Anexo 2, Figura 31, 32 y 33) para evitar la infiltración de agua hacia el cuerpo del deslizamiento.
- Evitar la utilización de la terraza aluvial, como terrenos de cultivo y la construcción de viviendas en el borde del río Sandia. Para las viviendas que se encuentran en estas zonas, se debe controlar y evitar el arrojamiento de residuos sólidos y líquidos hacia la ribera, ya que contribuyen al incremento y aceleración de la erosión fluvial de las riberas.
- Implementar un sistema de alerta temprana ante flujos de detritos e inundaciones.
- Implementar un sistema de monitoreo ante la posible caída de rocas en el sector del túnel San Marcos.

- En el sector Mororia se observó un manantial que tiene el mismo nombre, el cual debe ser canalizado con el fin de evitar que siga filtrando y colmatando los suelos coluvio-deluviales.
- Se ratifica las recomendaciones propuestas en los informes: Gómez & Ccorimanya (2021) Informe técnico N° A7148 “Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores Huancaluque, Llamani y cerro Ccatasuyo”; Gómez, (2012) “Informe Técnico N°A6616 “Evaluación Técnica de: Peligro Geológicos en los sectores Jilari- Llamani-pata-Ccatasuyo” y Núñez, (2007)-Informe Técnico “Evaluación de los Peligros Geológicos en los alrededores de Sandia” como son:
 - A. En el sector flanco noreste y noroeste del cerro Ccatasuyo realizar estudios para dimensionar los muros de contención, para protección de viviendas ante caída de rocas.
 - B. Evitar construir viviendas al pie de los taludes donde se producen desprendimientos de rocas.
 - C. Sensibilizar a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar asentamientos de viviendas o infraestructura en zonas de riesgo.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Corominas, J. & García Yagüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36- 75.

Direcci3n de Geologí3a Ambiental (2002)- Estudios de Riesgos Geol3gicos del Per3
Franja N°2. Lima. INGEMMET. Boletín Serie "C" Geodinámica e Ingenierí3a Geol3gica.
368 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/261>

De La Cruz, N., Carpio, M. (1996)- Geologí3a de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio. Lima. INGEMMET. Boletín Serie "A" Carta Geol3gica Nacional. 82. 160p.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/38>

G3mez, D. & Pari, W., (2020)- Boletín N°77, serie C, Geodinámica e Ingenierí3a Geol3gica: "Peligro Geol3gico en la Regi3n Puno"
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/2575>

Instituto Geol3gico Minero Metal3rgico (2003)- Estudio de Riesgos Geol3gicos del Per3
– Franja N°3. INGEMMET, Geodinámica e Ingenierí3a Geol3gica. Boletín N°28 Serie C:
389p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/262>

Laubacher, G. (1978). Estudio geol3gico de la regi3n norte del Lago Titicaca – [Boletín D 5]. INGEMMET. Boletín, Serie D: Estudios Regionales; n° 5.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/320>

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - *Movimientos en masa en la regi3n andina: una guí3a para la evaluaci3n de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geologí3a y Minerí3a, 432 p., Publicaci3n Geol3gica Multinacional. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>.

G3mez & Ccorimanya, (2021). Informe T3cnico "Evaluaci3n de peligros geol3gicos por movimientos en masa en los sectores Huancaluque, Llamani y cerro Ccatasuyo" (distrito, provincia Sandia – regi3n Puno).

G3mez, D. (2012)- Informe T3cnico N°A6616 "Evaluaci3n T3cnica de: Peligro Geol3gicos en los sectores Jilari-Llamanipata-Ccatasuyo". <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1589>

Medina, L., Vilchez, M., Zavala, B., Luque, G., Nuñez, S., Calderon, E. (2007). Mapa de susceptibilidad por inundaci3n fluvial del Per3. INGEMMET.
<http://metadatos.ingemmet.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadatos/cc199dc7-7c91-4cc9-8bf3-cc8d5af143c6>

Per3. Ministerio de Vivienda, Construcci3n y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Decreto supremo que modifica la norma t3cnica E.030 "Diseño Sismoresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-

2014-VIVIENDA. El Peruano, Separata especial, 24 enero 2016, 32 p.

