

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7170

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LAS QUEBRADAS MIRAFLORES, SAN LORENZO Y PACPACHAYOC

Región Cusco
Provincia La Convención
Distrito Echarati



AGOSTO
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LAS QUEBRADAS MIRAFLORES, SAN LORENZO Y PACPACHAYOC

(Distrito de Echarati, provincia de La Convención, región Cusco)

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

David Prudencio Mendoza

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. Distrito de Echarati, provincia de La Convención, región Cusco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7170, 36 p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Aspectos generales	7
1.3.1. Ubicación	7
1.3.2. Accesibilidad	8
1.3.3. Clima	8
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	9
2.1. Unidades litoestratigráficas	9
2.1.1. Grupo San José (Om-sj)	9
2.1.2. Formación Sandía (Os-s)	10
2.1.3. Intrusivo Cirialo – Urusayhua (PsTi-ci-gr)	10
2.1.4. Depósito proluvial (Q-pr)	10
2.1.5. Depósito aluvial (Q-al)	10
2.1.6. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)	11
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
3.1. Pendientes del terreno	12
3.2. Unidades geomorfológicas	12
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	12
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	13
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	14
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	14
4.1.1. Flujo de detritos en la quebrada Miraflores	14
4.1.2. Flujo de detritos en la quebrada San Lorenzo	18
4.1.3. Flujo de detritos en la quebrada Pacpachayoc	20
4.1.4. Factores condicionantes	24
4.1.5. Factores desencadenantes	24
5. CONCLUSIONES	25
6. RECOMENDACIONES	27
7. BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO 1: MAPAS	29
ANEXO 2: GLOSARIO	34
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	35

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos, realizado en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Echarati, provincia de La Convención, región Cusco. 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, oportuna y accesible en geología, en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada, corresponden a rocas de origen metamórfico de las formaciones San José y Sandía, conformado por pizarras, esquistos y cuarcitas, este último se encuentra muy fracturado y moderadamente meteorizado. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos coluvio-deluviales, compuestos por materiales inconsolidados de bloques angulosos a subangulosos, con diámetros que varían de 0.3 a 1.5 m en promedio, inmersos en una matriz areno arcillosa. Finalmente, en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc se distinguen depósitos proluviales antiguos y recientes, compuestos por bloques subangulosos a subredondeados, con diámetros que varían de 0.3 a 4 m, envueltos en una matriz areno-arcillosa. Se encuentran mal clasificados y medianamente consolidados.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas modeladas en rocas metamórficas) y geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento, coluvio – deluvial y piedemonte aluvio-torrencial).

El factor desencadenante que originó los flujos de detritos en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc fueron las lluvias intensas registradas durante el mes de febrero, alcanzado un umbral de 40.8 mm de precipitación pluvial el día 7 de febrero y 53.4 mm acumulados entre el 12 al 15 de febrero (Senamhi, 2021). Además, se considera como los principales factores condicionantes que influyeron en la ocurrencia de derrumbes en el cerro Urusayhua y que dieron origen al huaico, al substrato rocoso muy fracturado, ello permitió mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno; suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales) de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas; ladera con pendiente escarpada (65°), lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

El 8 de febrero, las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc se activaron y desencadenaron un flujo de detritos; en su trayecto acarrió bloques con diámetros de 0.5 a 3 m, arena y troncos de árboles de 0.5 a 1.3 m de longitud. El evento afectó viviendas, puente peatonal, tramos carreteros y terrenos de cultivo.

Las áreas evaluadas se consideran como **Zonas críticas** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos) que pueden ser reactivados en temporada de lluvias intensas o prolongadas y excepcionales.

Finalmente, se recomienda reubicar a las viviendas afectadas por flujo de detritos de los sectores Miraflores y Pacpachayoc, al sector denominado Pampa Concepción (coordenadas UTM 764996, 8591648); posteriormente realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), que determinen el reasentamiento definitivo.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, 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 Echarati, según Oficio N° 0140-2021-A-MDE/LC, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de los eventos de tipo flujo de detritos, que afectó viviendas, tramos carreteros, puentes peatonales y terrenos de cultivo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Guisela Choquenaira Garate y David Prudencio Mendoza, para realizar la evaluación de peligros geológicos, del 21 al 23 de mayo de 2021.

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, fotografías), 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 Distrital de Echarati y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastre, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, 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 ocurridos el 16 de febrero en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

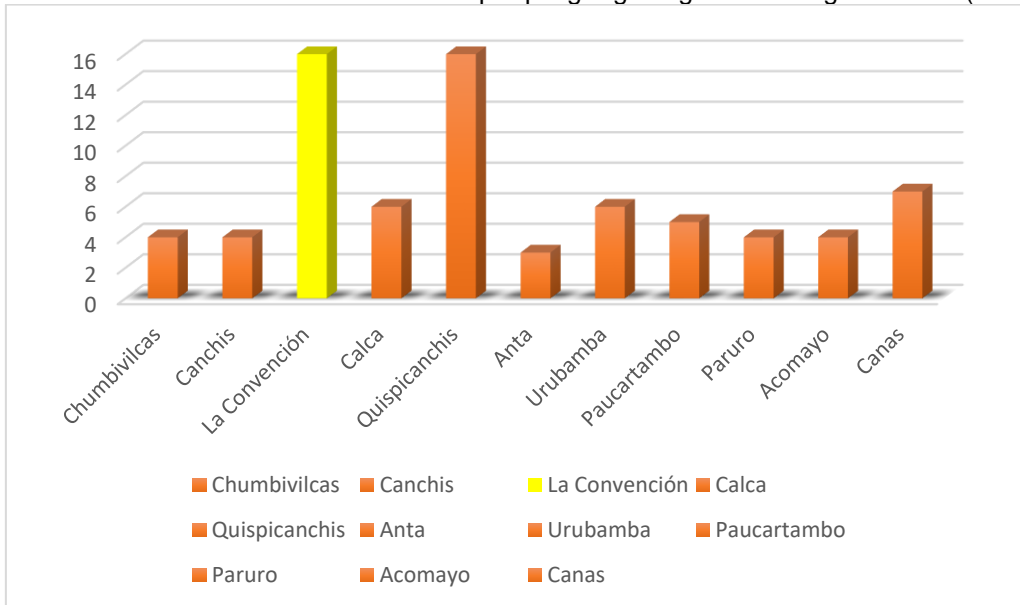
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc se tienen:

- A) Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros Geológicos en la Región Cusco” (Vílchez *et al.*, 2020); se identificó un total de 75 zonas críticas (gráfico 1) y 1682 ocurrencias de peligros geológicos, tipo: caídas, deslizamientos, flujos, procesos de erosión de laderas, erosión fluvial, reptación de suelos, inundación fluvial, movimientos complejos, hundimientos y finalmente vuelcos. En la provincia de La Convención se identificó 16 zona críticas, de los cuales 1 evento de tipo flujo de detritos fue identificado en el distrito de Echarati. El estudio también realizó un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 100 000,

donde las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc presentan alta a muy alta susceptibilidad (anexo 1: mapa 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

Gráfico 1. Inventario de zonas críticas por peligro geológico en la región Cusco (2015)



- A) Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3 (Ingemmet, 2003) menciona que, en la provincia de La Convención se han inventariado 4 ocurrencias de peligros geológicos de tipo flujo de detritos, deslizamientos y derrumbes antiguos. Además de 4 zonas críticas por peligro geológico.

