

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7143

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA CHAUPIMAYO

Región Cusco
Provincia La Convención
Distrito Santa Ana



EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA CHAUPIMAYO

(Distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, región Cusco)

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

Kevin Cueva Sandoval

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Chaupimayo. Distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, región Cusco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7143, 31 p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Aspectos generales	9
1.3.1. Ubicación	9
1.3.2. Accesibilidad	9
1.3.3. Clima e hidrografía	10
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
2.1. Unidades litoestratigráficas	10
2.1.1. Grupo San José (Om-sj)	11
2.1.2. Formación Quillabamba (D-ca)	11
2.1.3. Intrusivo Cirialo – Concevidayoc (PsTi-ci/gr)	12
2.1.4. Depósito proluvial (Q-pr)	12
2.1.5. Depósito aluvial (Q-al)	12
2.1.6. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)	12
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	14
3.1. Pendientes del terreno	14
3.2. Unidades geomorfológicas	14
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	15
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	16
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	17
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	17
4.2. Flujo de detritos en el sector Chaupimayo B	18
4.3. Factores condicionantes	24
4.4. Factores desencadenantes	25
4.5. Otros factores antrópicos	25
5. CONCLUSIONES	26
6. RECOMENDACIONES	27
7. BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO 1: GLOSARIO	29
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	30

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos, realizado en el sector Chaupimayo B, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Santa Ana, provincia de La Convención, departamento 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 Quillabamba, conformado por pizarras y esquistos grises, intercalados con paquetes de cuarcitas, los cuales se encuentran muy fracturados y de moderada a altamente meteorizados. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos coluvio-deluviales, distribuidos de forma caótica a lo largo de la quebrada Chaupimayo; así como, en ambos márgenes de la quebrada; se distinguen depósitos aluviales antiguos y recientes, compuestos por bloques de rocas metamórficas, de formas subangulosos, que varían de 0.5 m a 2 m, inmersos en 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 principal factor desencadenante que originó la activación de flujo de detritos en la quebrada Chaupimayo fueron las lluvias intensas registradas durante el mes de febrero. Además, se considera como los principales factores condicionantes que activaron derrumbes en la parte alta de la quebrada al substrato rocoso muy fracturado debido a la presencia de fallas geológicas, ello permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno; suelos inconsolidados (depósitos de deslizamientos y coluviales), de fácil erosión - remoción ante lluvias 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 16 de febrero del 2021, aproximadamente a las 4.45 a.m., la quebrada Chaupimayo se activó y desencadenó un flujo de detritos (huaico), producto de la activación de derrumbes provenientes de la parte alta. En su trayecto, el huaico alcanzó una altura de 5 m y depositó el material más grueso, compuesto por bloques con diámetros de 0.5 a 2 m, lodo (arena y arcilla) y restos de troncos de árboles de 1 a 2 m de longitud. El daño ocasionado comprende la pérdida de 4 vidas humanas, destrucción de 10 viviendas, tramos carreteros, colapso de 2 puentes peatonales, 1 Institución Educativa y terrenos de cultivo.

El área de estudio se considera como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos) que pueden ser reactivados en temporada de lluvias intensas y excepcionales.

Finalmente, se recomienda reubicar las viviendas del sector Chaupimayo B y los poblados ubicados en las márgenes de la quebrada del mismo nombre; por encontrarse en zona de **peligro muy alto** ante la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos).

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 referencia al D.S. N° 028-2021-PCM, el cual declara en estado de emergencia a los distritos de Santa Ana y Echarati; en el marco de nuestras competencias se realiza una evaluación de los eventos de tipo flujo de detritos ocurrido el 16 de febrero en la quebrada Chaupimayo, que afectó 10 viviendas, tramos carreteros, 1 Institución Educativa, terrenos de cultivo y la pérdida de 4 vidas humanas.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Kevin Cueva Sandoval y Guisela Choquenaira Garate, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 20 de febrero 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 terrestres, levantamiento fotogramétrico con Dron con el fin de observar mejor el alcance del evento), 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 Santa Ana y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, 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 la quebrada Chaupimayo.
- 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 la quebrada Chaupimayo, se tienen:

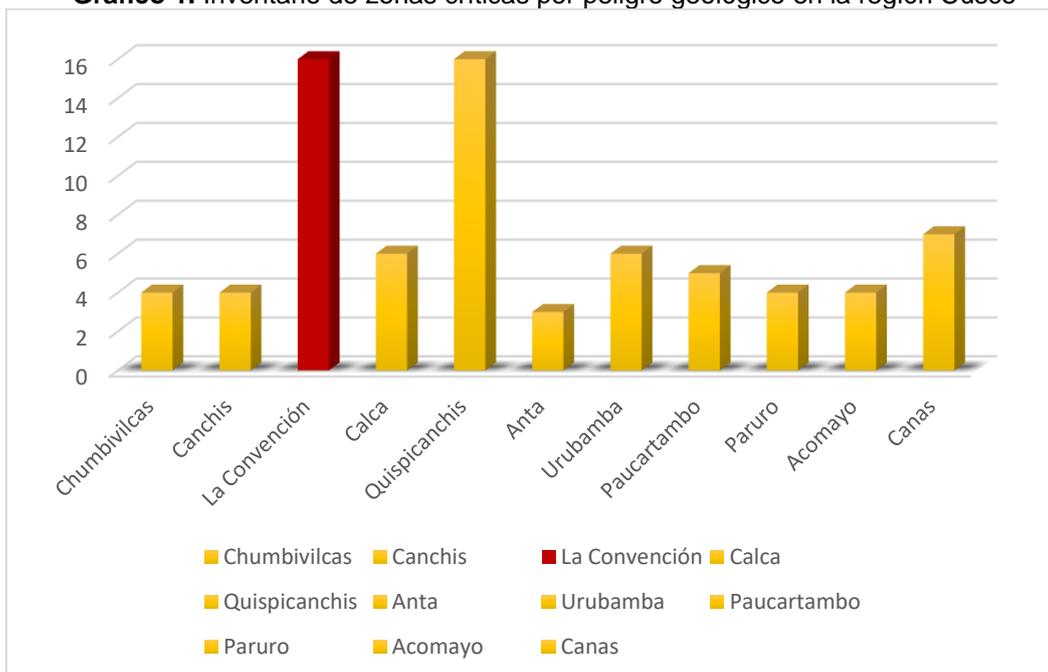
- A) Informe técnico N° A6635. Peligros geológicos en el ámbito de la Mancomunidad Municipal Amazónica; realizado el año 2013.
Señala que, el Balneario de Sambaray está localizado a la salida de la zona de estrechamiento del río Vilcanota, donde el valle se abre hasta unos 350 m de ancho. En este punto confluye la quebrada Chaupimayo al río Vilcanota, en su margen izquierda se desarrolló toda la infraestructura del balneario (campos recreativos y

restaurantes), los cuales fueron afectados por las subidas del nivel del río en temporada de lluvias.

Además, se debe tener presente que, por la quebrada Chaupimayo pueden discurrir huaicos que comprometerían seriamente la seguridad física de toda la infraestructura de la zona. Esta quebrada presenta un abanico proluvial en su desembocadura.