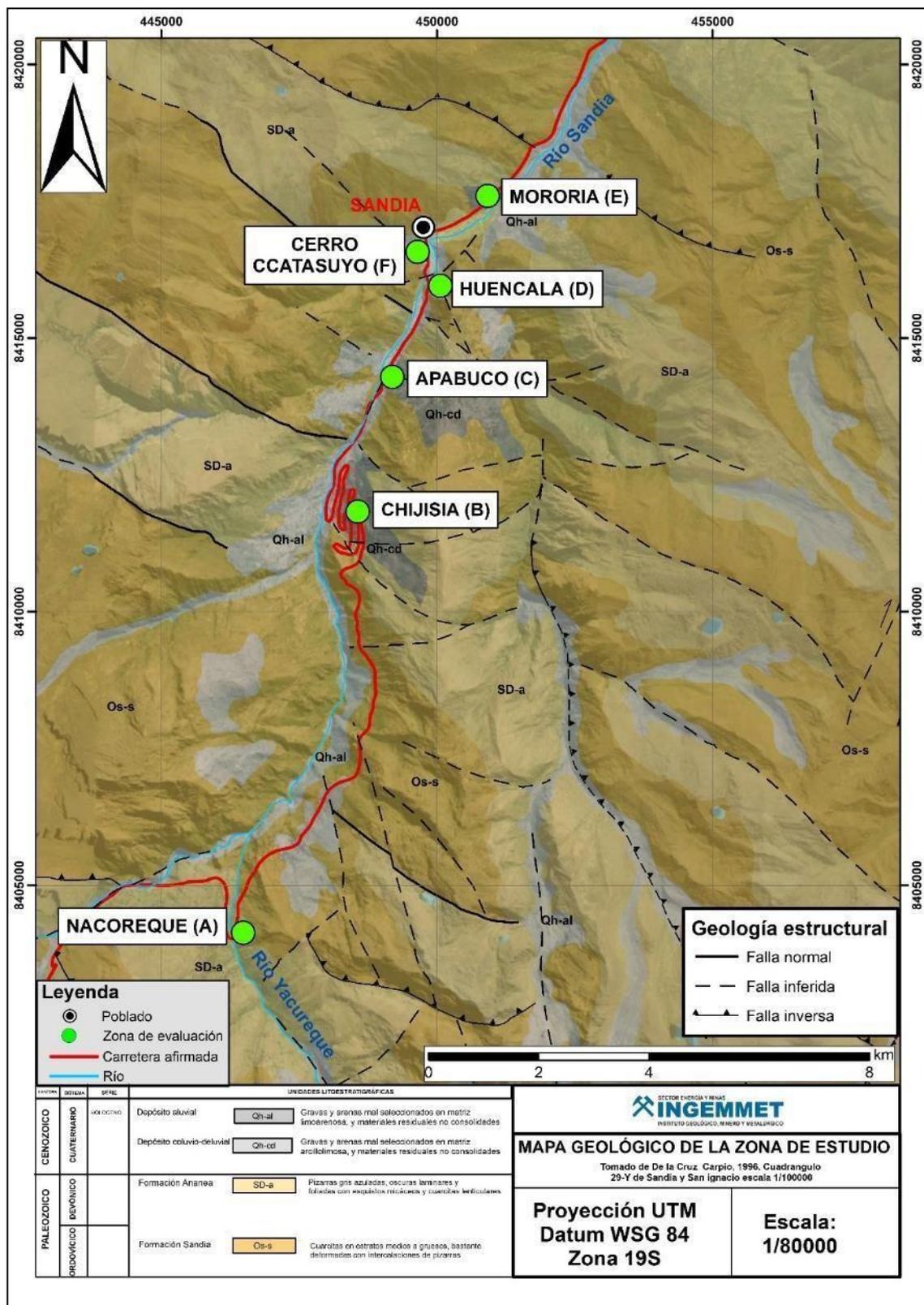
Núñez, S. (2007)- Informe Técnico “Evaluación de los Peligros Geológicos en los alrededores de Sandía”. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2273>

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

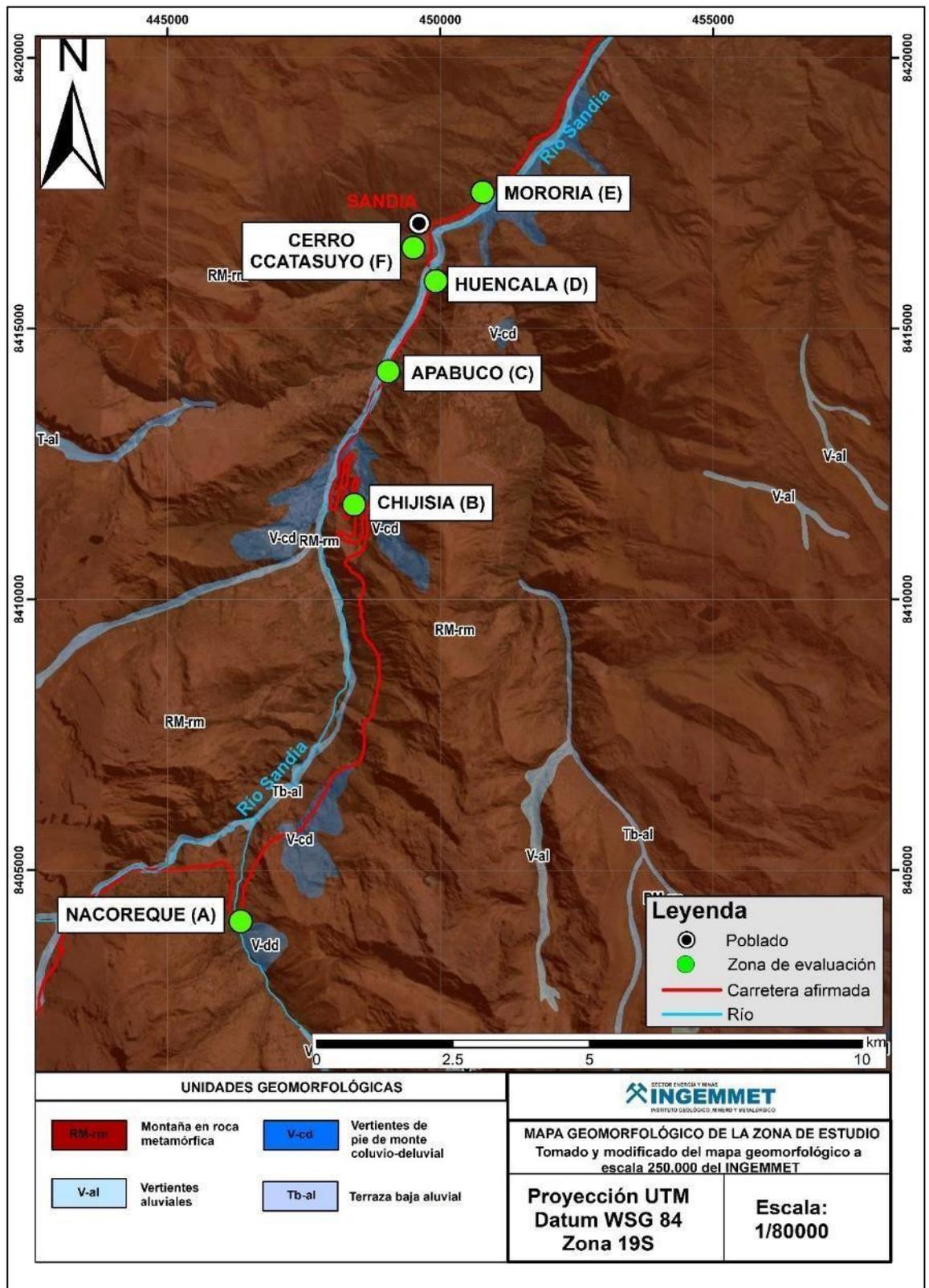
Vílchez, M. (2015). Movimientos en masa, modeladores del paisaje en los Andes peruanos. En: 1 Simposio de Geoparques, Arequipa, 14 al 17 de julio 2015: Libro de resúmenes. Lima: INGEMMET, p. 24-27. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2087>