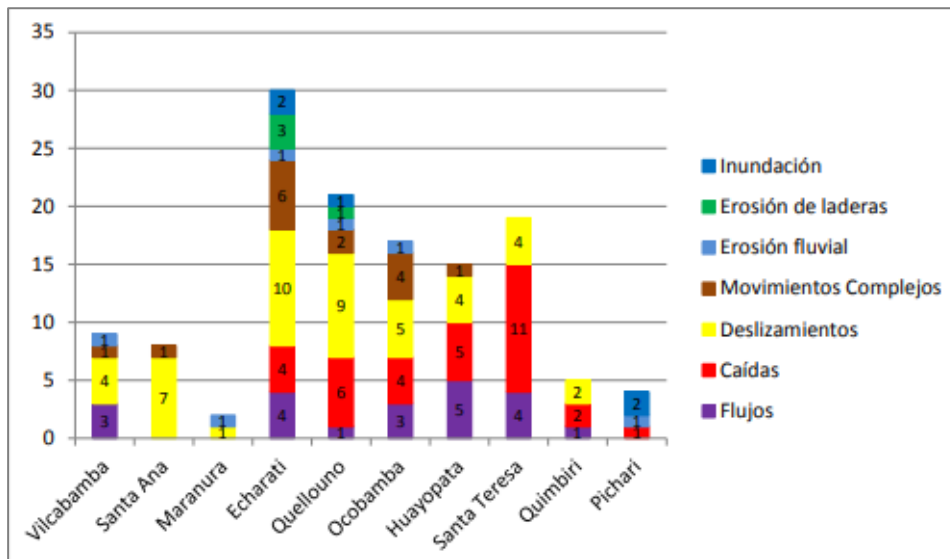
En el mapa de peligros geológicos múltiples (estudio realizado a escala regional), parte del territorio de la provincia de La Convención comprendido en el estudio, se encuentra dentro de las áreas denominadas como: peligro Muy Alto: En estas áreas se conjugan numerosos peligros geológicos; principalmente huaicos, caídas, deslizamientos, movimientos complejos, inundaciones, erosión fluvial y en algunas áreas aluviones. Terrenos con fuerte a muy fuerte pendiente. Áreas propensas a sufrir eventos naturales severos, en las cuales debe evitarse actividades de desarrollo. De implementarse estas actividades, por el requerimiento de la población, deberán tener estudios geológicos-geotécnicos al detalle, previos.

- B) El “Estudio Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 4”, elaborado por Ingemmet (2006), completa el estudio de peligros geológicos en el ámbito de la provincia de La Convención que abarca hasta aproximadamente los 11° 15’ de latitud sur, también a escala regional; se tratan acápites de geología, geomorfología, los peligros geológicos de tipo movimientos en masa y geohidrológicos, la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, finalmente identifica zonas críticas.
- C) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Quillabamba 26-q y Machupichu 27-q (Carlotto *et al.*, 1999); describe la geología a

escala 1: 100 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía (formaciones San José y Sandia). Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas (montañas modeladas en rocas metamórficas) de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.

- D) La base de datos geocientífica de peligros geológicos disponible en el Sistema de Información Geológico Catastral Minero (Geocatmin), registra un total de 221 ocurrencias de peligros geológicos y geohidrológicos para la provincia de La Convención, presentándose la mayor cantidad de ocurrencias en los distritos de Echarati, Quellouno y Santa Teresa (gráfico 2).

Gráfico 2. Ocurrencias de peligros geológicos y geohidrológicos por distritos, provincia de La Convención



1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

Los sectores Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc confluyen por la margen izquierda al río Vilcanota, al noreste de Quillabamba. Políticamente, pertenece al distrito de Echarati, provincia de La Convención, región Cusco (figura 1), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) siguientes (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc

N°	UTM - WGS84 - Zona 18s		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	762186	8592790	-12.71°	-72.58°
2	764433	8590885	-12.73°	-72.56°
3	758852	8585451	-12.78°	-72.61°
4	758843	8590005	-12.74°	-72.61°
COORDENADA CENTRAL DE LA QUEBRADA MIRAFLORES				
C	762667	8589225	-12.75°	-72.85°
COORDENADA CENTRAL DE LA QUEBRADA SAN LORENZO				
	762642	8591307	-12.73°	-72.58°
COORDENADA CENTRAL DE LA QUEBRADA PACPACHAYOC				
	759183	8587243	-12.76°	-72.61°

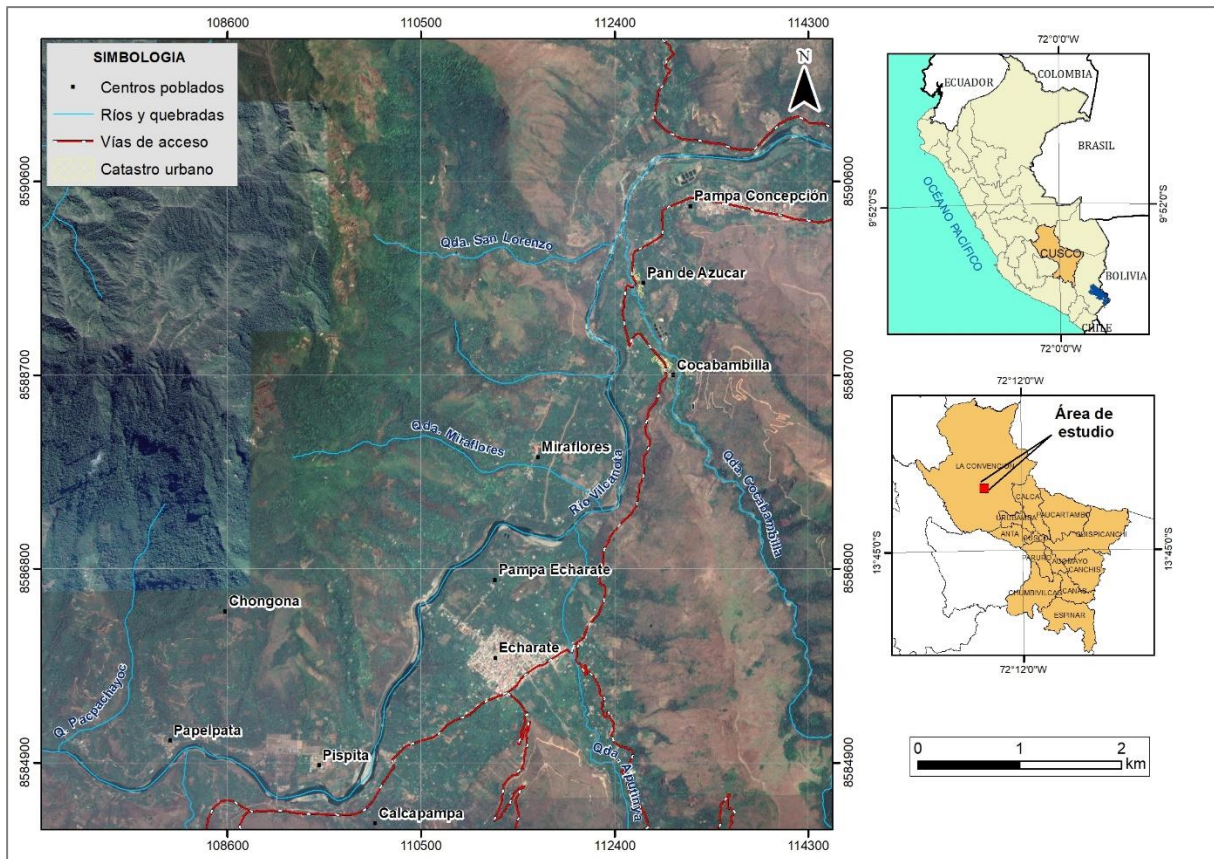


Figura 1. Ubicación de los sectores Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, localizados en la margen izquierda del río Vilcanota; distrito de Echarati, provincia de La Convención, región Cusco.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, por vía terrestre desde la ciudad del Cusco (Ingemmet-OD Cusco), se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos a las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco - Quillabamba	Carretera asfaltada	203	4 h 30 minutos
Quillabamba – Echarati	Carretera asfaltada	25.1	35 minutos
Echarati – Quebrada Miraflores	Trocha carrozable	3.2	8 minutos
Echarati – Quebrada San Lorenzo	Trocha carrozable	3.9	10 minutos
Echarati – Quebrada Pacpachayoc	Trocha carrozable	4.2	6 minutos

1.3.3. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Echarati se clasifica como Cfb (templado y cálido), con temperatura media anual de 23.5 °C y precipitación anual de 2350 mm.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi, 2021), en la estación meteorológica Quillabamba, el día 7 de febrero, día previo al primer evento, se registró 40.8 mm de precipitación pluvial. Entre el 12 al 15 de febrero del presente año (tabla 1) se registró 53.4 mm acumulados de precipitación pluvial. Debido a las intensas lluvias inusuales en la

zona de estudio, se activó y desencadenó un flujo de detritos en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.