- B) 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 2 eventos de tipo flujo de detritos y erosión fluvial fueron identificados en la zona de estudio. El estudio también realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 100 000, donde la quebrada Chaupimayo presenta alta a muy alta susceptibilidad (figura 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



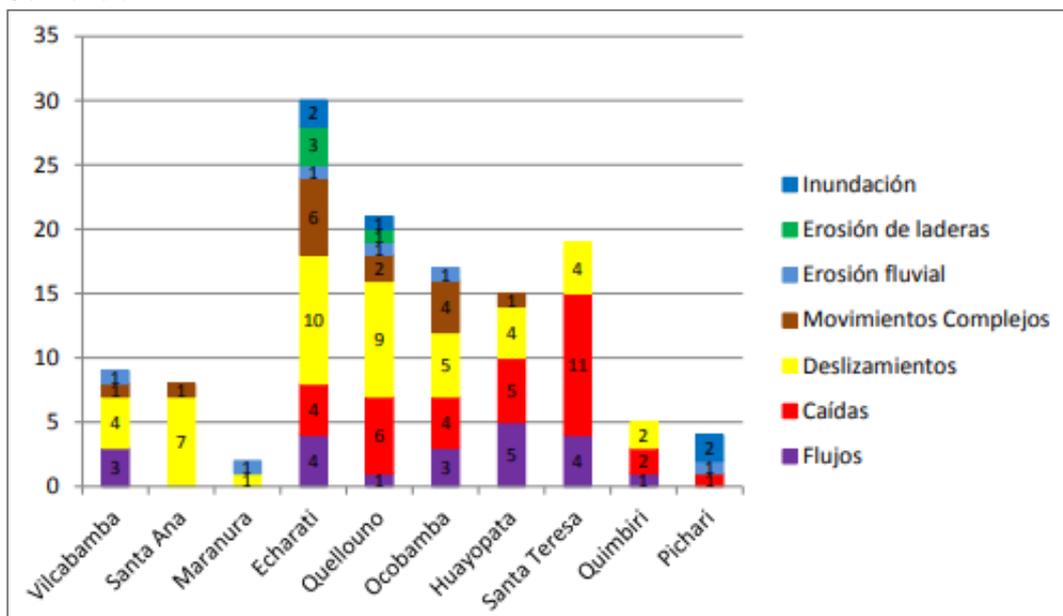
- C) Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3 (Ingemmet, 2003) menciona que, en la provincia de La Convención se han inventariado 4 ocurrencias de peligros geológicos de tipo flujo de detritos, deslizamientos y derrumbes antiguos. Además de 4 zonas críticas por peligro geológico.

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. Dentro de esta zona se encuentran los valles de los ríos Vilcabamba, Lúcuma, Vilcanota, Ocobamba, Yanatile y Urubamba.

- D) 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.
- E) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Quillabamba 26-q (Carlotto et al., 1999); describe la geología a escala 1: 100 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía de las formaciones San José y Quillabamba, conformado por pizarras, esquisto, intercalados con bancos de cuarcita. Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas (montañas modeladas en rocas metamórficas) de la quebrada Chaupimayo.
- F) 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); para el distrito de Santa Ana se registró 8 eventos.

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



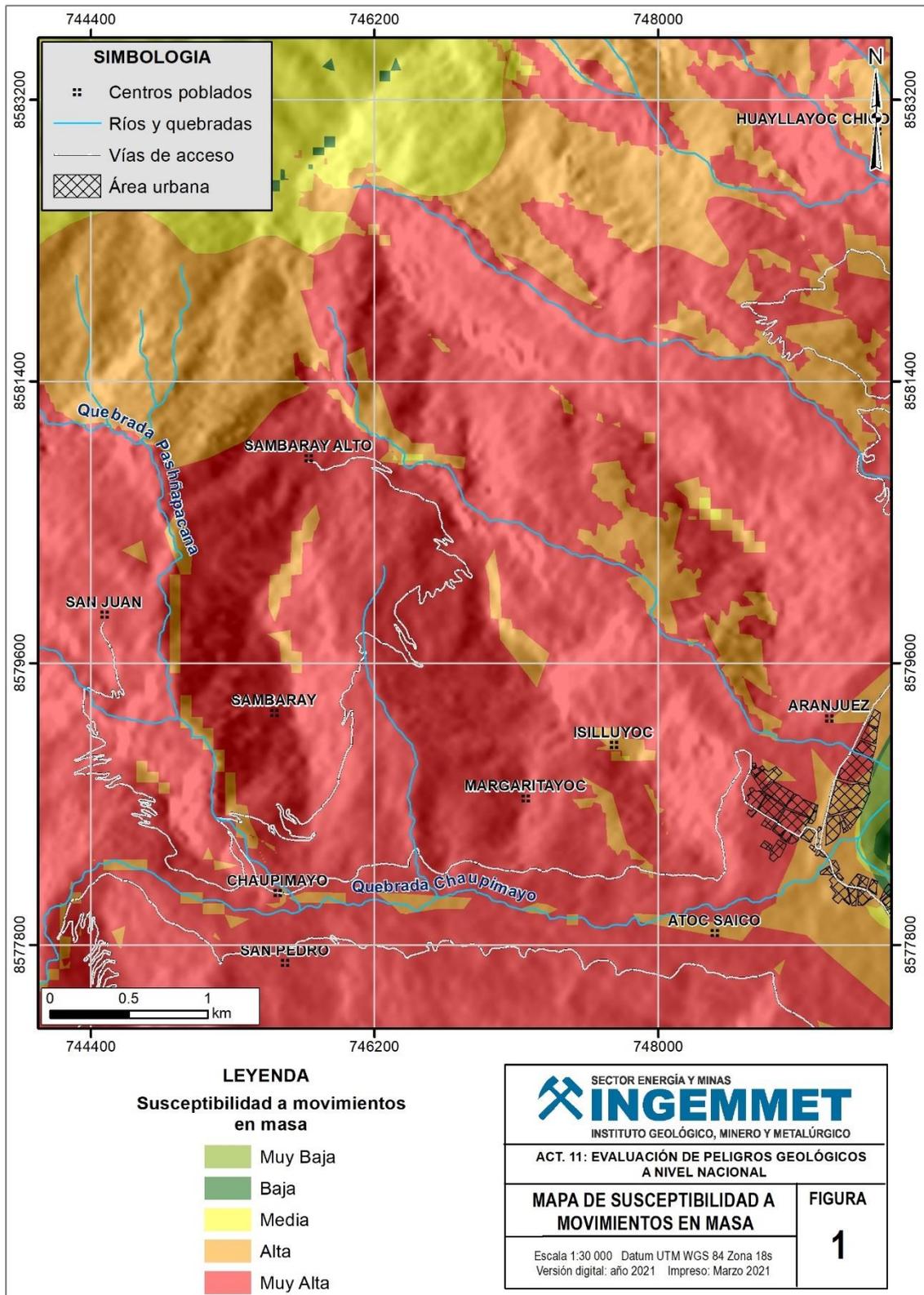


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del sector Chaupimayo B – quebrada Chaupimayo. Fuente: Vílchez et al., 2020.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Chaupimayo B se ubica en la margen derecha de la quebrada del mismo nombre, a 5.4 km al oeste de Quillabamba. Políticamente, pertenece al distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, región Cusco. (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) siguientes (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del sector Chaupimayo B - quebrada Chaupimayo

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	742095	8582893	-12. 80°	-72.76°
2	749678	8580319	-12.83	-72.69°
3	749782	8576635	-12.86°	-72.69°
4	739381	8578882	-12.84°	-72.79°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	745998	8577987	-12.85°	-72.73°