Villota, H. 2005. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y la zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Cadazzi

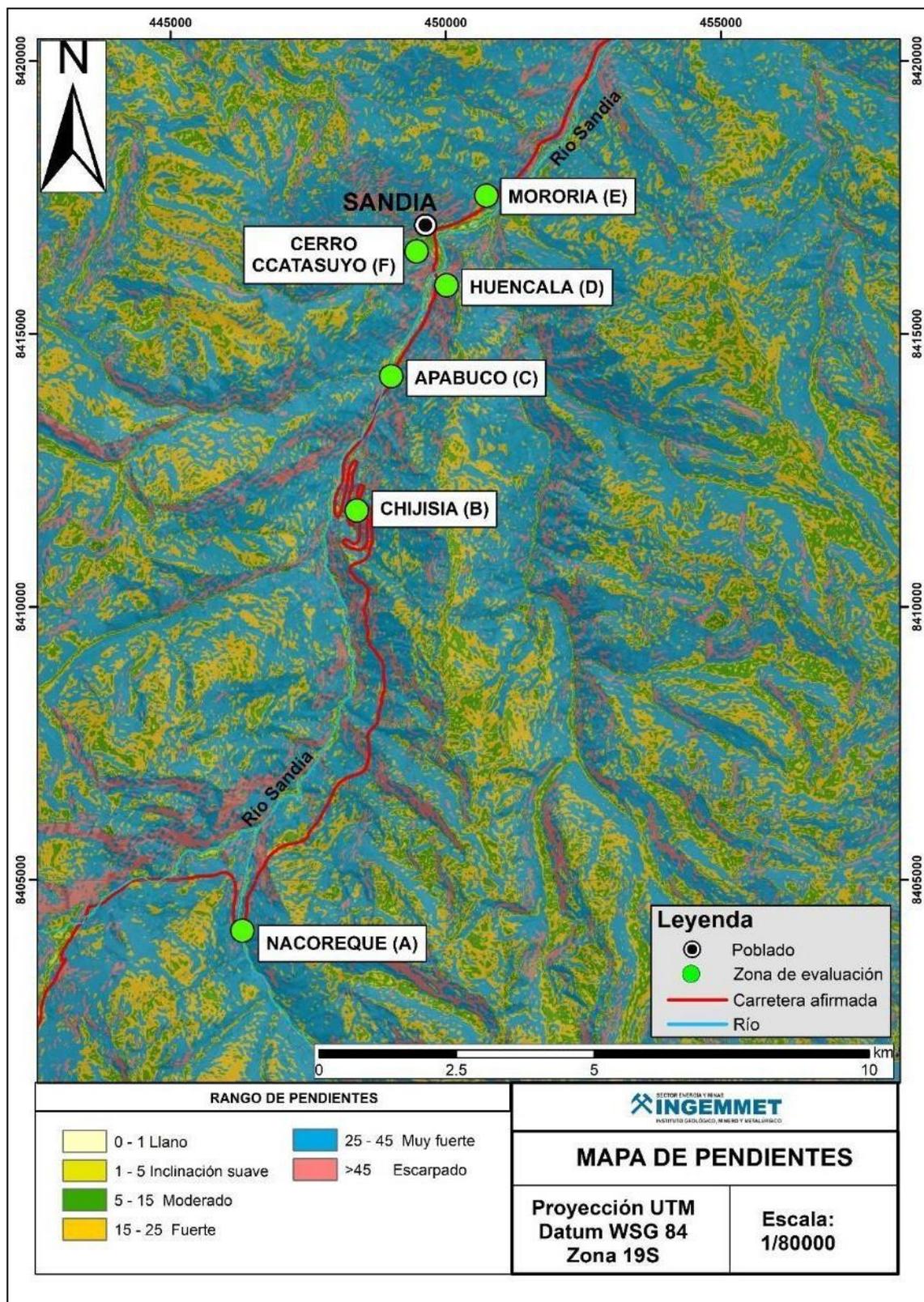
ANEXO 1: MAPAS



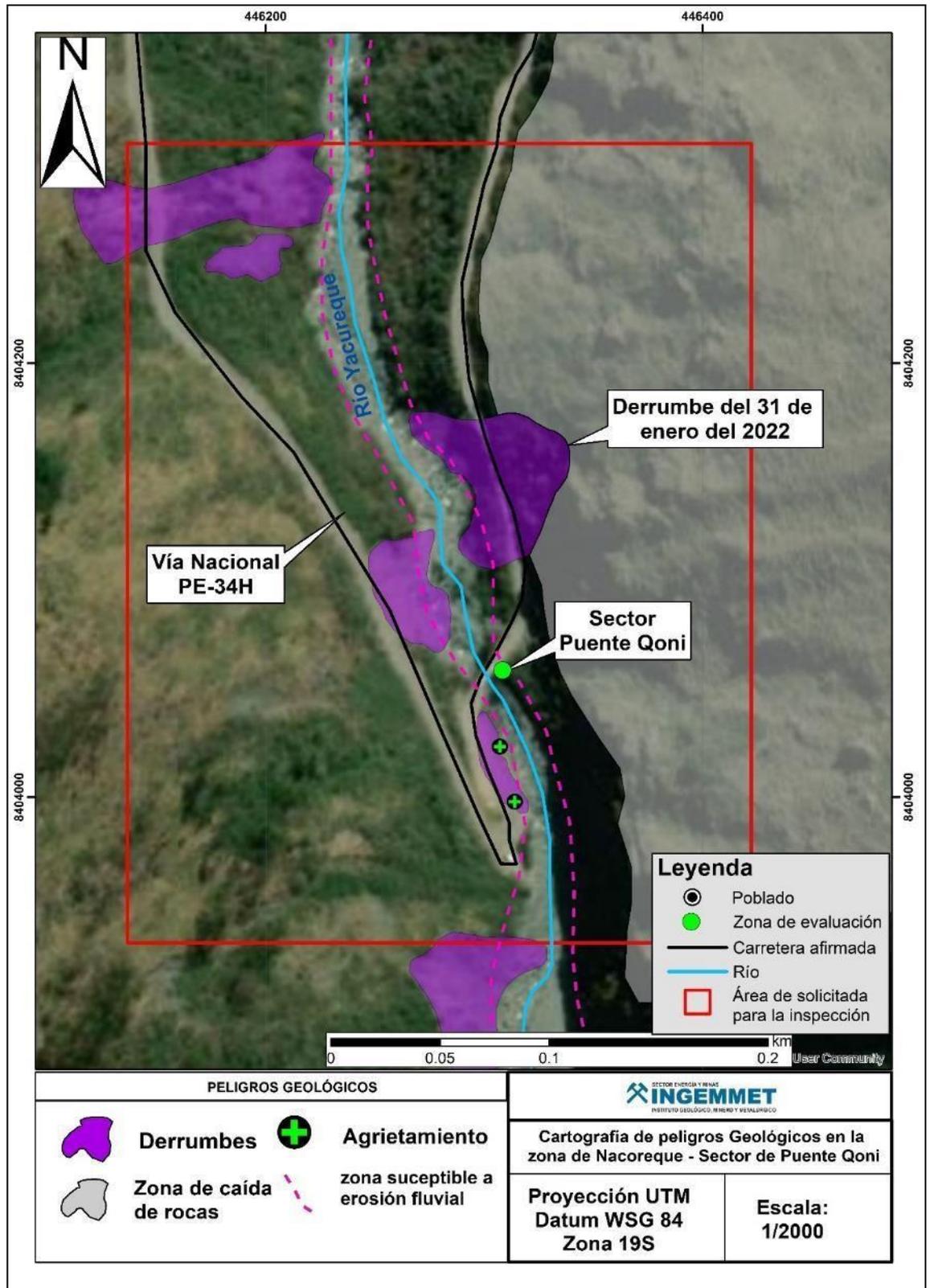
Mapa 1. Mapa geológico en base a los cuadrángulos 29-y,29-z, en