Tabla 1. Precipitación pluvial registrada en la Estación Quillabamba (SENAHMI, 2021)

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
2021-02-01	31.8	20.6	S/D	0.0
2021-02-02	32.2	20.6	S/D	0.0
2021-02-03	26.4	19.2	S/D	7.2
2021-02-04	32.6	20.4	S/D	3.6
2021-02-05	29.8	19.2	S/D	2.2
2021-02-06	30.6	20.8	S/D	0.0
2021-02-07	32.2	21.4	S/D	40.8
2021-02-08	30.6	19.2	S/D	0.6
2021-02-09	28.2	19.6	S/D	4.4
2021-02-10	27.8	19.2	S/D	2.2
2021-02-11	27.8	19.4	S/D	0.8
2021-02-12	27.4	19.2	S/D	12.8
2021-02-13	28.4	19.2	S/D	8.8
2021-02-14	29.6	18	S/D	14.6
2021-02-15	30.2	19.2	S/D	17.2
2021-02-16	29.4	18.8	S/D	0.6

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base a la Carta Geológica de Quillabamba – hoja 26q, Carlotto (1999) a escala 1/100 000; en la zona afloran rocas metamórficas del Paleozoico y depósitos Cuaternarios. La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, son de origen metamórfico, corresponden a las formaciones San José (Om-sj) y Sandía (Os-s), los cuales se encuentran muy fracturados y moderadamente meteorizados. Además, en la zona alta afloran rocas intrusivas del Triásico (Cirialo), conformado por sienogranitos y granitos. Estas unidades se encuentran cubiertos por depósitos proluviales, aluviales y coluvio – deluviales (depósito de deslizamiento), que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (anexo 1: mapa 2).

2.1.1. Grupo San José (Om-sj)

Esta unidad aflora ampliamente en el distrito de Echarati y en las zonas medias de las quebradas Miraflores y San Lorenzo. Por el noroeste se encuentra en contacto con el intrusivo Cirialo – Urusayhua. Está compuesto por pizarras gris verdosas con micas alineadas a la foliación, intercaladas con algunos niveles de areniscas cuarzosas y cuarcitas grises; ocasionalmente se presentan en capas de aspecto ondulado y niveles delgados de esquistos de tonalidad verdosa y en la parte superior limolitas pizarrosas verdosas con brillo sedoso (Ramos, et al., 2021). En la margen izquierda de la quebrada San Lorenzo el afloramiento se encuentra poco fracturado (fotografía 1) y ligeramente meteorizado.



Fotografía 1. Cuarcitas poco fracturadas y ligeramente meteorizadas de la Formación San José. Con coordenadas UTM (WGS 84): 763274 E, 8590175 S a 1025 m s. n. m.

2.1.2. Formación Sandia (Os-s)

Aflora al norte del distrito de Echarati, Miraflores y San Lorenzo. Litológicamente, está conformado por metareniscas gris amarillentas de grano fino a medio, masivas, con bajo contenido de micas, con niveles de pizarras grises y limolitas pizarrosas gris azulinas y gris verdosas, micáceas; las metareniscas presentan laminación ondulada (Ramos *et al.*, 2021).

2.1.3. Intrusivo Cirialo – Urusayhua (PsTi-ci-gr)

Aflora ampliamente en las cabeceras de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. Se encuentra intruyendo a rocas del Grupo San José y Formación Sandia. Litológicamente, se compone de monzogranitos, sienogranitos y dioritas poco fracturadas.

2.1.4. Depósito proluvial (Q-pr)

Se encuentran dispuestos en el fondo de los valles, en forma de conos de deyección hacia la confluencia del río Vilcanota. Estos depósitos están compuestos por bloques y gravas de rocas intrusivas y metamórficas, de formas subangulosas a subredondeadas, con diámetros que varían de 0.5 a 2.5 m, envueltos en una matriz areno-arcillosa (fotografía 2). Se encuentran medianamente consolidados y saturados. Actualmente, sobre estos depósitos se ubican los sectores Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.

2.1.5. Depósito aluvial (Q-al)

Estos depósitos se encuentran distribuidos en ambos márgenes del río Vilcanota, están constituidos por bloques de rocas intrusivas y metamórficas, bancos de gravas y arenas, formando terrazas aluviales. Sobre este depósito se encuentran asentadas algunas viviendas del sector Miraflores y se desarrollan terrenos de cultivo.

2.1.6. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Se localizan en las laderas que circunscriben las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, dispuestos de forma caótica al pie de laderas por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por materiales inconsolidados de bloques de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.3 a 1.5 m, inmersos en una matriz areno – arcillosa (fotografía 3).



Fotografía 2. Depósito proluvial (depósito de flujos antiguos y recientes), conformado por bloques con diámetros que varían de 0.5 a 2.5 m, envueltos en matriz areno-arcillosa. Coordenadas UTM (WGS 84): 764645 E, 8590224 S, a 968 m s.n.m.



Fotografía 3. Depósito coluvio-deluvial, localizado en la margen derecha de la quebrada Miraflores compuesto por bloques con diámetros que varían de 0.3 a 1.5 m.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el mapa 3 (anexo 1), se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes moderadamente inclinadas (5° - 15°) a inclinadas (15° - 25°), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy fuerte ($>45^{\circ}$).

Las laderas que circunscriben las quebradas Miraflores y San Lorenzo presentan pendientes que varían de 20° a 45° , ello facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas. Mientras que, en la quebrada Pacpachayoc, las laderas presentan pendientes que varían de 22° a 65° .

En la zona baja, el valle del río Vilcanota presenta una pendiente que varía de 2° a 7° .

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (anexo 1: mapa 4), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2020).

3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia las siguientes subunidades:

Subunidad de montañas en rocas metamórficos (RM-rm): Relieve modelado en afloramientos de las formaciones Sandia y San José, conformadas por esquistos, pizarras, intercalados con bancos de cuarcita. La montaña Urusayhua cubre gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes moderadas a escarpadas, varían de 25° a 55° , con cimas subredondeadas a agudas. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc (fotografía 4).



Fotografía 4. Vista de montañas modeladas en rocas metamórficas (RM-rm) e intrusivas (RM-ri), disectada por la quebrada Miraflores, cuyas laderas presentan pendientes empinadas.

Subunidad de montañas en rocas intrusivas (RM-ri): Representada por las montañas denominada Urusayhua, corresponde a la cadena de cumbres que superan los 3 200 m s.n.m. que rodean, por el lado noroeste, los sectores Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. Esta geoforma se desarrolló sobre rocas intrusivas permo-triásicas del macizo de Cirialo, con cimas subredondeadas y laderas empinadas a muy empinadas.

3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

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

3.2.2.1. Subunidad de vertiente con depósito coluvio - deluvial (V-cd)

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad y removidos por agua de escorrentía superficial.

3.2.2.2. Subunidad de piedemonte aluvio – torrencial (P-at)

Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos de detritos (huaicos), modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y se ubican en las desembocaduras de quebradas hacia los ríos principales. Las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, afluentes al río Vilcanota por su margen izquierda forman un cono proluvial producto de la acumulación de material acarreado por huaicos antiguos.

El material está conformado por bloques de naturaleza metamórfica e intrusiva, con diámetros que varían de 0.5 m a 4 m; de formas subangulosos a subredondeados, se encuentran medianamente consolidados. En la desembocadura se ubican los sectores Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc; además, se desarrollan terrenos de cultivo.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo flujo de detritos, deslizamientos y derrumbes (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de 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.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc presentan una geodinámica muy activa, representada por deslizamientos antiguos, derrumbes reactivados, depósitos antiguos de flujo de detritos o huaicos (anexo 1: mapa 5) y recientemente, los flujos ocurridos el 8 de febrero del presente año, en las quebradas referidas.

A continuación, se describirá de manera detallada los eventos ocurridos en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.

4.1.1. Flujo de detritos en la quebrada Miraflores

El sector Miraflores se encuentra disectada por la quebrada del mismo nombre, a 7.2 km al norte de Echarati.

El sector se encuentra asentado sobre un antiguo depósito proluvial, conformado por bloques de rocas metamórficas, de formas angulosos a subangulosas, que varían de 1 a 7 m (fotografía 5). Además, se encuentra circundada por montañas modeladas en rocas metamórficas de las formaciones San José (pizarras y esquistos) y Sandía (cuarcitas, metarenitas, lutitas y pizarras), los cuales se encuentran moderada a altamente meteorizados y muy fracturadas.

La quebrada Miraflores nace de la confluencia de 2 quebradas provenientes del cerro Urusayhua, a 1405 m s.n.m., con pendiente promedio de 6°.

Según manifiestan los pobladores, en los años 80 se produjo un huaico similar a lo acontecido en febrero del presente año; ello afectó una Institución Educativa y cobró la vida de 14 personas.