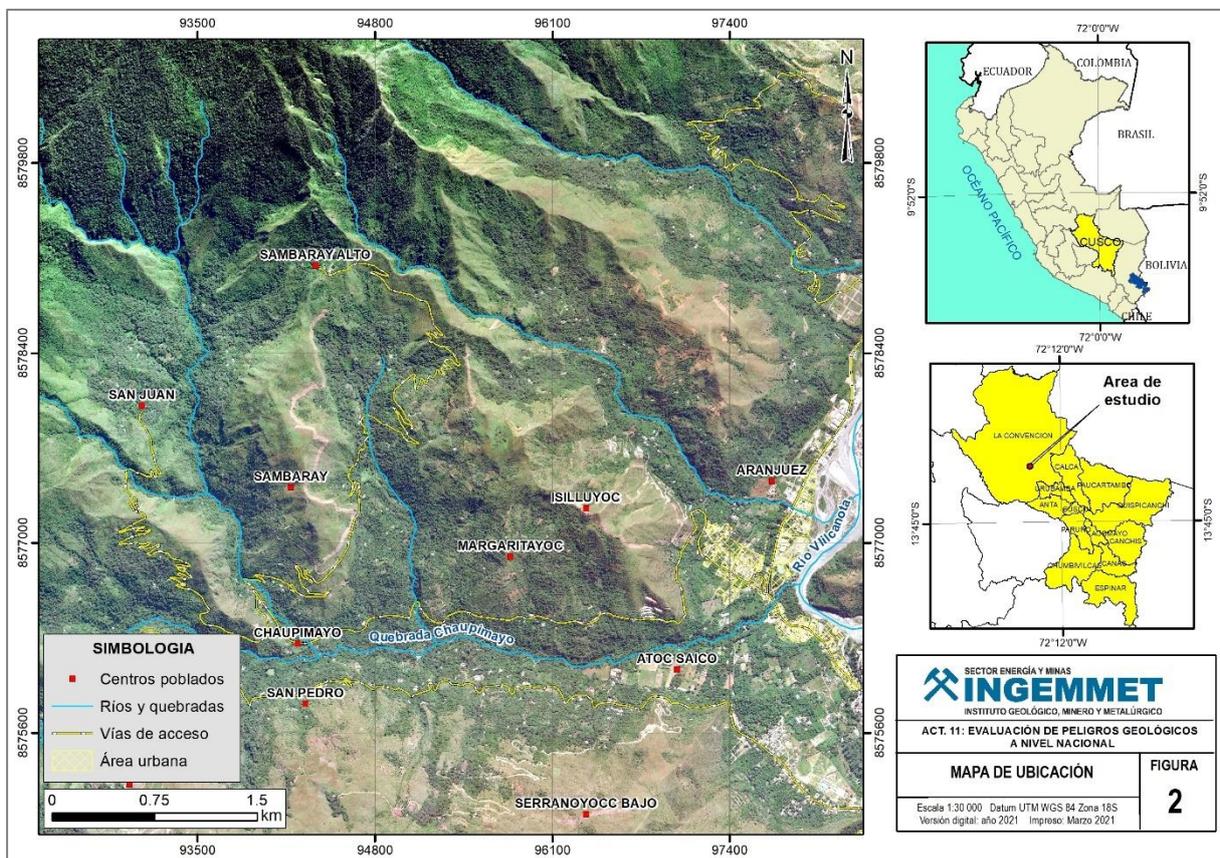


Figura 2. Mapa de ubicación del sector Chaupimayo B – quebrada Chaupimayo, distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, región Cusco.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso al sector Chaupimayo B, por vía terrestre desde la ciudad del Cusco (INGEMMET-OD Cusco), se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos al sector Chaupimayo B – quebrada Chaupimayo

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
------	-------------	----------------	-----------------

Cusco - Quillabamba	Carretera asfaltada	203	4 h 30 minutos
Quillabamba – Chaupimayo B	Trocha carrozable	5.4	16 minutos

1.3.3. Clima e hidrografía

De acuerdo a la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Santa Ana se clasifica como Cfb (templado y cálido), con temperatura media anual de 15.6 °C y precipitación anual de 2227 mm.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2021), en la estación meteorológica Quillabamba, se registró 53.4 mm acumulados de precipitación pluvial entre el 12 al 15 de febrero del presente año (tabla 1). Debido a las intensas lluvias registradas días antes al evento, se activó y desencadenó un flujo de detritos en la quebrada Chaupimayo.

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

La red hidrográfica principal la conforma la cuenca del río Vilcanota, por la zona de estudio el río Vilcanota tiene un recorrido de dirección norte - sur, por la margen izquierda recibe los aportes del Chuyapi y la quebrada Chaupimayo; por la margen derecha se tiene al río Lúcura y las quebradas Huallpamayta, Mandor, entre otras de menor extensión. A la altura de la ciudad de Quillabamba el curso del río Vilcanota cambia a una dirección general noreste hasta inmediaciones del poblado de Limonchayoc, donde su recorrido cambia a una dirección oeste; confluye con río Yanatile y forman el río Urubamba, con esta dirección llega hasta el poblado de Palma Real.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base a la carta geológica de Quillabamba – hoja 26q, elaborado por 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 aéreas y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada y alrededores son de origen metamórfico correspondientes a las formaciones San José (Om-sj) y Quillabamba (D-ca), los cuales se encuentran muy fracturados y de moderada a altamente meteorizados. Además, en la zona alta afloran rocas intrusivas del Triásico (Cirialo), conformado por granitos y granodioritas. 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 (figura 3).

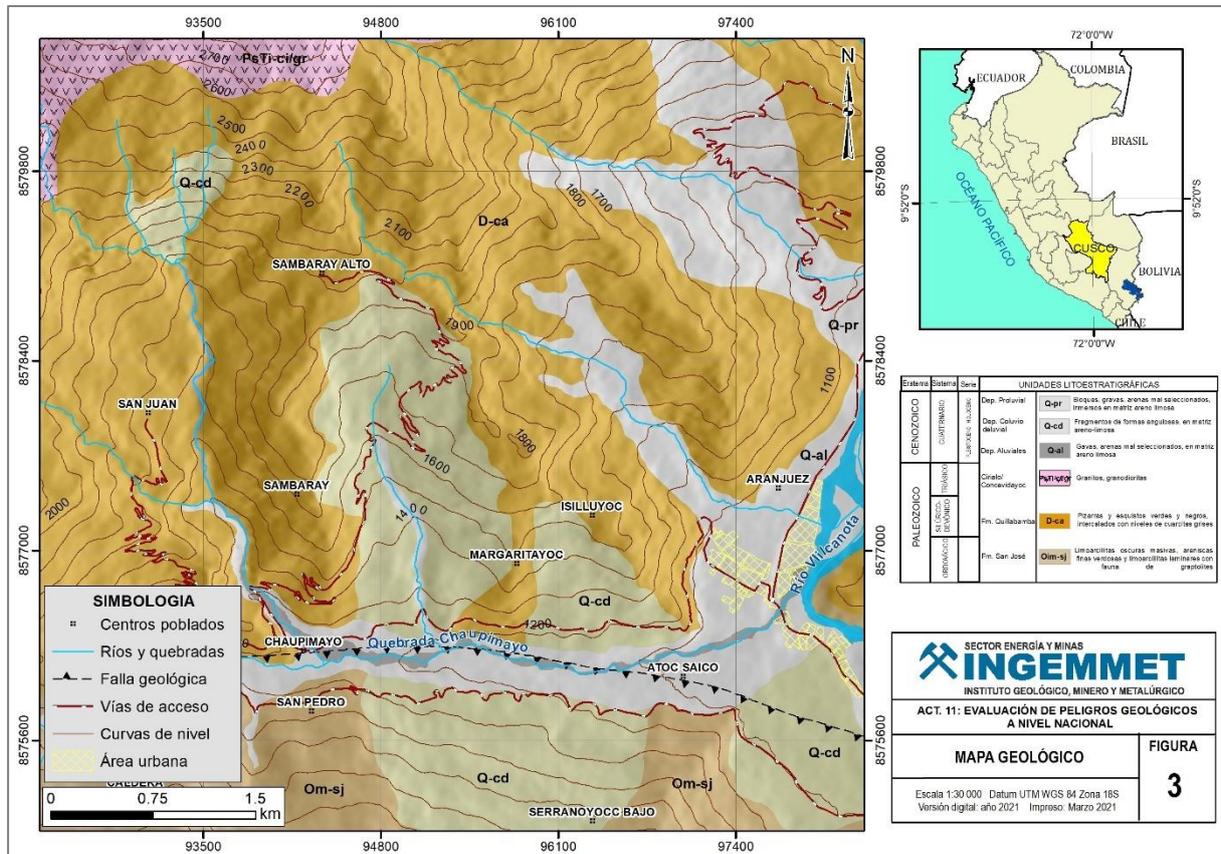


Figura 3. Mapa geológico del sector Chaupimayo B – quebrada Chaupimayo. Modificado de Carlotto, 1999.