el distrito de Sandia, provincia de Sandia, departamento Puno



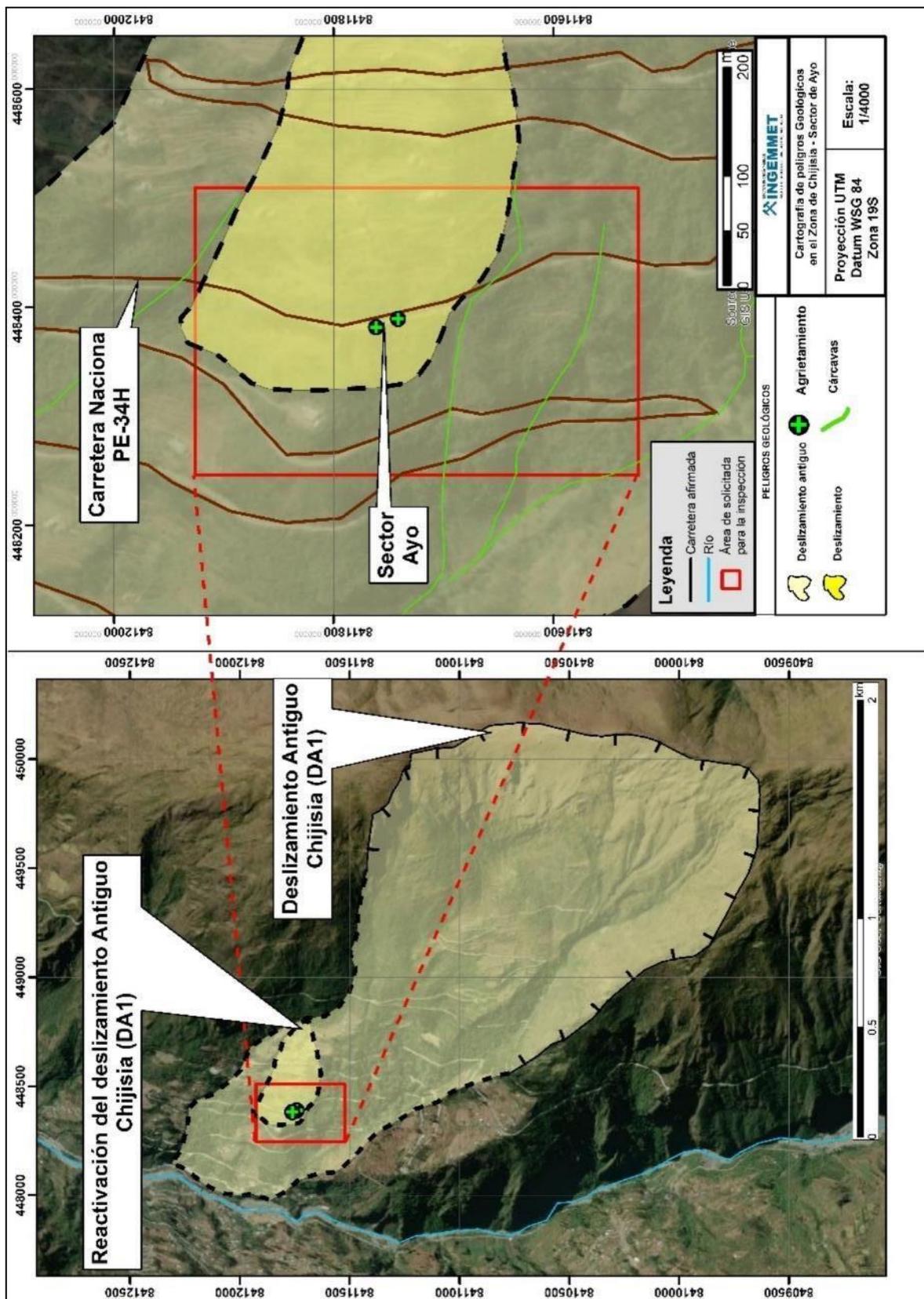
Mapa 2. Mapa geomorfológico con base al mapa geomorfológico a escala 1/250000 del INGENMET de las zonas de Evaluación, en el distrito de Sandia, provincia de Sandia, departamento Puno.