El 8 de febrero del 2021, aproximadamente a las 5 a.m., la quebrada Miraflores se activó y desencadenó un flujo de detritos (huaico) (fotografía 6), producto de la activación de derrumbes en la cara noreste del cerro Urusayhua (fotografía 7). El evento en su trayecto depositó material y rellenó la quebrada con espesores que sobrepasan los 10 m por encima la base natural de la quebrada.

En la zona media de la quebrada, el huaico alcanzó una altura aproximada de 10 m y depositó el material más grueso, compuesto por bloques con diámetros de 1 a 7 m, lodo (arena y arcilla)

y restos de troncos de árboles arrancados desde su raíz. El daño ocasionado comprende la destrucción de 3 viviendas, tramos carreteros, terrenos de cultivo y reservorio de agua (figura 1).

Finalmente, en el extremo distal del recorrido del huaico, hacia la confluencia con el río Vilcanota, formó un abanico, sin generar represamiento alguno.



Fotografía 5. Depósito proluvial conformado por bloques angulosos a subangulosos, con diámetros que varían de 1 a 7 m. Localizado en las coordenadas UTM (WGS 84): 763184 E, 8589258 S a 994 m s. n. m.



Fotografía 6. Vista del flujo de detritos reciente en la zona media – baja de la quebrada Miraflores.



Fotografía 7. Vista del cerro Urusayhua, donde se produjo derrumbes y posterior flujo de detritos en la quebrada Miraflores. Con coordenadas UTM (WGS 84): 760477 E, 8589538 S a 2404 m s. n. m.



Figura 2. A, B) Viviendas del sector Miraflores afectadas por el huaico de la quebrada Miraflores. Localizadas en las coordenadas UTM (WGS 84): 763707 E, 8588937 S a 905 m s.n.m.

Por otro lado, en varios puntos de la quebrada Miraflores se observó derrumbes activos (fotografía 8) debido a la erosión fluvial que generó el huaico y depósitos de deslizamientos antiguos, los cuales podrían ceder cuesta abajo y represar el cauce de la quebrada referida (fotografía 9), su desembalse afectaría nuevamente a las viviendas del sector Miraflores, asentada aguas abajo.



Fotografía 8. Derrumbes reactivados debido a la erosión fluvial que generó el flujo de detritos (huaico). Con coordenadas UTM (WGS 84): 762858 E 8589251 S 981 m s. n. m.



Fotografía 9. Depósito transportado por el huaico en la zona baja de la quebrada Miraflores. Con coordenadas UTM (WGS 84): 762696 E, 8589210 S a 1007 m s. n. m.

4.1.2. Flujo de detritos en la quebrada San Lorenzo

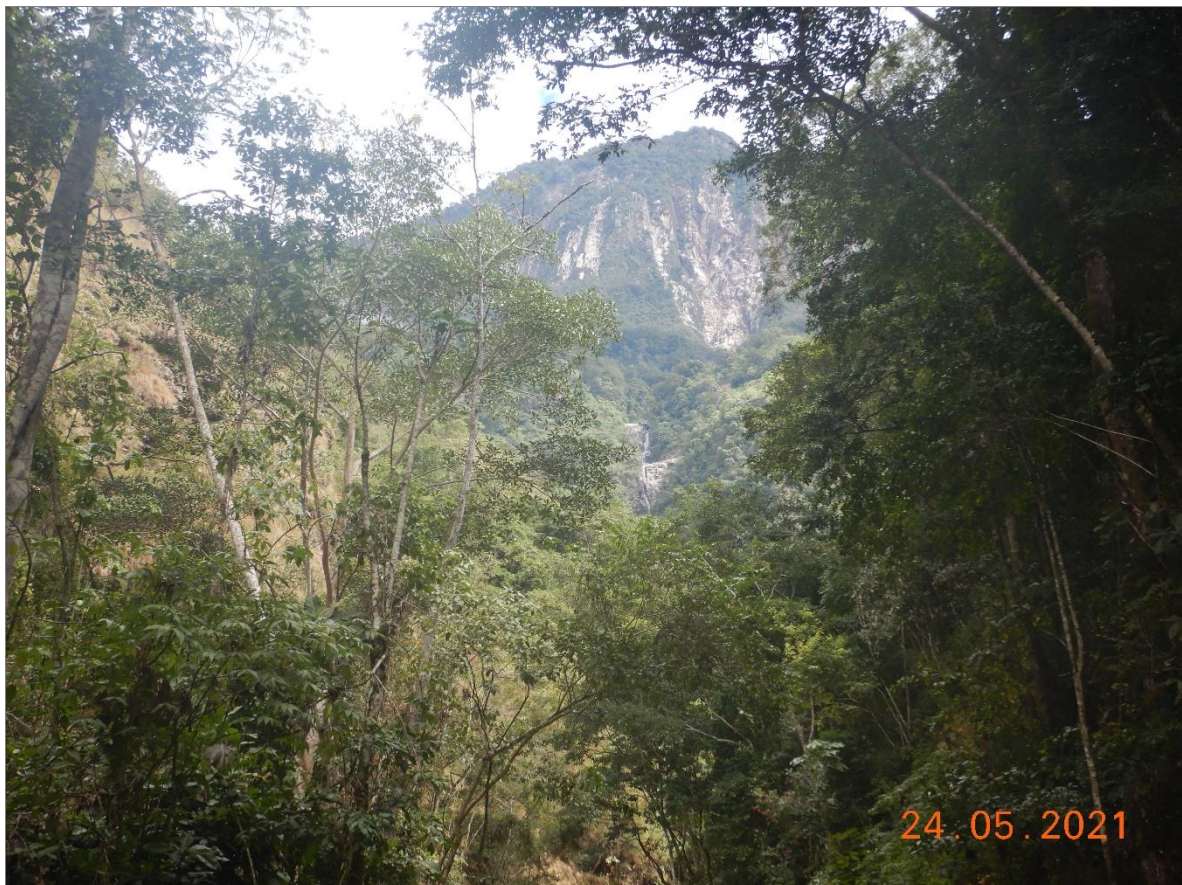
El sector San Lorenzo se ubican en la margen derecha del mismo nombre, este último confluye por la margen izquierda al río Vilcanota (859 m s.n.m.).

En ambas márgenes de la quebrada se observó antiguos depósitos proluviales, originado por la acumulación de material acarreado de huaicos antiguos, conformado por bloques angulosos a subangulosos, con diámetros que varían de 0.5 a 3 m, arenas y arcillas.

El 8 de febrero del 2021, aproximadamente a las 5 a.m., debido a las lluvias intensas registradas en el distrito de Echarati, en la cara noreste del cerro Urusayhua (fotografía 10) se activó derrumbes, ello ocasionó que el material suelto se desplace al cauce de la quebrada San Lorenzo, donde se desencadenó un flujo de detritos (fotografía 11). El material transportado relleno la quebrada en 5 m, compuesto por bolones de formas angulosas a subangulosas, de hasta 4 m de diámetro (fotografía 12).

Los trabajos de campo realizados el 24 de mayo en la zona media de la quebrada San Lorenzo, permitieron identificar a lo largo de su cauce la presencia de deslizamientos antiguos y derrumbes activos (fotografía 13), los cuales representan mayor aporte de material al cauce de la quebrada ante un probable flujo de detritos (huaicos).

En la zona media de la quebrada el huaico alcanzó una altura aproximada de 6 m. Además, el evento ocasionó el colapso del puente peatonal y 60 m del tramo carretero (figura 3).



Fotografía 10. Vista de la cara noreste del cerro Urusayhua, donde se produjo derrumbes.



Fotografía 11. Depósito proluvial reciente, desencadenado en la quebrada San Lorenzo.



Fotografía 12. Depósito proluvial reciente transportado por la quebrada San Lorenzo, conformado por bloques con diámetros que varían de 0.5 a 4 m, arenas y arcillas.



Fotografía 13. A, B) Derrumbes continuos en la zona media - baja de la quebrada San Lorenzo. Con coordenadas UTM (WGS 84): 763394, 8591273 a 1008 m s.n.m.



Figura 3. A) Vista del puente peatonal destruido. B) Tramo carretero afectado por derrumbes en la margen derecha de la quebrada San Lorenzo.

4.1.3. Flujo de detritos en la quebrada Pacpachayoc

La quebrada Pacpachayoc, ubicada al oeste del centro poblado Echarati, confluye por la margen izquierda del río Vilcanota.