2.1.1. Grupo San José (Om-sj)

Esta unidad aflora al suroeste del sector Chaupimayo B y al norte de Echarate y San Pedro, está compuesto por pizarras, esquistos grises, verdes y negros con pirita diseminada y cristalizada, además de micaesquistos, cuarcitas y hornfels (Laubacher, 1977; De la Cruz & Carpio, 1996). El grosor estimado de esta unidad es de 2 000 m. En la margen derecha de la quebrada Chaupimayo el afloramiento se encuentra muy fracturado y moderada a altamente meteorizada, generando suelo residual.

2.1.2. Formación Quillabamba (D-ca)

Aflora ampliamente en la parte septentrional y central del cuadrángulo de Quillabamba. Hacia el norte aflora entre los sectores de Pigiato, Sanganato, Ichiquiato, Palmareal, Quellouno y Chahuare; al oeste de Quillabamba aflora en los sectores de Sambaray, San Juan y Chaupimayo. En la margen izquierda de la quebrada Chaupimayo el sustrato rocoso está conformado principalmente por esquistos, pizarras grises y negras, intercalado con bancos de cuarcitas, los cuales se encuentran muy fracturados (figura 4), ello generó bloques sueltos de hasta 0.6 m. Además, se encuentra moderada a altamente meteorizada.

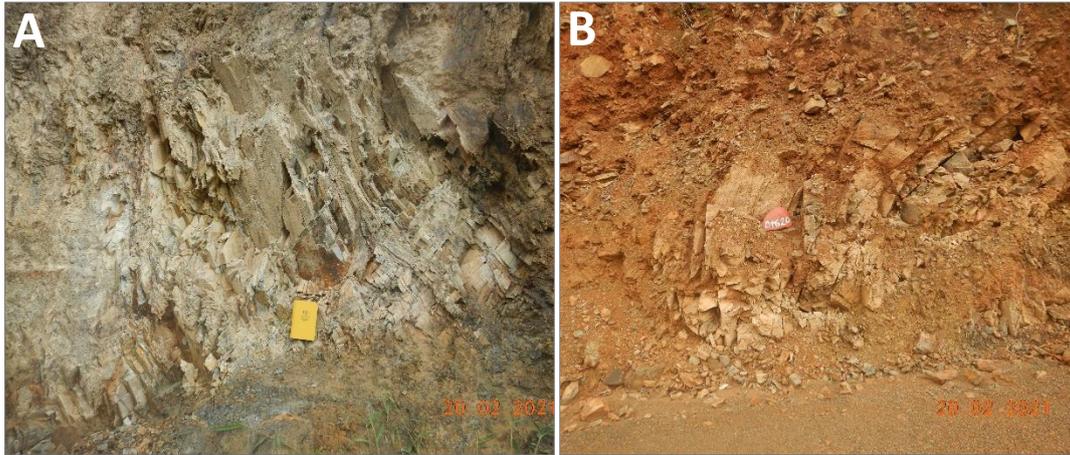


Figura 4. A, B) Esquistos muy fracturados y moderada a altamente meteorizados de la Formación Quillabamba. Con coordenadas UTM (WGS 84): 745418 E, 8579055 S a 1518 m s. n. m.

2.1.3. Intrusivo Cirialo – Concevidayoc (PsTi-ci/gr)

Regionalmente pertenece al Batolito de Quillabamba, ubicado en el extremo norte del cuadrángulo de Pacaypata. Este macizo aflora desde las alturas de la quebrada Chaupimayo, al Este de Santa Ana, prolongándose al cuadrángulo de Quillabamba. El borde sur se encuentra instruyendo rocas de los grupos San José y Ambo y la Formación Quillabamba; compuesto por granito (grano grueso), granodioritas muy fracturadas y dioritas (grano medio).

2.1.4. Depósito proluvial (Q-pr)

Se encuentran dispuestos en el fondo de los valles, en forma de conos deyección hacia la confluencia del río Vilcanota. El depósito proluvial reciente, proveniente de la quebrada Chaupimayo está conformado por bloques con diámetros que varían de 0.5 a 2 m, envueltos en una matriz areno arcillosa (fotografía 1), son de fácil erosión. Sobre este depósito se encuentra asentado parte del área urbana de Quillabamba.

2.1.5. Depósito aluvial (Q-al)

Estos depósitos están compuestos por bloques de rocas intrusivas y metamórficas, bancos de gravas y arenas, formando terrazas. En el valle del río Vilcanota, las terrazas se presentan a partir del poblado de Chaullay, donde el ancho del valle se hace más importante.

2.1.6. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Se localizan en las laderas que circunscriben la quebrada Chaupimayo, distribuidos de forma caótica, constituyen todas las masas rocosas y/o suelos que han sufrido deslizamientos (figura 5). Estos eventos se han originado debido a la influencia de las condiciones litológicas y estructurales de las rocas, ya que éstas se hallan fuertemente fracturadas y meteorizadas. A esto se suma la topografía muy accidentada y sobre todo la presencia de agua de lluvias, que ha sido el factor desencadenante de estos fenómenos.



Fotografía 1. Depósito proluvial reciente, conformado por bloques y gravas de rocas intrusivas y metamórficas, de formas subangulosas.



Figura 5. Zona de arranque, el material desplazado al cauce de la quebrada Chaupimayo incrementó el volumen del huaico.

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 la figura 6, 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 ($>45^{\circ}$).

La Quebrada Chaupimayo está circundada por montañas metamórficas con laderas de pendientes que varían de 35° a 65° , lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas. Además, en la zona media – baja, el valle de la quebrada presenta una pendiente que varía de 1° a 5° .