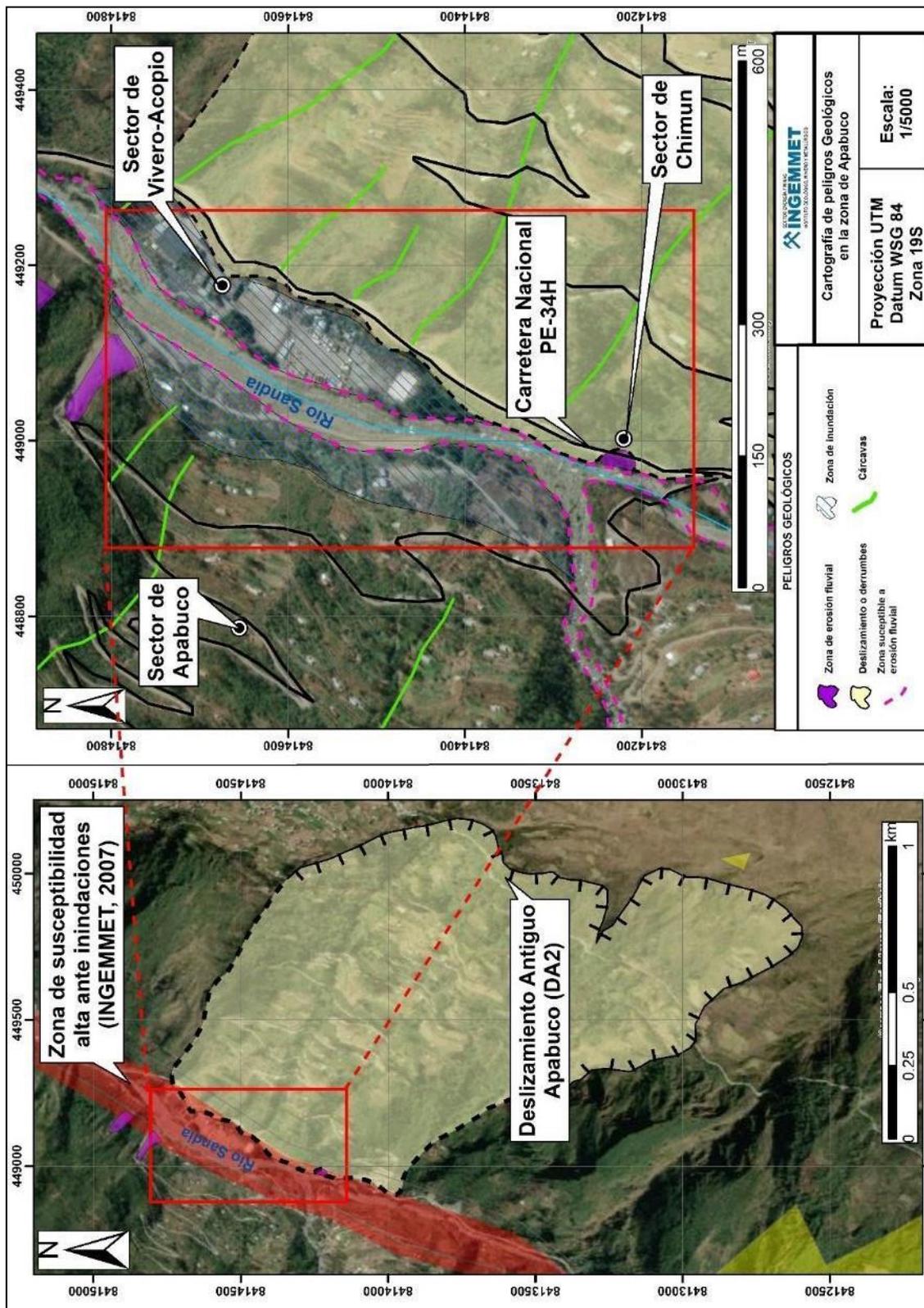


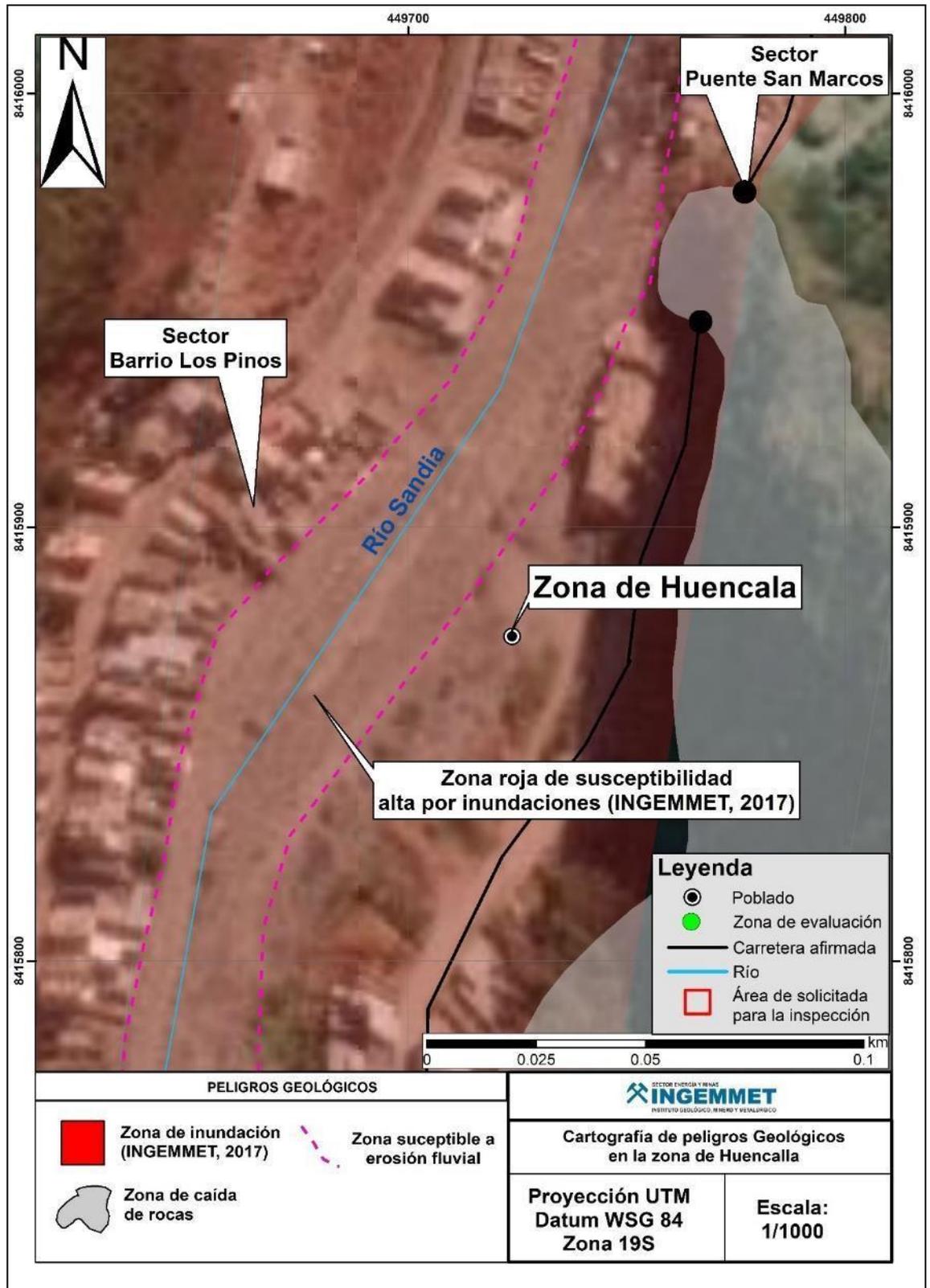
Mapa 3. Mapas pendientes con base al modelo digital de terreno (DEM) del satélite Alos-Palsar de las zonas