Dentro del área evaluada se aprecian afloramientos rocosos de naturaleza intrusiva del Triásico (Cirialo), compuesto por granitos y granodioritas. Además, en la margen izquierda de la quebrada Pacpachayoc afloran rocas metamórficas conformadas por pizarras, esquistos, micaesquistos y cuarcitas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas.

Estas unidades se encuentran cubiertas por antiguos depósitos proluviales, compuestos por bloques con diámetros de 0.7 m y gravas heterométricas de formas angulosas a subangulosas. Además, de depósitos coluvio – deluviales adosados en las laderas que circunscriben la quebrada y al pie de las mismas, compuesto por bloques y gravas con diámetros de hasta 0.2 m, de formas angulosas a subangulosas, inmersos en matriz areno arcillosa. En la zona baja se tienen depósitos aluviales con pendientes llanas.

En la quebrada Pacpachayoc se identificó depósitos de flujos antiguos y recientes, debido a la acumulación de materiales en el cauce, conformado por bloques de hasta 0.5 m de diámetro y gravas heterométricas, con formas subredondeadas a subangulosas envueltas en matriz arenosa; este último presenta un ancho mínimo de 3 m (figura 4). El flujo reciente transportó y depositó material de 1.5 m de altura con respecto al piso (figura 5).

La quebrada se encuentra dentro de un deslizamiento antiguo, en la escarpa de este, se identificó derrumbes reactivados, los cuales aportaron material al cauce de la quebrada, ello incrementó el volumen del flujo (figura 6).

En su recorrido afectó 12 m de la vía principal Quillabamba – Echarati, 10 m de la carretera que conduce a las partes altas de la quebrada, áreas de cultivo y una vivienda ubicada en la margen izquierda (figura 7).



Figura 4. Vista de la quebrada Pacpachayoc en la zona más angosta, con depósitos de bloques y gravas acarreados por el flujo de detritos reciente.



Figura 5. Vista de la quebrada Pacpachayoc con la altura de profundización respecto a la base, generado por el flujo de detritos reciente.



Figura 6. Vista del deslizamiento antiguo y los derrumbes reactivados en la escarpa.



Figura 7. Vista de una vivienda ubicada próxima al cauce de la quebrada Pacpachayoc, donde afectó áreas de cultivo.

4.1.4. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto por pizarras, esquistos y cuarcitas regularmente meteorizado y muy fracturado debido a la presencia de fallas geológicas, los cuales permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
- Los suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a las laderas que delimitan las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, compuestos principalmente por materiales inconsolidados de bloques angulosos a subangulosos, con diámetros que varían de 0.3 a 4 m, inmersos en una matriz areno arcillosa, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

Factor geomorfológico

- Las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc se encuentran circundada por montañas modeladas en rocas metamórficas, cuyas laderas presentan pendientes medias (20°) a escarpadas (55°); ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

Factor hidrológico - hidrogeológico

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.
- Presencia de agua subterránea (ojos de agua y manantiales), los cuales saturan el terreno. La circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren.

4.1.5. Factores desencadenantes

- Según Senamhi (2021), en la estación meteorológica Quillabamba, el día 7 de febrero, día previo a la ocurrencia de flujo de detritos, se registró 40.8 mm de precipitación pluvial. Asimismo, entre el 12 al 15 de febrero del presente año, se registró 53.4 mm. Debido a las intensas lluvias inusuales en la zona de estudio, se activaron y desencadenaron flujos de detritos en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.

5. CONCLUSIONES

SECTOR MIRAFLORES

1. En la quebrada se desencadenó un flujo de detritos (huaico), producto de la reactivación de derrumbes provenientes de la parte alta del cerro Urusayhua. El evento en su trayecto depositó material y rellenó la quebrada con un espesor de 10 m sobre la base natural de la quebrada.
2. En la zona media de la quebrada, el huaico alcanzó una altura aproximada de 10 m y depositó el material más grueso, compuesto por bloques con diámetros de 1 a 7 m, lodo (arena y arcilla) y restos de troncos de árboles arrancados desde su raíz.
3. El factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Miraflores, fueron las lluvias extraordinarias registradas días antes del evento, en el distrito de Echarati.
4. El daño ocasionado comprende la destrucción de 3 viviendas, tramos carreteros, terrenos de cultivo y reservorio de agua.
5. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Miraflores, es considerado como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos) que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o prolongadas y excepcionales.

QUEBRADA SAN LORENZO

1. La quebrada confluye por la margen izquierda al río Vilcanota. En ambos márgenes se observó antiguos depósitos proluviales, originado por la acumulación de material acarreado por huaicos antiguos, compuesto por bloques de formas angulosos, con diámetros que varían de 0.5 a 3 m, arenas y arcillas.
2. El 8 de febrero del 2021, aproximadamente a las 5 a.m., debido a las lluvias intensas registradas en el distrito de Echarati, en la cara noreste del cerro Urusayhua se activaron derrumbes, el material desplazado al cauce de la quebrada San Lorenzo desencadenó un flujo de detritos. El material transportado rellenó la quebrada, con espesores de hasta 5 m.
3. El daño ocasionado comprende la destrucción de un puente peatonal, tramos carreteros y terrenos de cultivo.
4. El factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada San Lorenzo, fueron las lluvias extraordinarias registradas días antes del evento en el distrito de Echarati.
5. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector San Lorenzo, es considerado como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos) que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o prolongadas y excepcionales.

QUEBRADA PACPACHAYOC

1. El sector Pacpachayoc se encuentra asentado sobre antiguos depósitos proluviales, coluvio - deluviales y aluviales, poco consolidados, que se originaron por la acumulación de eventos antiguos.
2. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Pacpachayoc, es considerado como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos) que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o prolongadas y excepcionales.
3. El factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Pacpachayoc, fueron las lluvias extraordinarias registradas días antes al evento, en el distrito de Echarati.

6. RECOMENDACIONES

1. Reubicar las viviendas afectadas por flujo de detritos del sector Miraflores; posteriormente realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), que determinen el reasentamiento definitivo, debido a que se encuentran en zona de peligro muy alto ante la ocurrencia de huaicos.
2. Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR) que determine el reasentamiento de las viviendas afectadas por el flujo de detritos en la quebrada Pacpachayoc.
3. Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para monitorear los huaicos que se generan en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. En la implementación se debe tener en cuenta la instalación de sensores, sistemas de comunicación, alarmas, entre otros, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de huaicos, para que la población pueda tomar las precauciones y salvaguardar sus vidas.
4. Realizar monitoreo visual y constante en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc ante el posible represamiento por la ocurrencia de derrumbes o deslizamientos, que pueden ser originados por precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas y excepcionales.
5. Implementar muro de gaviones en la margen izquierda de la quebrada Pacpachayoc (a la altura de las viviendas).
6. Descolmatar continuamente y encausar las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc, respetando el cauce natural.
7. Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre peligro y riesgo a las que se encuentran expuestos los sectores de Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc y otras localidades asentadas en las riberas del río Vilcanota.