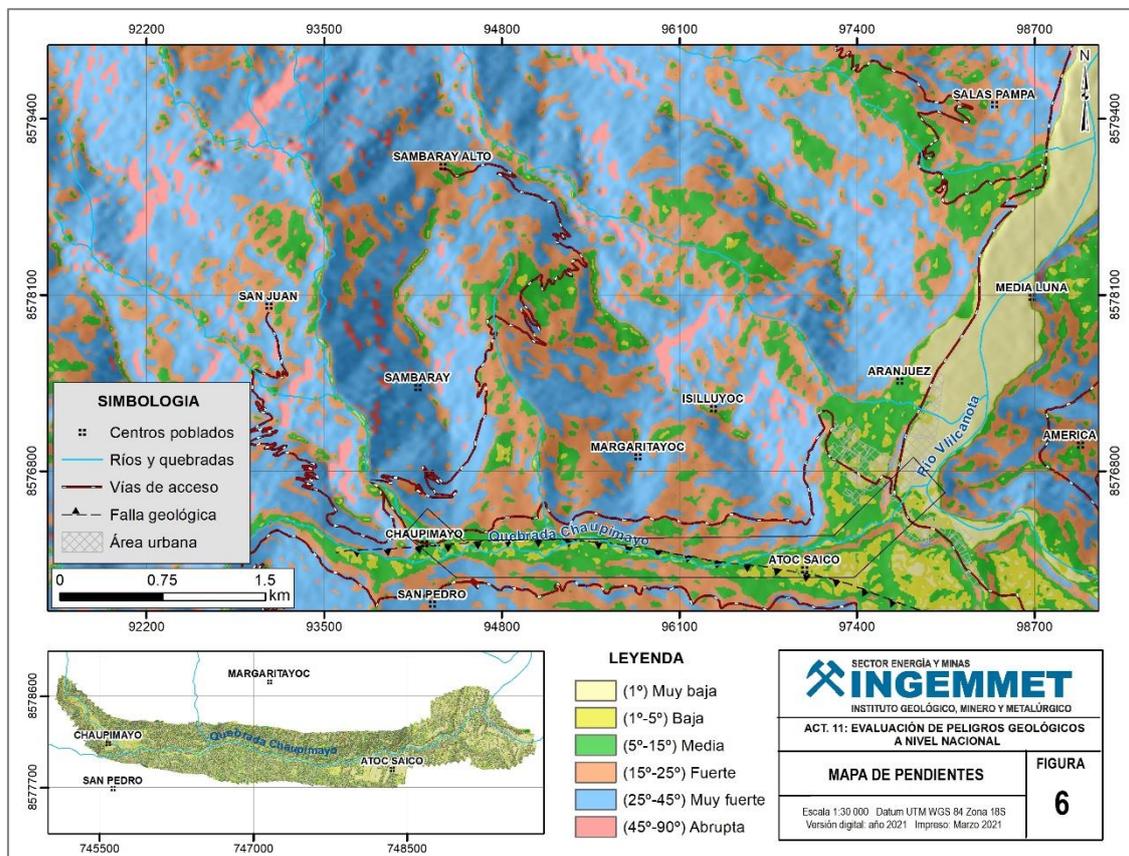


Figura 6. Mapa de pendientes del sector Chaupimayo B – quebrada Chaupimayo. Elaboración propia.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (figura 7), 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).

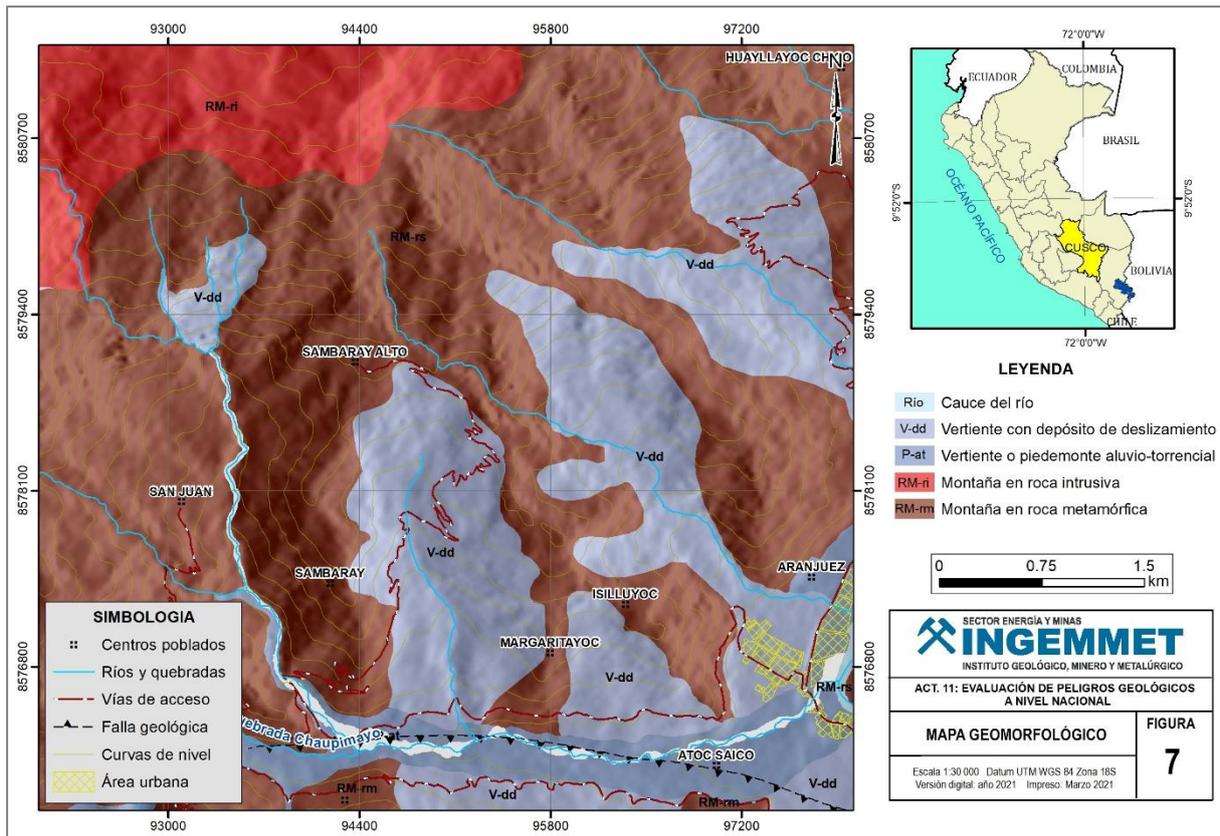


Figura 7. Mapa geomorfológico del sector Chaupimayo B – quebrada Chaupimayo. Fuente: Vílchez et al., 2020.

3.2.1. Geformas 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 metamórficas (RM-rm): Relieve modelado en afloramientos de las formaciones Quillabamba y San José, conformadas por esquistos, pizarras, intercalados con bancos de cuarcita. Las montañas de este tipo cubren gran parte de la zona de estudio, las laderas presentan pendientes moderadas a empinadas, varían de 35° a 65°, con algunas cimas subredondeadas a agudas. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente la quebrada Chaupimayo (fotografía 2).



Fotografía 2. Vista aérea de montañas modeladas en rocas metamórficas (RM-rm), cuyas laderas presentan pendientes 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 de deslizamiento (V-dd)

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Son de corto a mediano recorrido, relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

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. La quebrada Chaupimayo, afluente al río Vilcanota por su margen izquierda formó 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 0.50 m a 2 m; de formas subangulosos y se encuentran regularmente

compactados. En la desembocadura de la quebrada Chaupimayo se desarrollan terrenos de cultivo y se ubican las viviendas del área urbana de Quillabamba.

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

La quebrada Chaupimayo, presenta una geodinámica muy activa, representada por derrumbes, deslizamientos reactivados y flujo de detritos (figura 8), como lo acontecido el 16 de febrero del presente año. Además, la zona es considerada como Zona Crítica (Vílchez, 2015) y de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