de Evaluación, en el distrito de Sandia, provincia de Sandia, departamento Puno.



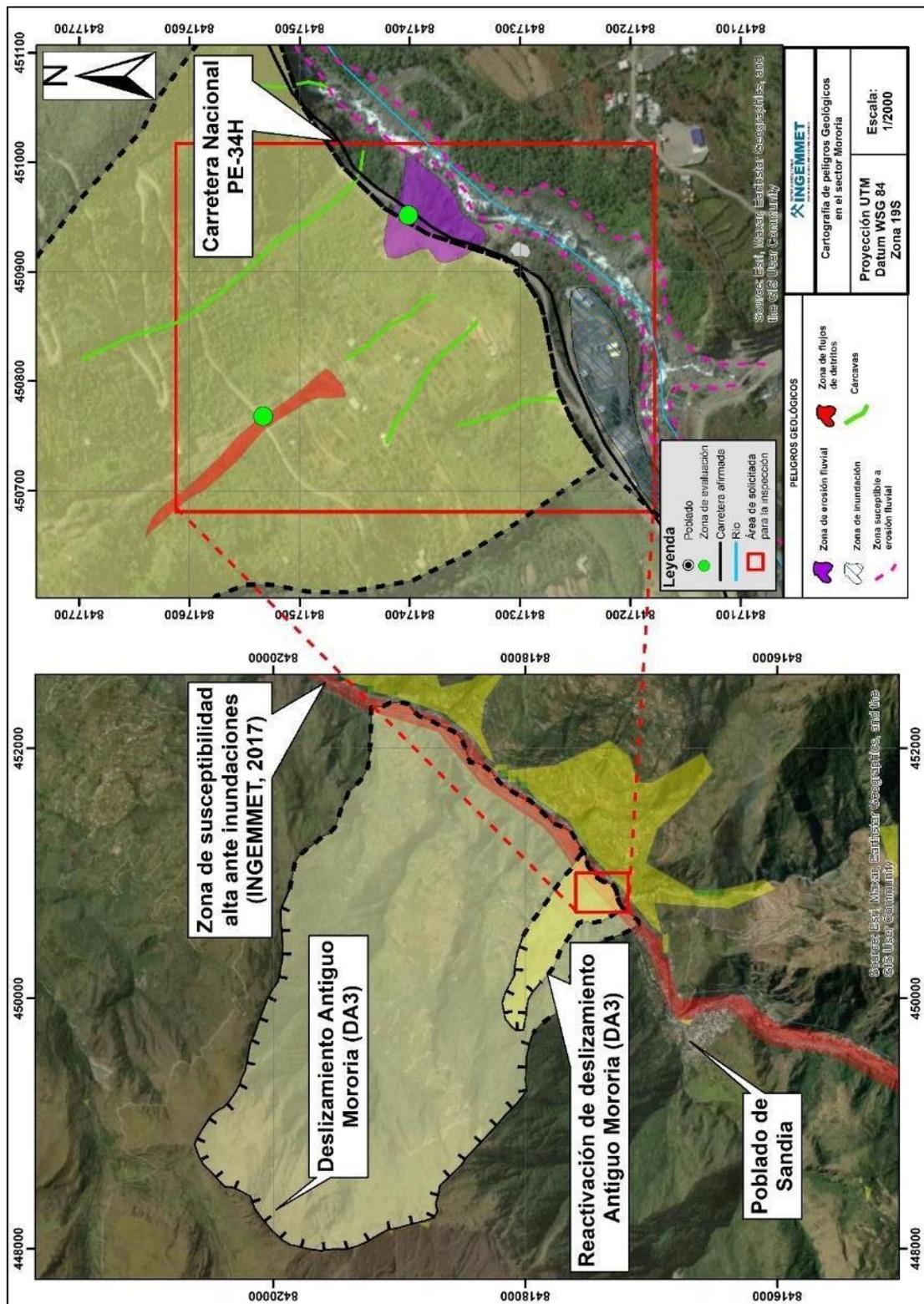
Mapa 4. Mapa de peligros geológicos en la zona de Nacoreque (A)