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

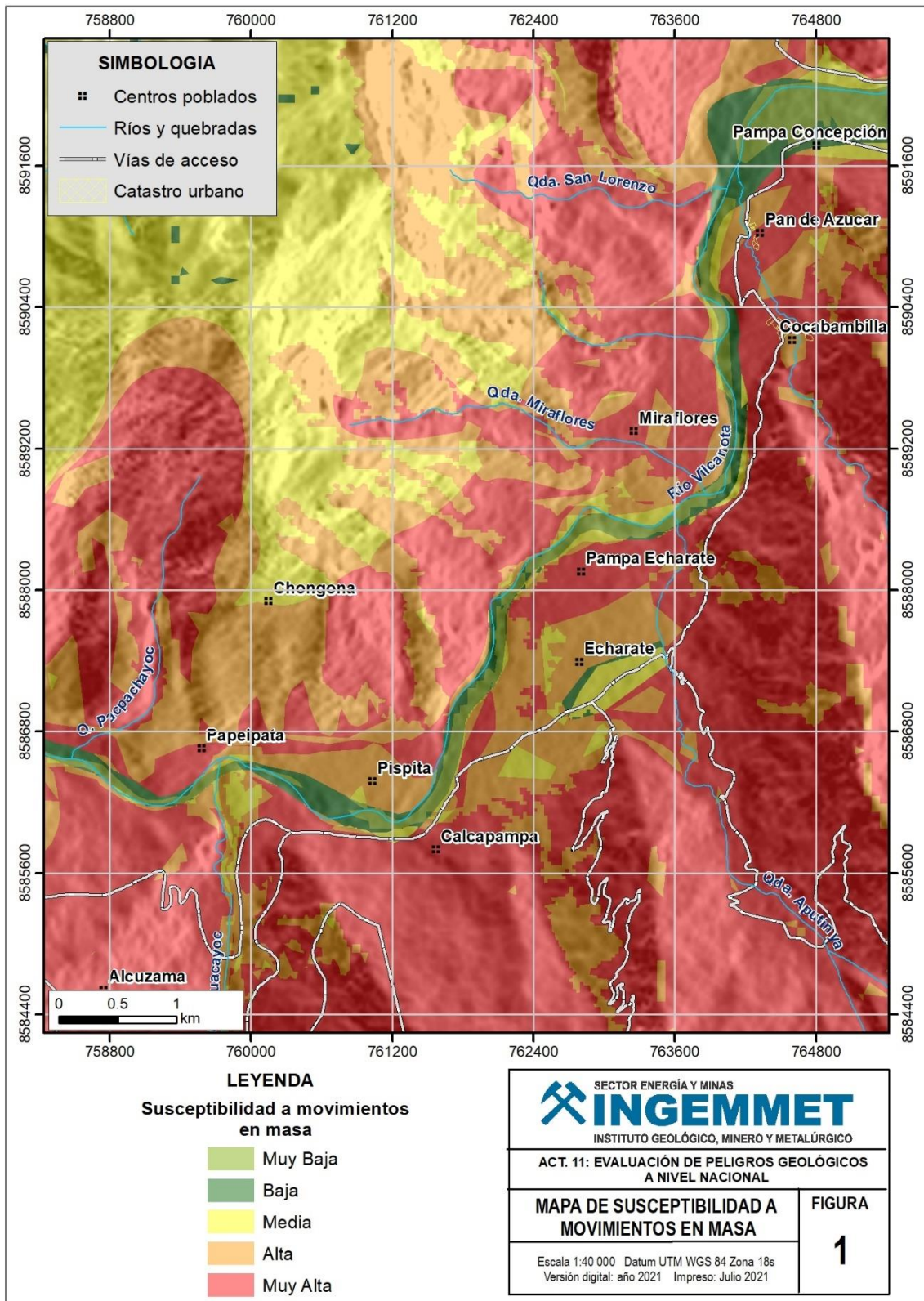


.....
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

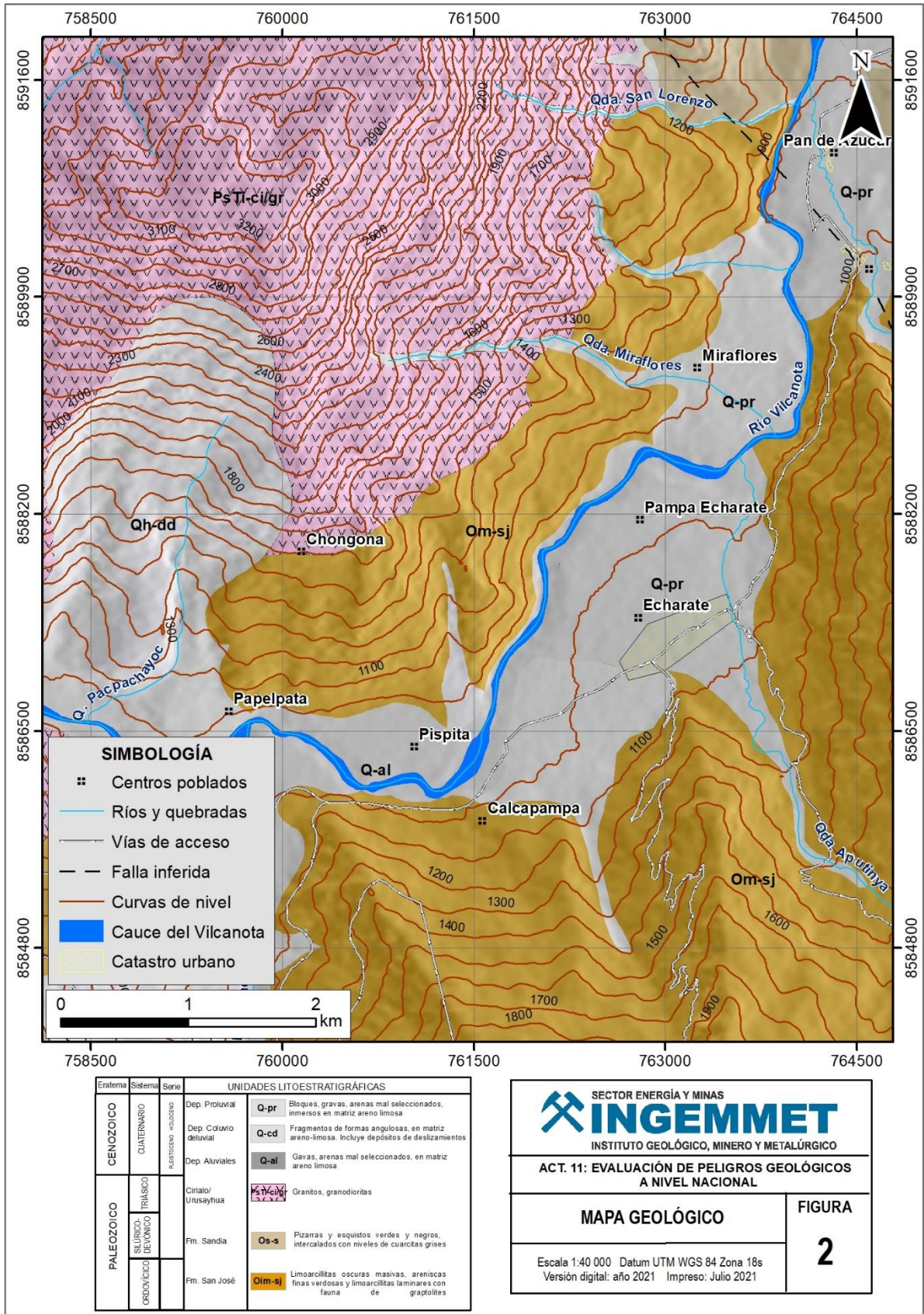
7. BIBLIOGRAFÍA

- Carlotto, V., Cárdenas, J. y Carlier, G. (1999) - Geología del Cuadrángulos de Quillabamba – hoja 26q y Machupicchu – hoja 27q - 1:100 000 Ingemmet, Boletín, Serie A: 127, 334p.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Choquenaira, G. & Cueva, K. (2021) – Evaluación de Peligros geológicos por flujo de detritus en la quebrada Cocabambilla. Informe técnico N° A 7140. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Ingemmet, 29 p.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3105/1/A7140-Evaluacion_peligros_Cocabambilla-Cusco.pdf
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 3. Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 28, 373 p.
- Köppen, W. (2010). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Clasificación de climas según temperatura, precipitación y ciclo estacional.). Petermanns Geogr. Mitt., 64, 193-203, 243-248.
- 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., Publicación Geológica Multinacional, 4.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2021) – SENAMHI..
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2013) – Peligros geológicos en el ámbito de la Mancomunidad Municipal Amazónica. Informe técnico N° A6635. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Ingemmet, 85 p.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1500#files>
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2015) – Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco. Informe técnico geología ambiental. Ingemmet, 100 p.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2026>
- Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. Ingemmet. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2564>
- Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