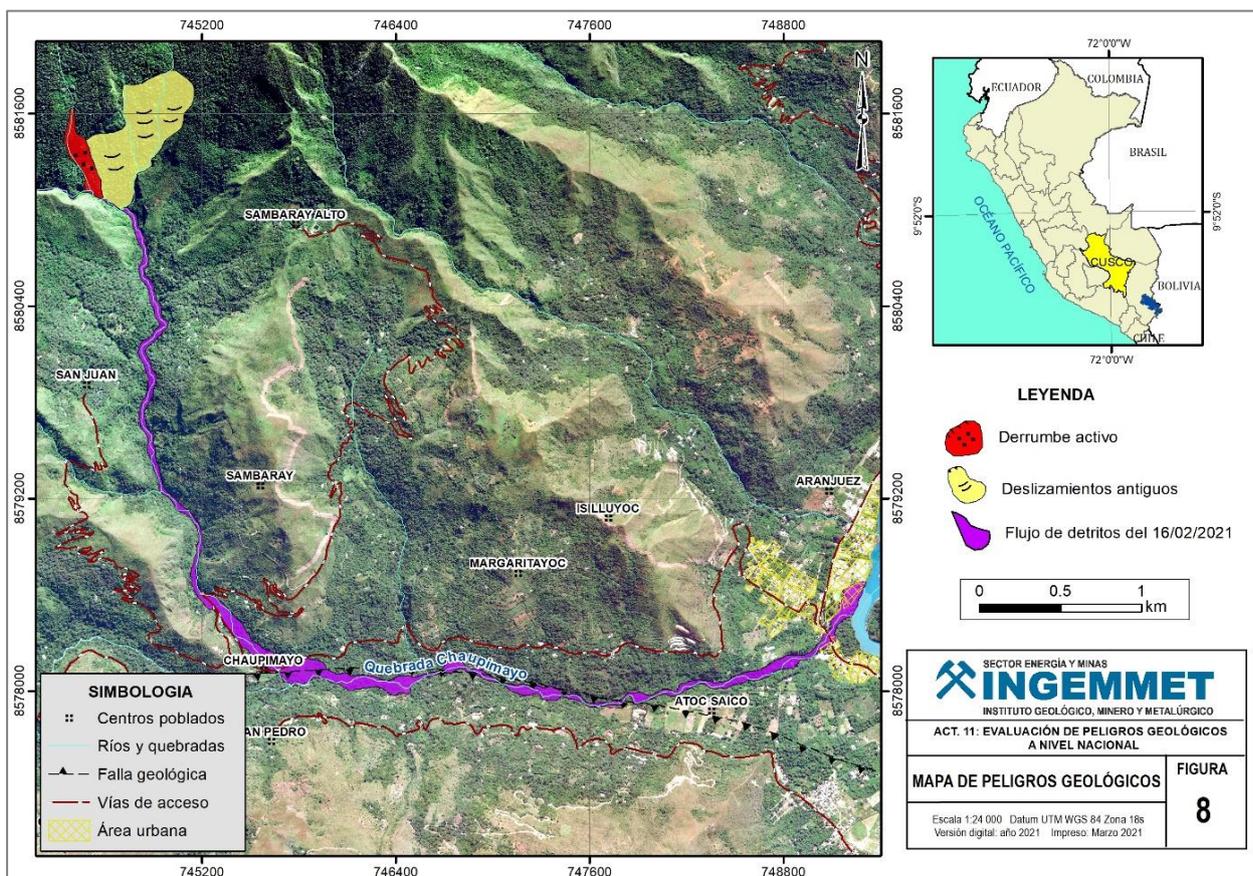


Figura 8. Cartografía de peligros geológicos en el sector Chaupimayo B – quebrada Chaupimayo.

4.2. Flujo de detritos en el sector Chaupimayo B

El sector Chaupimayo B se ubica en la margen derecha de la quebrada del mismo nombre, a 5.4 km al oeste de Quillabamba. Esta quebrada nace de la confluencia de 4 quebradas principales, a 1720 m s.n.m.

El 16 de febrero del 2021, aproximadamente a las 4.45 a.m., la quebrada Chaupimayo se activó y desencadenó un flujo de detritos (huaico), producto de la reactivación de derrumbes en la parte alta de la quebrada (figura 9). La activación de estos derrumbes se dio a consecuencia de las lluvias inusuales registradas días antes al evento en la provincia de la Convención.

El evento recorrió alrededor de 7.8 km de distancia desde la naciente de la quebrada Chaupimayo (confluencia de cuatro quebradas secundarias) (744540 E, 8581463 S) hasta la desembocadura en el río Vilcanota (988 m s.n.m.), en dirección suroeste; en cuyo trayecto profundizó y erosionó el lecho de la quebrada.

En la zona alta, la dinámica erosiva del flujo de detritos erosionó las laderas adyacentes de la margen izquierda, ello reactivó nuevos derrumbes incrementando el volumen del material removido al cauce de la quebrada. El área donde ocurrió la reactivación de estos derrumbes corresponde a depósitos coluvio deluviales, dispuestos sobre rocas metamórficas de la Formación Quillabamba; conformados por esquistos, pizarras grises y negras; intercalado con bancos de cuarcitas, los cuales se encuentran muy fracturados y altamente meteorizado. Los depósitos coluvio deluviales, mal clasificados están compuestos principalmente por bloques, gravas, arcillas de baja plasticidad, inmersos en arenas limosas y arcillosas. Asimismo, aguas abajo de esta zona, el huaico profundizó el cauce hasta en 5 m y sobrepaso las terrazas en 0.80 m (fotografía 3).

Según manifiestan los pobladores, en la zona media de la quebrada, el huaico alcanzó una altura de 5 m (figura 10), ensanchó su cauce en 168 m (figura 11) y depositó el material más grueso, compuesto por bloques con diámetros de 0.5 a 2 m, lodo (arena y arcilla) y restos de troncos de árboles de 1 hasta 2 m de longitud, arrancados desde su raíz (fotografía 4). El daño ocasionado comprende la destrucción de 10 viviendas, afectación de 0.3 km de camino carrozable, 2 puentes peatonales colapsados, 1 Institución Educativa inhabitable, terrenos de cultivo y la pérdida de 4 vidas humanas (figura 12).

Finalmente, en el extremo distal del recorrido del huaico, se evidenció flujo de lodo (arena y arcilla) que colmataron viviendas del área urbana de la ciudad de Quillabamba, el Balneario de Sambaray y la vía Quillabamba - Echarati. En este punto, el lodo alcanzó una altura aproximada de 1.5 m.



Fotografía 3. Zona alta de la quebrada Chaupimayo, se observó el material depositado por el flujo de detritos del 16/02/2021. Coordenadas UTM (WGS84), 745023 E, 8579196 N, a 1366 m s.n.m.



Figura 10. Zona media de la quebrada Chaupimayo, en este punto el flujo de detritos (huaico), alcanzó una altura de 5 m. Coordenadas UTM (WGS84): 746047 E, 8578039 S, a 1187 m s.n.m.



Figura 11. Zona media de la quebrada Chaupimayo. En este punto el huaico depositó el material más grueso, y ensanchó su cauce en 168 m.



Fotografía 4. Material transportado por el flujo de detritos, el cual está compuesto por bloques con diámetros de 0.5 a 2 m, lodo y restos de troncos de árboles de 1 a 2 m de longitud.

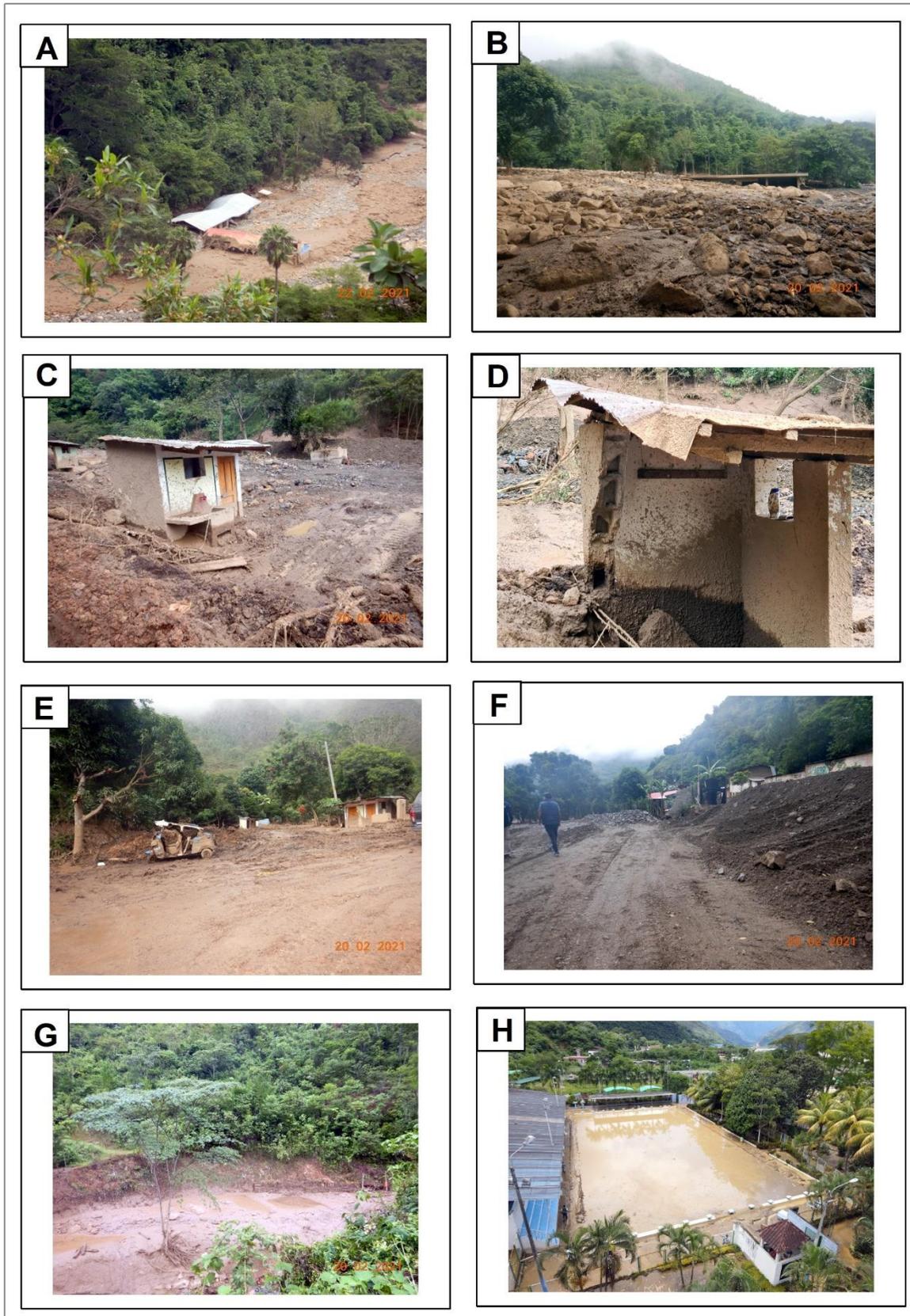


Figura 12. A) Institución Educativa inhabitable; B, C y D) Viviendas y terrenos de cultivo afectados; E y F) Vías de acceso a pueblos aledaños afectados por el huaico de la quebrada Chaupimayo; G) Muro de gaviones colapsados. H) Balneario de Sambaray inundado por lodo.

Por otro lado, en varios puntos de la quebrada Chaupimayo se observó derrumbes activos debido a la erosión fluvial que generó el huaico (figura 13) y depósitos de deslizamientos antiguos, los cuales podrían ceder cuesta abajo y represar el cauce de la quebrada referida, su desembalse afectaría nuevamente a la población asentada aguas abajo.



Figura 13 A, B) Derrumbes reactivados debido a la erosión fluvial que generó el flujo de detritos (huaico). Con coordenadas UTM (WGS 84): 722056 E, 8548536 N a 3330 m s.n.m.

De igual modo podemos mencionar que, aguas abajo del sector Chaupimayo B la dinámica erosiva del aluvión generó el ensanchamiento del cauce en 35 m hacia la margen derecha, el socavamiento en la base inferior de la terraza (conformado por bloques de rocas metamórficas, de formas subangulosos, que varían de 0.5 m a 2 m), debilitó los cimientos, ello expone a las viviendas emplazadas al límite de la terraza a peligros por erosión fluvial (figura 14).

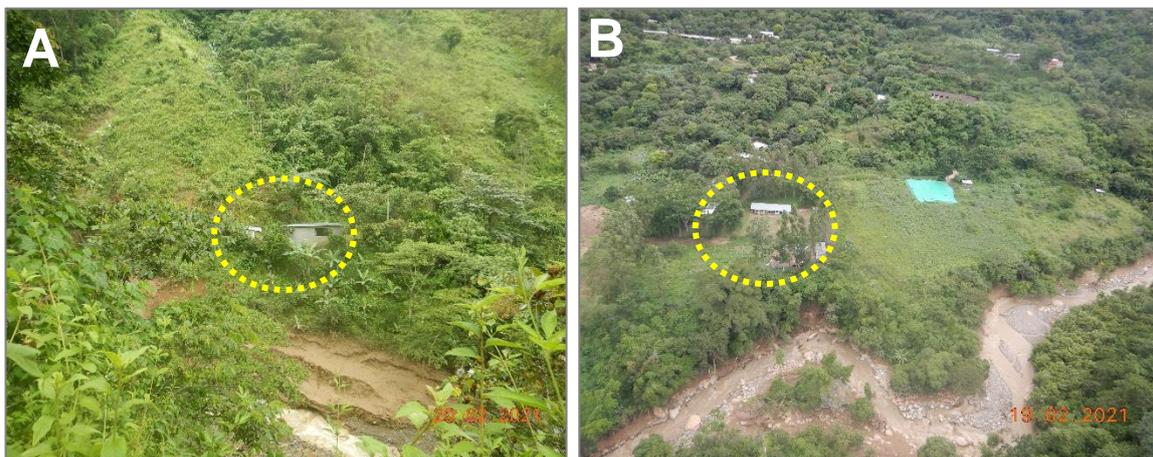


Figura 14. A, B) Viviendas asentadas en la margen derecha de la quebrada Chaupimayo, las cuales podrían ser afectadas por la erosión fluvial y socavamiento. Con coordenadas UTM (WGS 84): 746653 E, 8578035 N a 1149 m s.n.m.

Al noroeste del sector Chaupimayo B, en el tramo carretero (trocha carrozable) que conduce al sector Sambaray Alto y demás localidades, se observó agrietamientos longitudinales con aperturas de hasta 15 cm (figura 15), en temporada lluviosa podría producir un deslizamiento, el material desplazado represaría el cauce de la quebrada Chaupimayo.



Figura 15. Agrietamientos longitudinales en el tramo carretero que conduce a pueblos aledaños. Con coordenadas UTM (WGS 84): 745165 S, 8579576 S, a 1601 m s.n.m.

4.3. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Alternancia de rocas de diferente competencia de las formaciones San José y Quillabamba (pizarras, esquistos y cuarcitas),
- Substrato rocoso conformado por pizarras, esquistos y cuarcitas de moderada a altamente 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 la quebrada Chaupimayo; compuestos principalmente por bloques, gravas, arcillas de baja plasticidad, inmersos en arenas limosas y arcillosas, son fácilmente erosionables y removibles ante precipitaciones pluviales intensas.

Factor geomorfológico

- Las laderas que circunscriben la quebrada Chaupimayo, en la parte alta presentan pendientes fuertes (35°) a escarpadas (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.

Factor hidrológico - hidrogeológico

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben la quebrada Chaupimayo.
- Presencia de agua subterránea, 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.

4.4. Factores desencadenantes

- Según Senamhi (2021), en la estación meteorológica Quillabamba, se registró 53.4 mm de precipitación pluvial entre el 12 al 15 de febrero del presente año. Debido a las intensas lluvias registradas, se activó y desencadenó un flujo de detritos en la quebrada Chaupimayo.

4.5. Otros factores antrópicos

- Los cortes de talud realizado para la construcción de caminos carrozables a pueblos aledaños, generó inestabilidad en la ladera, ello contribuyó en la reactivación de deslizamientos.

5. CONCLUSIONES

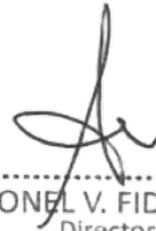
1. El 16 de febrero del 2021, aproximadamente a las 4.45 a.m., la quebrada Chaupimayo se activó y desencadenó un flujo de detritos (huaico), producto de la reactivación de derrumbes en la parte alta de la quebrada. El evento recorrió alrededor de 7.8 km de distancia desde la naciente de la quebrada Chaupimayo (confluencia de cuatro quebradas secundarias) (744540 E, 8581463 S) hasta la desembocadura en el río Vilcanota (988 m s.n.m.), en dirección suroeste; en cuyo trayecto profundizó y erosionó el lecho de la quebrada.
2. En la zona media de la quebrada, el huaico alcanzó una altura de 5 m, ensanchó su cauce en 168 m. El material depositado está compuesto por bloques intrusivos y metamórficos, con diámetros de 0.5 a 2 m, lodo (arena y arcilla) y restos de troncos de árboles de 1 hasta 2 m de longitud.
3. El daño ocasionado comprende la destrucción de 10 viviendas, 0.3 km de camino carrozable, 2 puentes peatonales colapsados, 1 Institución Educativa inhabitable, terrenos de cultivo afectados y la pérdida de 4 vidas humanas.
4. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Chaupimayo B, 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 excepcionales.
5. La ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa en la zona evaluada está condicionada por los siguientes factores:
 - Alternancia de rocas de diferente competencia de las formaciones San José y Quillabamba (pizarras, esquistos y cuarcitas).
 - Substrato rocoso compuesto por pizarras, esquistos y cuarcitas de moderada a altamente 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 el talud.
 - Suelos inconsolidados conformado por depósitos coluvio - deluviales, adosados a las laderas que delimitan la quebrada Chaupimayo, compuestos principalmente por bloques, gravas, arcillas de baja plasticidad, inmersos en arenas limosas y arcillosas, estos suelos son fácilmente erosionables y removibles ante lluvias intensas.
 - Las laderas que circunscriben la quebrada Chaupimayo, en la parte alta presentan pendientes fuertes (35°) a escarpadas (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.
 - Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben la quebrada Chaupimayo.
 - Presencia de agua subterránea, que 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.
6. El factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Chaupimayo fueron las lluvias intensas (53.4 mm acumulados de precipitación) registradas en el mes de febrero en la provincia de La Convención (SENAMHI, 2021).

6. RECOMENDACIONES

1. Reubicar a la población del sector Chaupimayo B; posteriormente realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), que determinen el reasentamiento definitivo. Del mismo modo se recomienda reubicar a los poblados ubicados en las márgenes de la quebrada Chaupimayo, por encontrarse en zona de peligro muy alto ante la ocurrencia de huaicos.
2. Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para monitorear los huaicos que se generan en la quebrada Chaupimayo. 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.
3. Realizar monitoreo visual y constante en la quebrada Chaupimayo ante el posible represamiento por la ocurrencia de derrumbes o deslizamientos, que pueden ser originados por lluvias intensas o excepcionales.
4. Descolmatar y encausar la quebrada Chaupimayo, respetando el cauce natural.
5. Implementar sistemas de defensa ribereña, principalmente en la margen derecha de la quebrada Chaupimayo, con el fin de evitar erosión fluvial.
6. Efectuar un programa de forestación con plantas nativas, para darle mayor estabilidad al terreno.
7. Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre el peligro y riesgo a las que se encuentran expuestos los poblados ubicados en ambas márgenes de la quebrada Chaupimayo.



Ing. KEVIN ARNOLD CUEVA SANDOVAL
Especialista en Peligros
Volcánicos
INGEMMET



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 Cuadrángulo 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, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- 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: 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.

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 2: 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 16). 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 17).
- La construcción de obras e infraestructuras que crucen estos cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas 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.

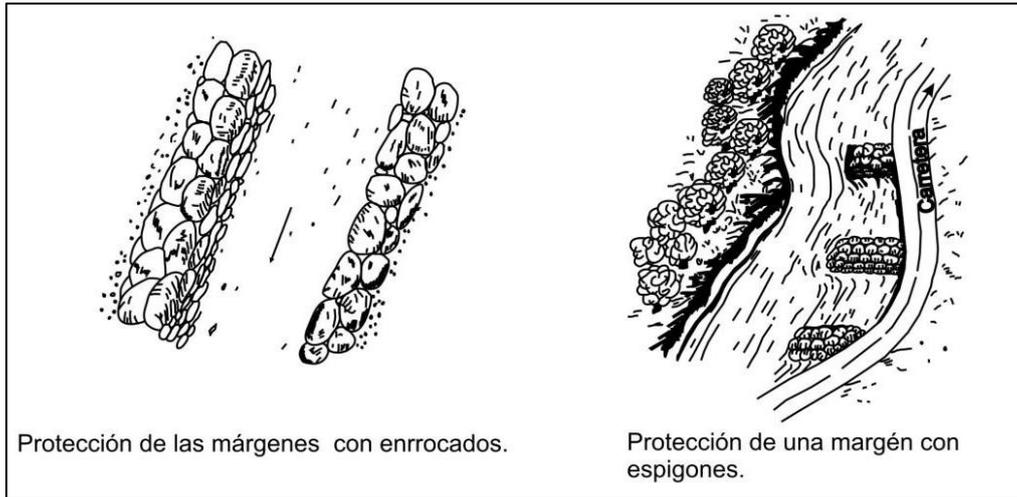


Figura 16. Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.

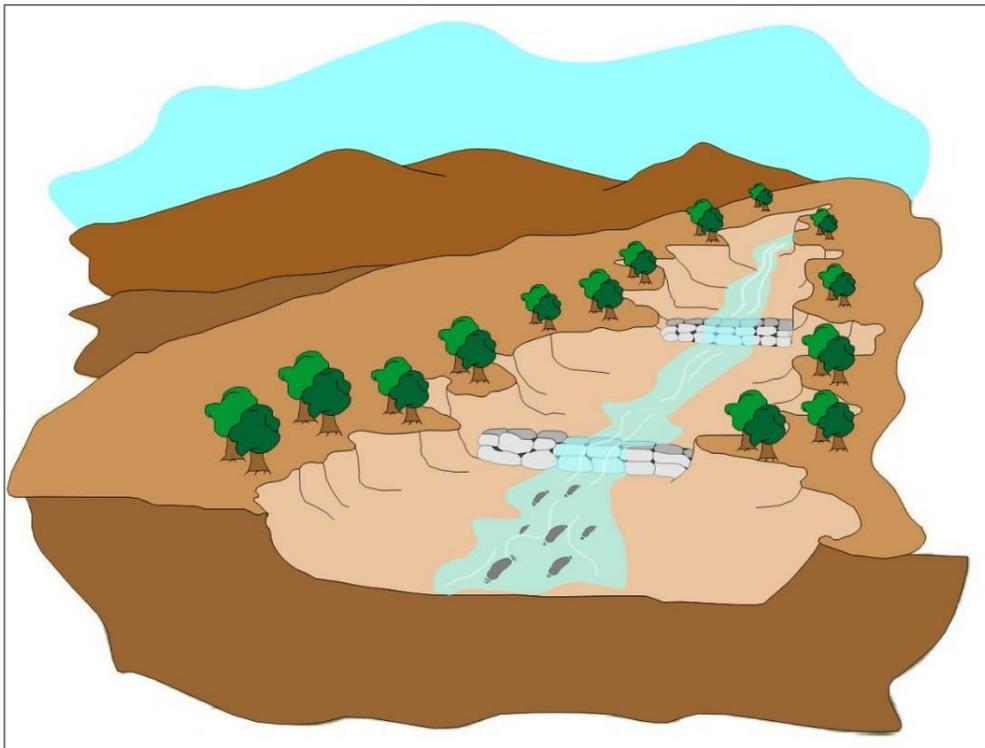


Figura 17. Presas transversales a cursos de quebradas.