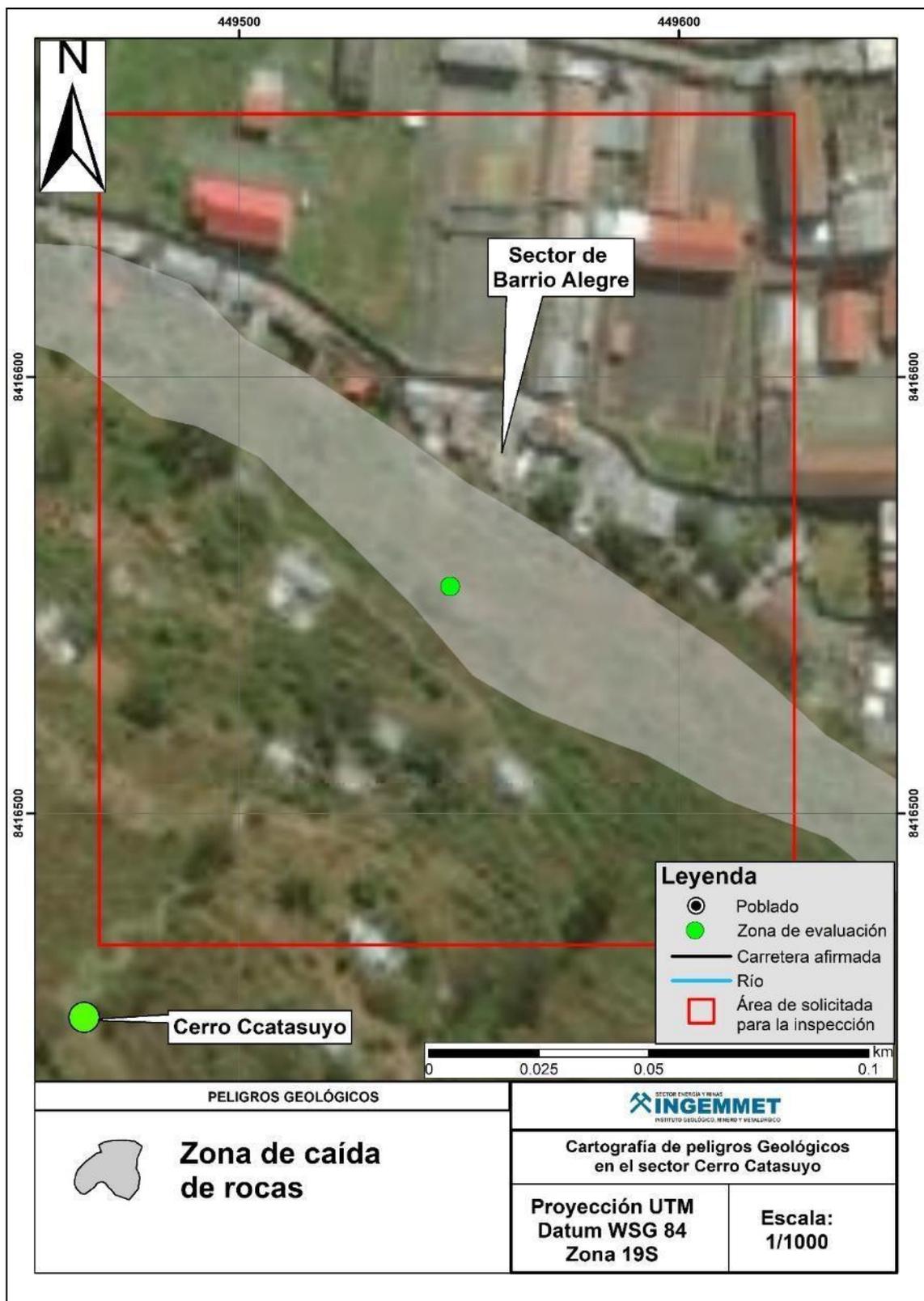




Mapa 7. Mapa de peligros geológicos en la zona de Huencalla (D).