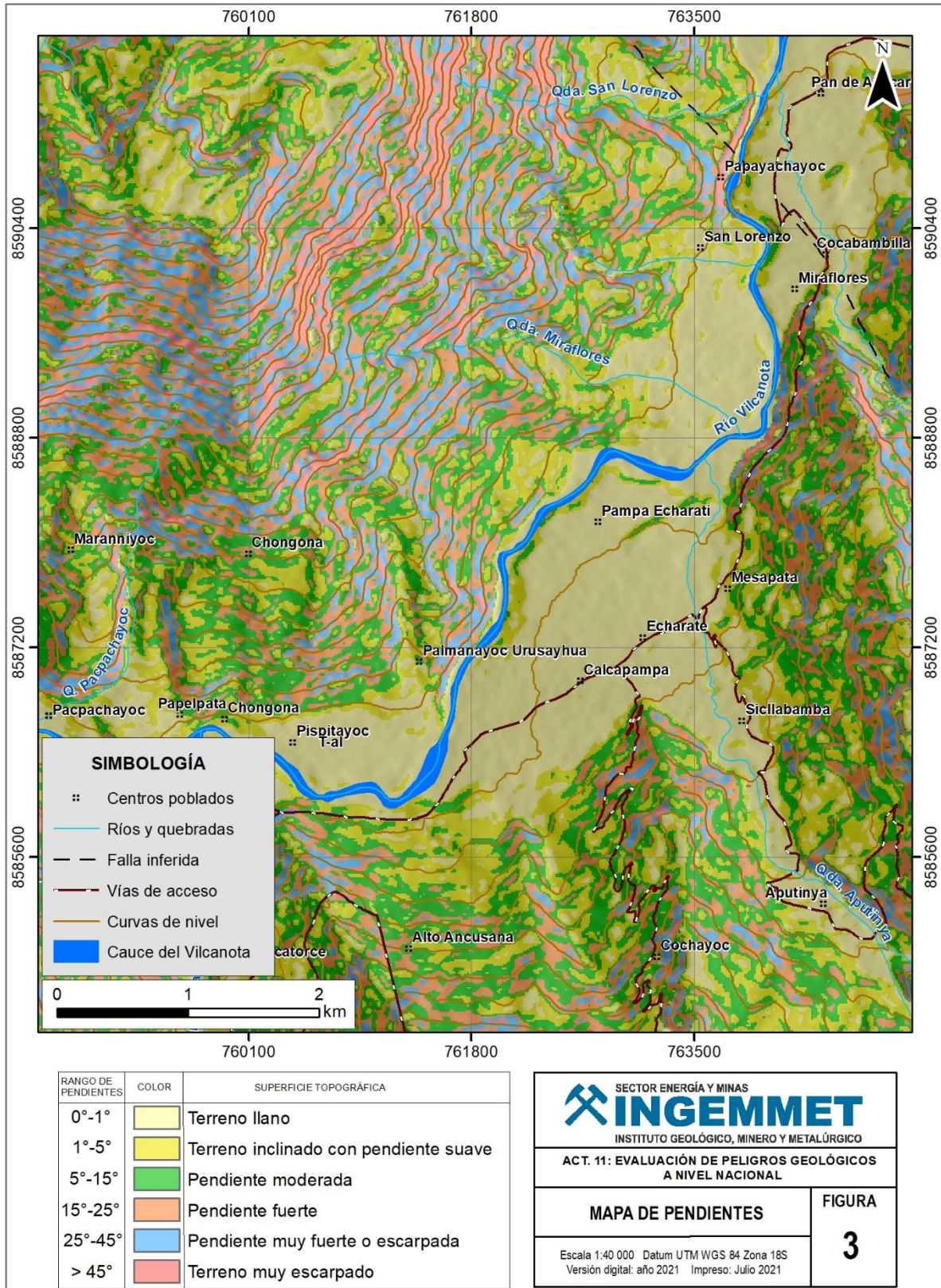
ANEXO 1: MAPAS



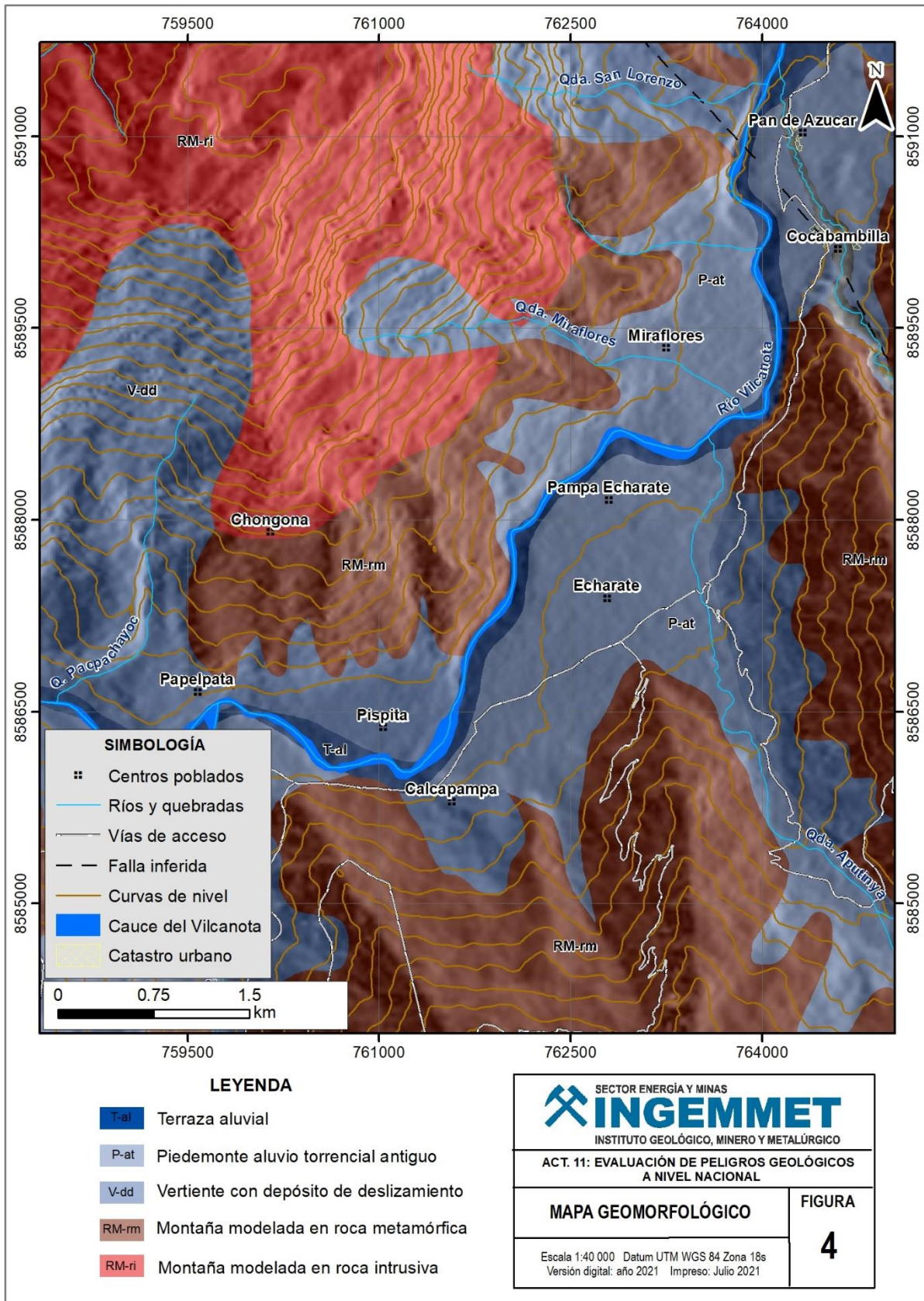
Mapa 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. Fuente: Vilchez *et al.*, 2020.



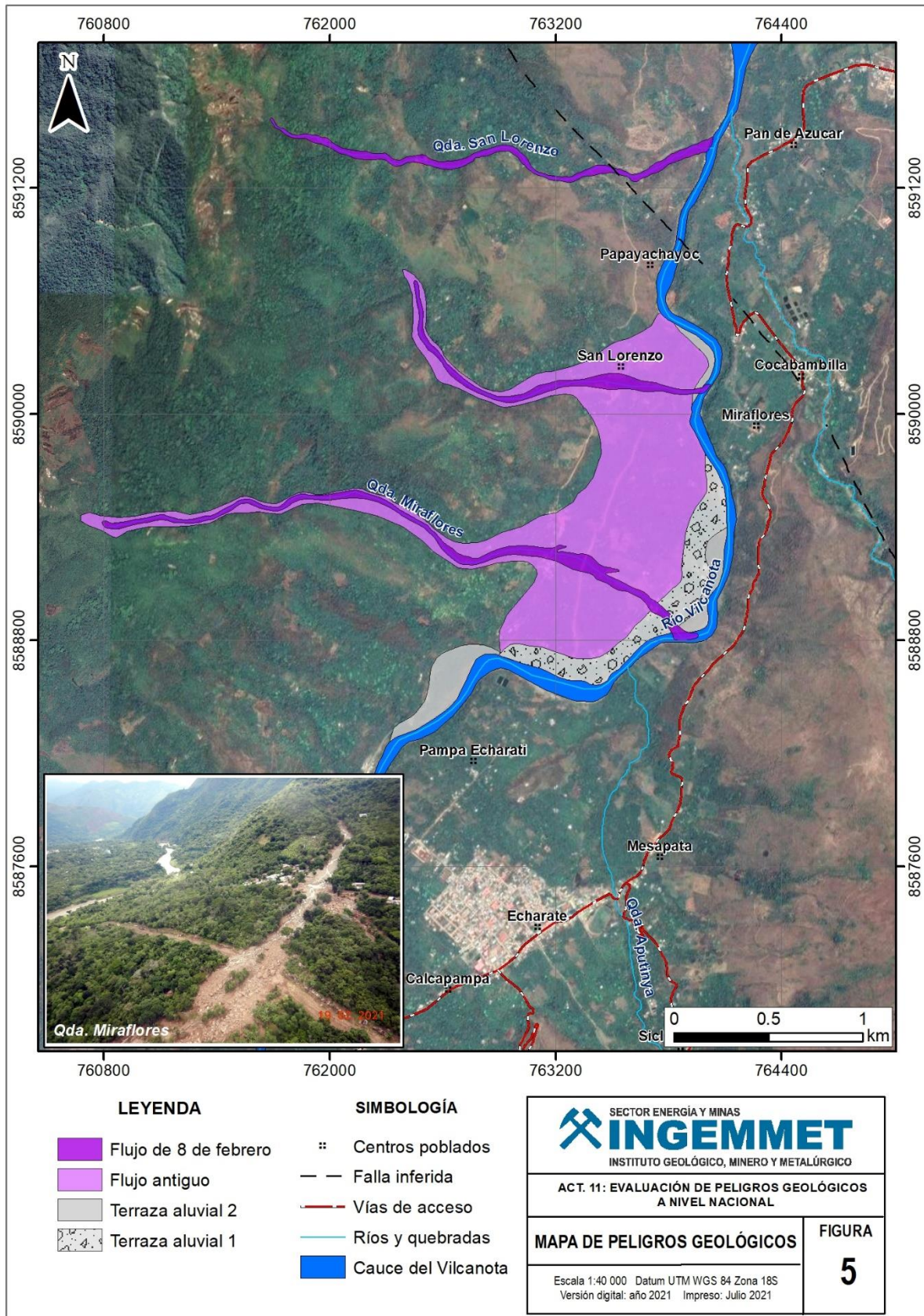
Mapa 2. Mapa geológico de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. Modificado de Carlotto *et al.*, 1999.



Mapa 3. Mapa de pendientes de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc.



Mapa 4. Mapa geomorfológico de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. Fuente: Vílchez *et al.*, 2020.



Mapa 5. Mapa de peligros geológicos de las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Papachayoc.

ANEXO 2: GLOSARIO

En el presente Glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

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

CORONA (crown) Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DESLIZAMIENTO (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suarez J., 2009).

ESCARPE (scarp) sin.: escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

FLUJO DE DETRITOS: Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), 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

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.

METEORIZACIÓN (weathering) Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

MOVIMIENTO EN MASA (mass movement, landslide) sin.: 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 ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. Medidas de mitigación para huaicos

Estas medidas de mitigación deben emplearse en quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y transportar amplios volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sean posibles, las medidas que se proponen a continuación

- Encauzamiento del canal principal de los lechos fluviales secos, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes (figura 8). Considerar siempre que estos lechos fluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, caso del fenómeno El Niño. Es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 9).
- La construcción de obras e infraestructuras que crucen estos cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máxima crecidas registradas, que permitan el libre paso de huaicos, evitándose obstrucciones y represamientos, con posteriores desembalses más violentos.
- Realizar la construcción de presas de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos.
- Evitar en lo posible la utilización del lecho fluvial como terreno de cultivo que permita el libre discurrir de los flujos hídricos.
- Las quebradas, torrenteras o chorreras que generan huaicos periódicos en la región pueden ser controladas en las carreteras mediante badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros, en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Es preciso mencionar que estas obras de infraestructuras, que atraviesen estos cauces, deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas que provienen de la cuenca media y alta evitándose obstrucciones y represamientos violentos.

Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de canalización y limpieza del cauce de la quebrada aguas arriba; así como obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.

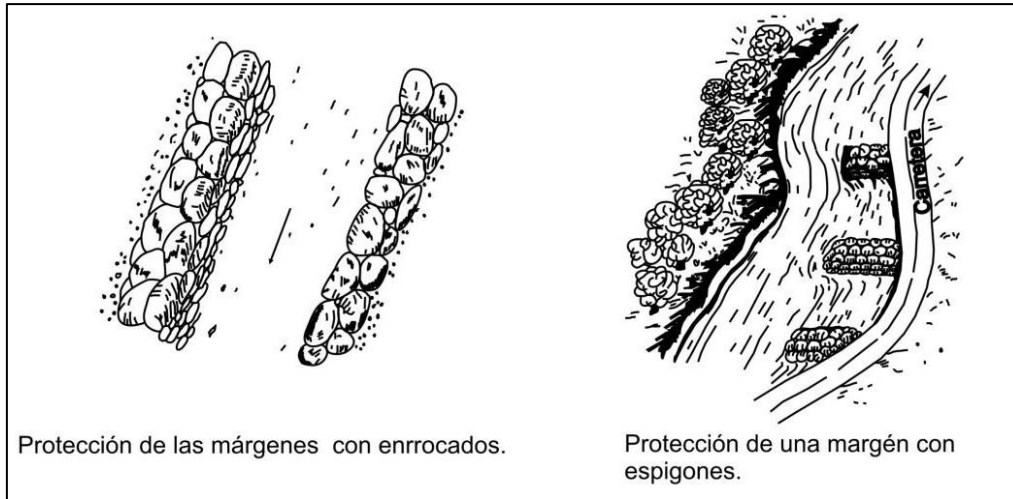


Figura 8. Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.

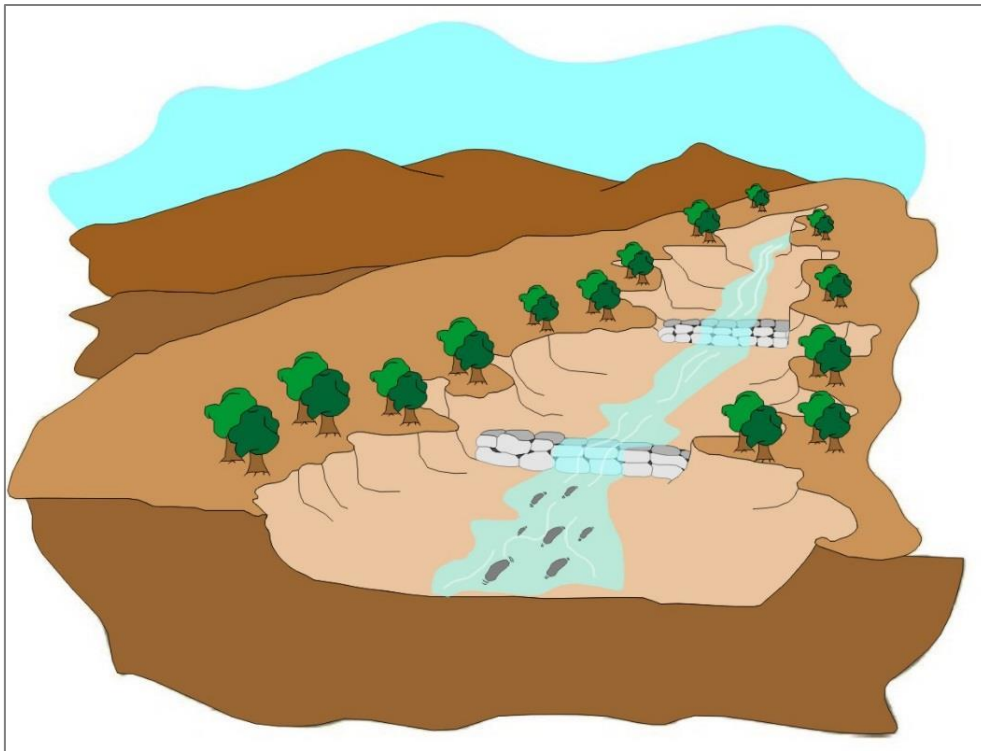


Figura 9. Presas transversales a cursos de quebradas.