Mapa 8. Mapa de peligros geológicos en la zona de Mororia (E).



Mapa 9. Mapa de peligros geológicos en la zona de Cerro Ccatasuyo (F).

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Drenaje Superficial: Su fin es recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, evitándose la infiltración y la erosión.

El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del deslizamiento.

Las aguas de escorrentía se evacuan por medio de zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud. Estas deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de la misma, de manera que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no. Ver Figura 1.

Se utilizan zanjas horizontales o canaleta de drenaje horizontal: Son paralelas al talud y se sitúan al pie del mismo; canales colectores en espina de pescado, que combinan una zanja drenante o canal en gradería, según la línea de máxima pendiente, con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas críticas debe tener buena vigilancia. Estos canales deben ser impermeabilizados adecuadamente para evitar la infiltración de las aguas. Ver Figura 2.

Los canales deben conducirse a entregas en gradería u otro dissipador de energía que conduzca el agua recolectada hasta sitio seguro.

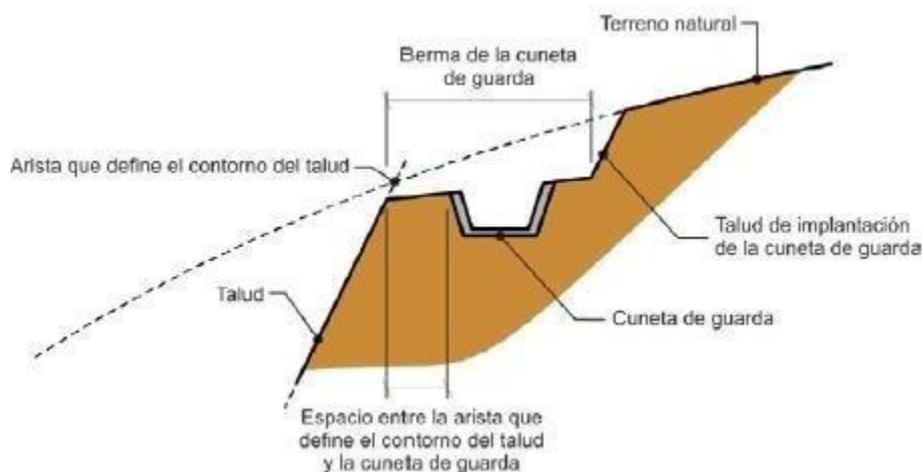


Figura 31: Detalle de una canaleta de drenaje superficial (Zanjas de coronación).
 Fuente: http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/3.htm

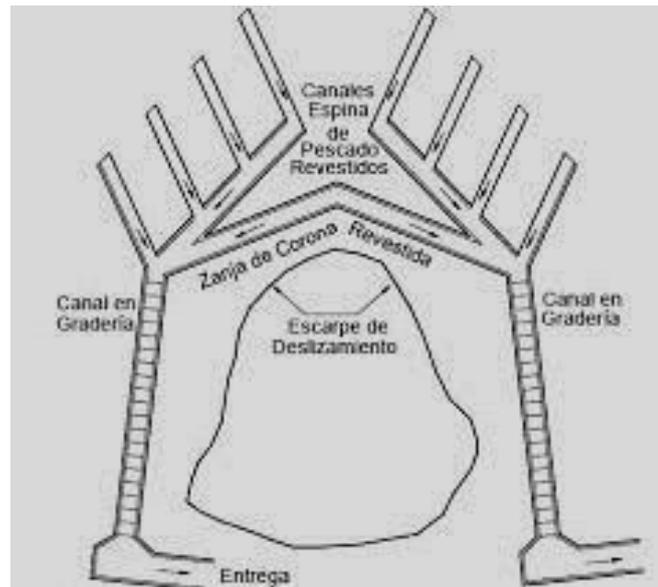


Figura 32: Esquema de planta de canales colectores espina de pescado con canales en gradería. Fuente: Libro control de aguas superficiales y subterráneas Pg. 433.



Figura 33: Sistema de drenaje tipo espina de pez. Fuente: Gómez, (2017) – Informe técnico N° A6753, "Peligro por deslizamiento en el sector Lluscapampa".

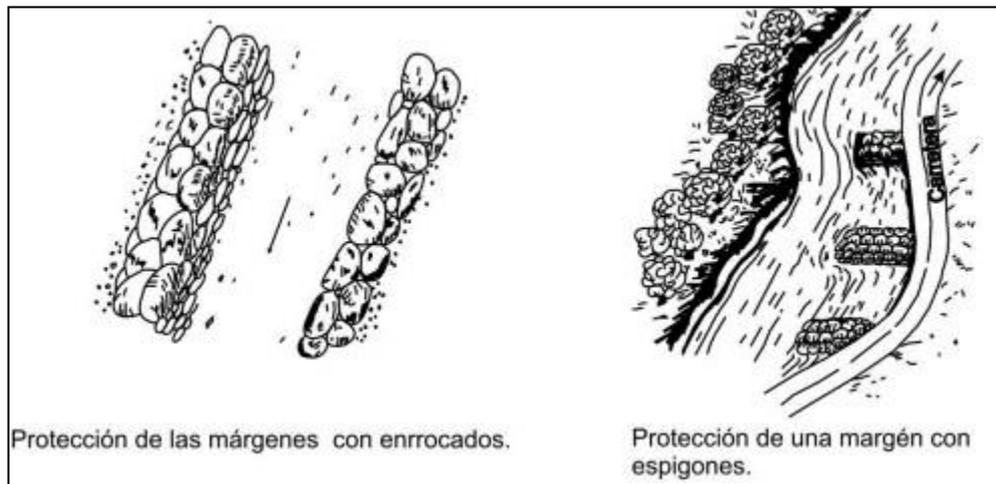


Figura 34: Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños