SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico Nº A7113

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS NUEVOS TERRENOS DE REASENTAMIENTO PARA LOS SECTORES AFECTADOS POR EL ALUVIÓN DEL 23/02/2020 EN EL DISTRITO DE SANTA TERESA

Región Cusco
Provincia La Convención
Distrito Santa Teresa

ENERO
2021

VERSIÓN N° 001 CARÁTULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 04.01.19

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS NUEVOS TERRENOS DE REASENTAMIENTO PARA LOS SECTORES AFECTADOS POR EL ALUVIÓN DEL 23/02/2020 EN EL DISTRITO DE SANTA TERESA

(Distrito de Santa Teresa, 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 en los nuevos terrenos de reasentamiento para los sectores afectados por el aluvión del 23/022020, en el distrito de Santa Teresa. Distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención y región Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico Axxxx, 51 p.

ÍNDICE

RESUMEN 1
1. INTRODUCCIÓN 2
1.1. Objetivos del estudio 2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores 2
1.3. Aspectos generales 5
1.3.1. UBICACIÓN 5
1.3.2. ACCESIBILIDAD 6
1.3.3. CLIMA 7
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS 7
2.1. Unidades litoestratigráficas 7
2.1.1. COMPLEJO ISCAYBAMBA (NP-ci-mesq) 9
2.1.2. GRUPO OLLANTAYTAMBO (CAOi-o) 9
2.1.3. DEPÓSITO ALUVIAL (Q-al) 10
2.1.4. DEPÓSITO PROLUVIAL (Q-pr) 11
2.1.5. DEPÓSITO COLUVIAL (Q-co) 11
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 12
3.1. Pendientes del terreno 12
3.2. Unidades geomorfológicas 13
3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL 14
3.2.1.1. Unidad de montañas 14
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL 15
3.2.2.1. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) 15
3.2.2.2. Subunidad de vertiente coluvio – deluvial (V-cd) 15
3.2.2.3. Subunidad de piedemonte aluvio – torrencial (P-at) 16
3.2.2.4. Subunidad de terraza aluvial (T-al) 16
4. PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS TERRENOS DE REASENTAMIENTO 17
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa 17
4.2. Zonificación por sectores 17
4.2.1. **Sector Sahuayaco** 17
4.2.2. **Sector Cochapampa** 21
4.2.3. **Sector Chaquiorcco** 23
4.2.4. **Sector Paltaychayoc Alto** 25

4.2.5. **Sector Bayona** 26
4.2.6. **Sector Tendalpampa** 27
4.2.7. **Sector Sahuintuyoc** 28
4.2.8. **Sector Potrero** 29
5. CONCLUSIONES 31
6. RECOMENDACIONES 35
7. BIBLIOGRAFÍA 37
ANEXO 1: MAPAS 39
ANEXO 2: GLOSARIO 41
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN 44

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en los nuevos terrenos propuestos para el reasentamiento poblacional de los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el distrito de Santa Teresa, pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Santa Teresa, provincia de La Convención y 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 del Complejo Iscaybamba (esquistos, gneis y cuarcitas blanquecinas intercaladas con pequeños niveles de micaesquistos), se encuentran medianamente a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas. También afloran rocas del Grupo Ollantaytambo como pizarras y esquistos verdes, intercalados con bancos de cuarcitas, las cuales se encuentran muy fracturadas y moderadamente meteorizadas.

En las laderas se aprecian depósitos coluviales conformados por bloques de formas angulosas a subangulosas, con tamaños comprendidos entre 0.5 a 2 m, los cuales se encuentran distribuidos en toda la subcuenca del río Salkantay de forma caótica, la matriz es pobre y de tipo areno limosa. Los movimientos en masa identificados en la zona se desarrollaron principalmente en estos depósitos.

Las geoformas identificadas son de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas metamórficas) y de carácter depositacional y agradacional, esta última relacionada a la ocurrencia de movimientos en masa, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento, coluvial y aluvio - torrencial) y planicie (terrazas aluviales).

Los principales factores condicionantes de los movimientos en masa son: a) sustrato rocoso (gneis, esquistos y cuarcitas) moderadamente meteorizado y medianamente a muy fracturado debido a la incidencia de fallas geológicas, b) materiales fácilmente erosionables y removibles, c) pendiente del terreno, que va de baja (5º-15º) a fuerte (25º-45º), d) acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas que circunscriben el río Salkantay y presencia de agua subterránea (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.

Se concluye que, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámica de los nuevos terrenos ubicados en los sectores Sahuayaco (Leyvi Perez Holgado), Cochapampa (Damnificados Cochapampa, Alipio Moncada Rodas y Honorata Palermo Canela), Chaquiorcco (Juaney Candia Salas y Propuesta Colegio), Paltaychayoc Alto (Alfredo Pérez Baca y Carrasco Pando), Bayona (Casiano Alvarez), Tendalpampa (Dorotea Quispe), Sahuintuyoc (Norma Perez) y Potrero pueden ser considerados aptos para el reasentamiento poblacional, **si y solo si,** se implementan las medidas correctivas indicadas en el informe.

Finalmente, se recomienda realizar un estudio de suelos (capacidad portante), para determinar el tipo de cimentaciones de las futuras viviendas e infraestructura en los sectores Sahuayaco (Leyvi Perez Holgado), Cochapampa (Damnificados Cochapampa, Alipio Moncada Rodas y Honorata Palermo Canela), Chaquiorcco (Juaney Candia Salas y Propuesta Colegio), Paltaychayoc Alto (Alfredo Pérez Baca y Carrasco Pando), Bayona (Casiano Alvarez), Tendalpampa (Dorotea Quispe), Sahuintuyoc (Normas Perez) y Potrero.

Además, implementar sistemas de drenaje, mediante zanjas de coronación, sistemas de defensa ribereña y uso de un sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores y sus organizaciones, según las condiciones que presenta cada terreno.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la "Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (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 Santa Teresa, según Oficio N° 0289 - 2020 -A-MDTS, reiterativo Oficio N° 001-2021-GM-MDST-LC, en el marco de nuestras competencias se realiza una evaluación de peligros geológicos en los nuevos terrenos propuestos para el reasentamiento población de los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay, que afectó viviendas, tramos carreteros, puentes, terrenos de cultivo, y otras infraestructuras de gran importancia.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los geólogos Guisela Choquenaira Garate y David Prudencio, para realizar la evaluación de peligros geológicos, del 11 al 14 de diciembre de 2020.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías), 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 Teresa, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que pueden ocurrir en los alrededores y zonas de influencia de las nuevas zonas de reasentamiento poblacional de las localidades afectadas por el aluvión del 23 de febrero del 2020, en el distrito de Santa Teresa.
b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
c) Proponer algunas medidas y acciones necesarias a fin de prevenir o reducir el impacto de peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el distrito de Santa Teresa, se tienen:

A) Boletín N° 74, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: "Peligro geológico en la región Cusco" (Vílchez et al., 2020); el estudio realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1: 100 000), donde los nuevos terrenos de acogida, ubicados en la subcuenca del río Salkantay presentan de media a muy alta susceptibilidad (figura 1).

B) Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3 (INGEMMET, 2003) menciona que, en los alrededores de la zona de estudio se han identificado peligros geológicos de tipo deslizamientos y flujo de detritos (huaicos), también peligros hidrogeológicos de tipo inundación fluvial.

C) Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco (Vílchez, M. & Sosa, N. 2015), determinaron 75 zonas críticas, dentro del cual resaltan áreas, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres. Además, señala que el tramo carretero (margen izquierda del río Urubamba) entre Santa Teresa y Santa María, presenta deslizamientos. Asimismo, en los sectores de Pacamayo y Cochapampa se observó deslizamientos. Por otro lado, se identificó derrumbe de gran magnitud en el sector de Cocalmayo y en taludes de cortes subverticales en varios tramos de la carretera.

D) El informe técnico N° A7027 "Inspección geológica y geodinámica en la laguna Salkantaycocha" (2020).
Menciona que el 23 de febrero del 2020, se originó una avalancha mixta (hielo y roca) de la cara suroeste del nevado Salkantay, el material desplazado sobre la laguna Salkantaycocha generó olas. Posteriormente, el desembalse de la laguna por el lado frontal de la morrena o dique natural, desencadenó un aluvión en el río Salkantay. Es importante mencionar que las paredes de la morrena lateral izquierda y derecho se encuentran inestables, debido a los deslizamientos, derrumbes y caída de detritos que originó la avalancha.
Por lo mencionado en el párrafo anterior, se concluye que, el nivel de peligro a lo largo del valle del río Salkantay por desembalse de la laguna Salkantaycocha es alto, así como el nivel de vulnerabilidad alta por la presencia de importante número de población, algunos medios de vida y obras de infraestructura importante.

E) El informe técnico N° A7063 "Evaluación del impacto ocasionado por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay" (2020). En la subcuenca del río Salkantay afloran rocas metamórficas, conformada por metavolcánicas, anfibolitas y gneis, correspondientes al Complejo Iscaybamba; además, pizarras y esquistos verdes, intercalados con bancos de cuarcitas muy fracturadas y de moderada a altamente meteorizadas del Grupo Ollantaytambo. Morfológicamente, está circunscrito por montañas de rocas intrusivas y metamórficas, cuyo relieve agreste y de pendientes empinadas (> 25º) condicionan la ocurrencia de procesos por movimientos en masa.
En ese contexto, se concluye que, los sectores de Huayracmachay, Chaullay, Huiñaypoco, Palmaderayoc, Playa Sahuayaco, Cochapampa y Paltaychayoc, son considerados como Zonas Críticas y de Peligro Alto a la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos y aluviones).

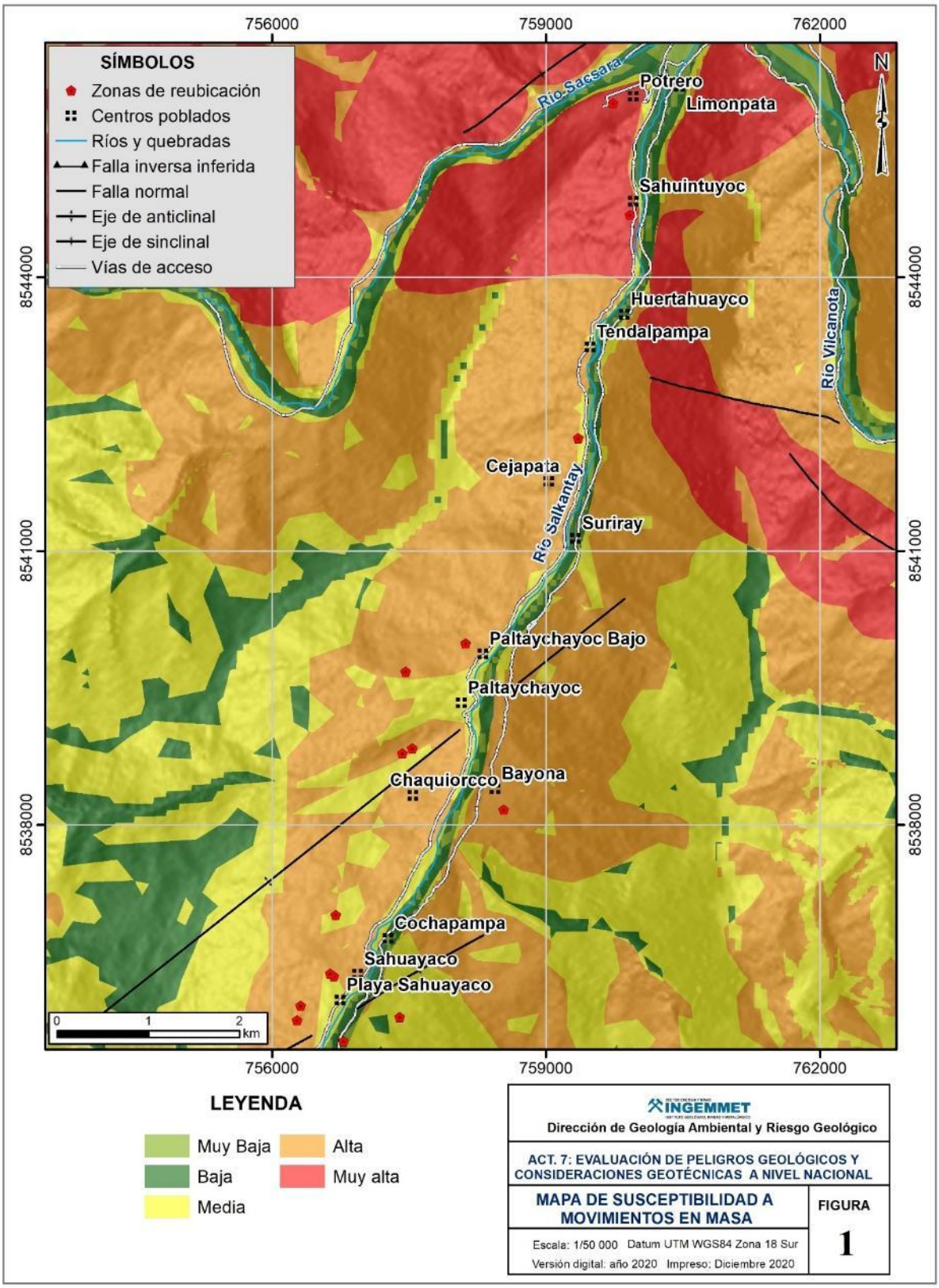


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de los nuevos terrenos propuestos para el reasentamiento de los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay, distrito de Santa Teresa.

F) El informe técnico N° A7085 “Evaluación geológica y geodinámica en los terrenos de reubicación, para los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay”, realizado en el año 2020.
Los terrenos Tambo Unuyoc (T-1 y T-2), Wiñaypocco (T-1), Parcela Isla del Gallo (T-1), Churubamba (T-1), Sahuayaco (T-2, T-4 y T-5), Cochapampa (T-2 y T-3), Suriray (T-1 y T-2), Tendalpampa (T-1 y T-2), Sahuintuyoc (T-1 y T-2), y Limompata (T-1). Propuestos como zonas de reubicación para los sectores afectados por el aluvión del 23 de febrero del presente, ubicados en la subcuenca del río Salkantay, se encuentran en zonas de susceptibilidad media a baja a la ocurrencia de procesos por movimientos en masa.

G) La Opinión Técnica Nº 001-2020 “Evaluación geológica en las nuevas zonas de reubicación para los poblados afectados por el aluvión del 23/20/2020. Informe Complementario”.
De acuerdo a las condiciones geológicas, se concluye que, los sectores, Bayona (T1-B), Lucmabamba (T1-L), Paltaychayoc (T1-P), Paltaychayoc Bajo (T6-P), Tendalpampa (T2, T3, T4, T5, T10, T11-T), Cejapata (T1-C), y Sahuintuyoc (T2-S), son considerados aptos.

H) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Machupicchu (27-q) (Arcos et al., 2019); describe la geología a escala 1: 50 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía. Además, señala de manera local las unidades geomorfológicas donde se ubican las zonas de reasentamiento.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. UBICACIÓN

Las nuevas zonas de acogida para el reasentamiento poblacional de los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020, se encuentran en la subcuenca del río Salkantay. Políticamente pertenece al distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención, región Cusco (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 S) siguientes (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio

N°	*UTM - WGS84 - Zona 18L*		*Geográficas*	
	Este	*Norte*	*Latitud*	*Longitud*
1	758332	8545120	- 13.14°	-72.61°
2	760998	8546251	-13.13°	-72.59°
3	756936	8534392	-13.24°	-72.62°
4	756036	8535880	-13.23°	-72.63°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	758291	8539738	-13.19°	-72.61°

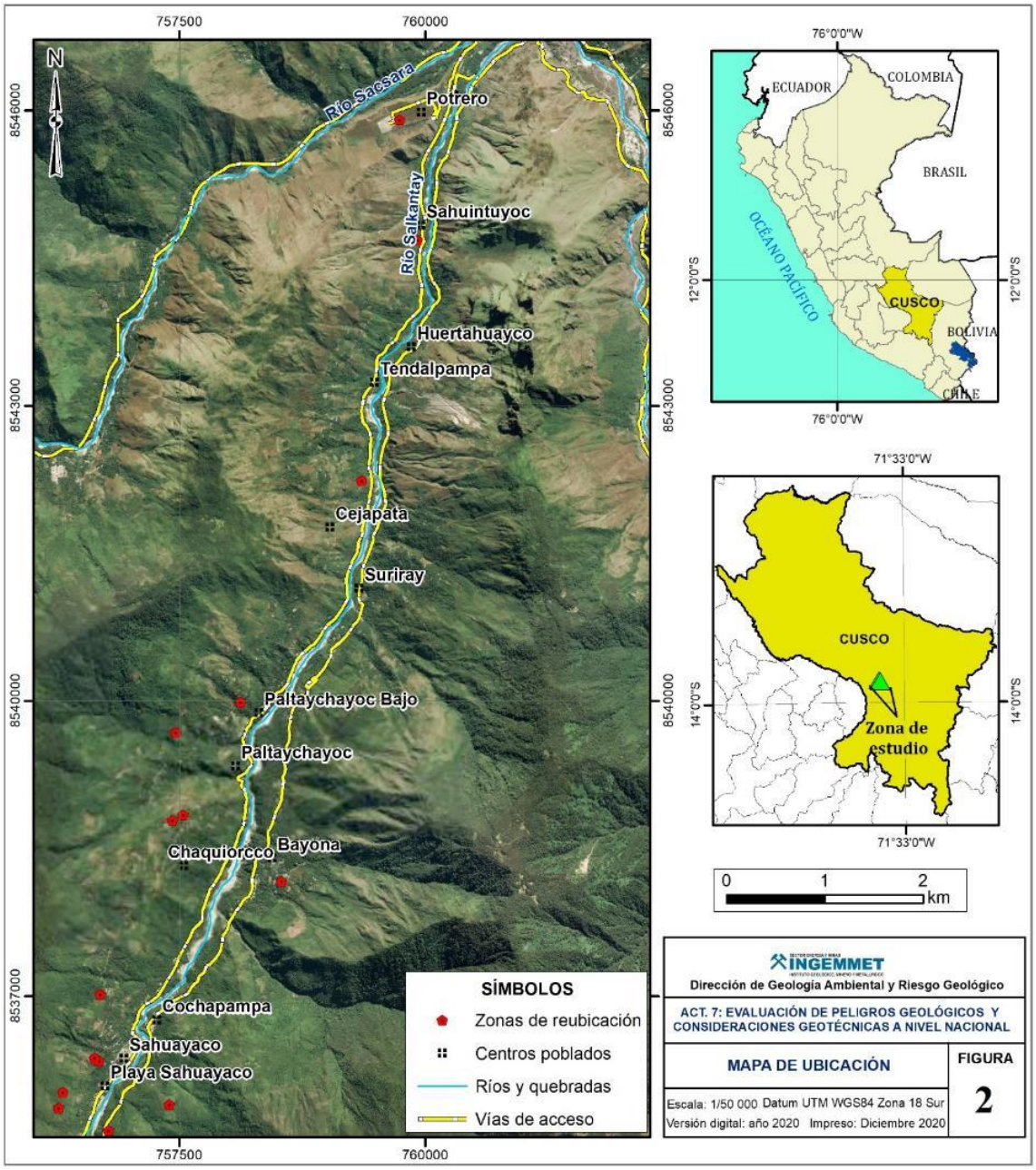


Figura 2. Mapa de ubicación de los nuevos terrenos propuestos como zonas de reasentamiento para los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el distrito de Santa Teresa.

1.3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a las zonas de reasentamiento, desde la ciudad del Cusco, se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos al distrito de Santa Teresa y localidades

Ruta	*Tipo de vía*	*Distancia (km)*	*Tiempo estimado*
Cusco – Santa María	Asfaltada	181	3 h 40 min
Santa María – Santa Teresa	Camino carrozable	23	50 minutos
Santa Teresa – Sahuayaco, Cochapampa, Chaquiorcco, Paltaychayoc, Bayona, Tendalpampa, Sahuintuyoc y Potrero	Camino carrozable (trocha)	15.8	30 minutos

1.3.3. CLIMA

Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Santa Teresa se caracteriza por presentar un clima templado de montaña con invierno (Cwb), con precipitación media anual de 664 mm, las máximas precipitaciones se presentan entre los meses de noviembre a marzo alcanzando un umbral de 1146 mm. La temperatura media anual es de 17. 6°C. Por las variaciones de altitud, relieve y clima en la zona predomina una densa vegetación arbustiva.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área se desarrolló en base a la revisión y actualización del cuadrángulo de Machupicchu (Arcos, 2019) y Quillabamba (Carlotto, et al., 1998), a escala 1/50 000 y 1/100 000 respectivamente, donde se tienen rocas metamórficas del Neoproterozoico al Paleozoico y principalmente depósitos Cuaternarios. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías y observaciones de campo.

La subcuenca del río Salkantay forma parte del sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba – Quimbiri, de dirección E-W. El eje del anticlinal atraviesa rocas metamórficas lo que hace que el sustrato esté muy fracturado y deleznable. En los sectores Paltaychayoc Alto y Chaquiorcco las fracturas muestran dos direcciones principales NE y SO. En consecuencia, se puede deducir que la mayor cantidad de fenómenos por movimientos en masa que se hallan en el eje del anticlinal, está en relación a la mayor deformación, lo que es un factor adicional a las pésimas características mecánicas que presentan las rocas del complejo Iscaybamba y el Grupo Ollantaytambo (Carlotto, 1999).

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores son de origen metamórfico, conformado principalmente por el Complejo Iscaybamba (NP-ci-mesq y NP-ci-mesq, cct) y el Grupo Ollantaytambo (CAOi-o-esq, cct, mlv y CAOi-o-mvl, mrl, cct, esq), los cuales se encuentran medianamente a muy fracturados y moderadamente meteorizados. Además, se tienen depósitos coluviales, aluviales, proluviales y fluviales, que se han acumulado desde el Pleistoceno hasta la actualidad (figura 3).

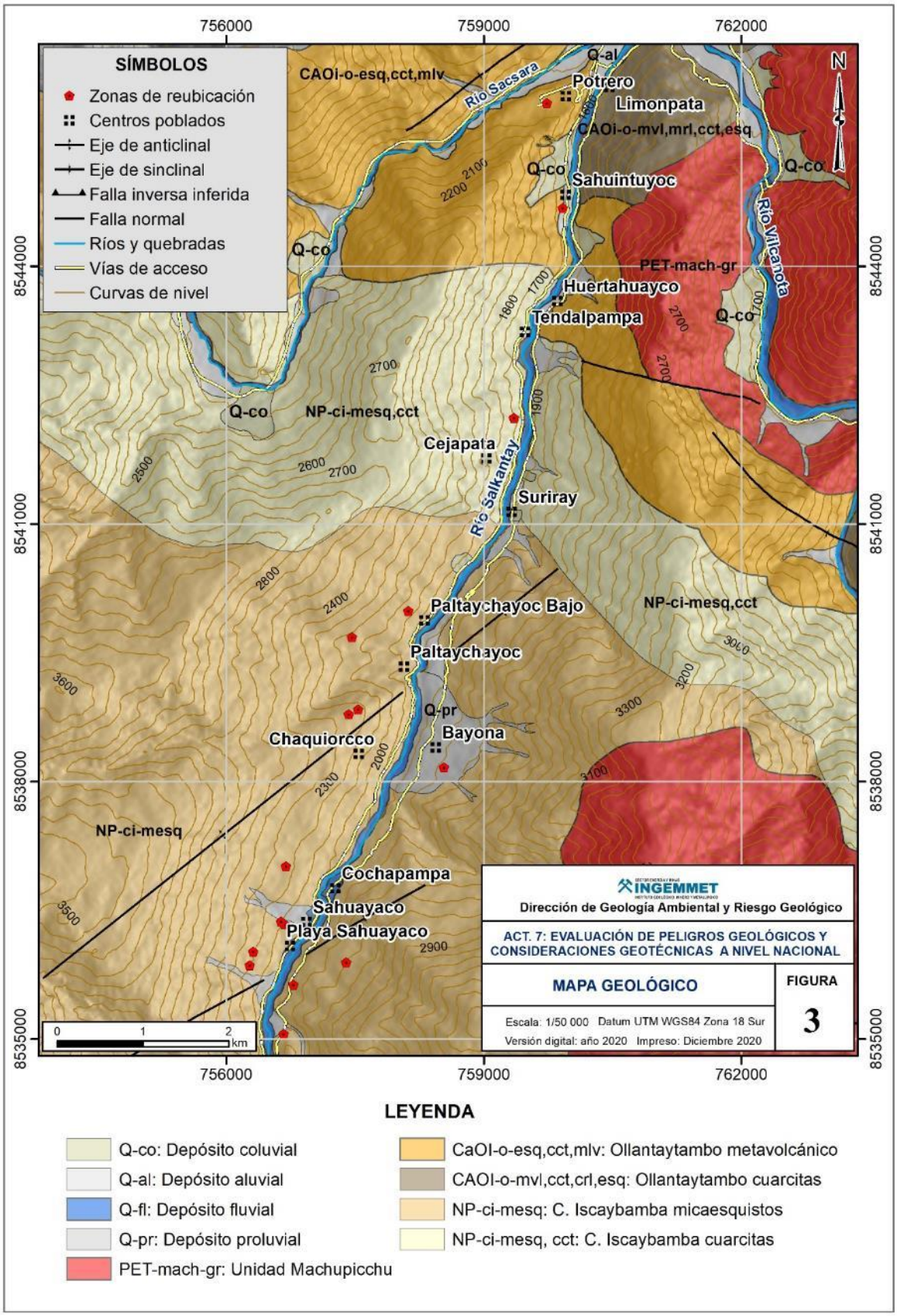


Figura 3. Mapa geológico de los nuevos terrenos propuestos como zonas de reasentamiento, para los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el distrito de Santa Teresa. Modificado de Carlotto, 1999.

2.1.1. COMPLEJO ISCAYBAMBA (NP-ci-mesq)

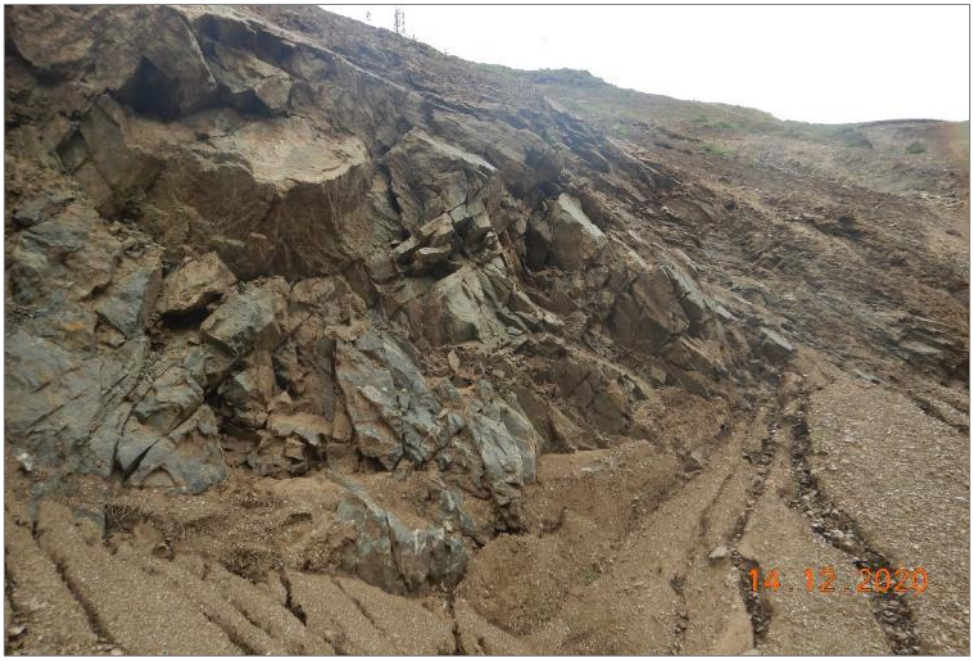
Aflora ampliamente en la parte media - alta de la subcuenca del río Salkantay, está conformado por cuarcitas blanquecinas intercaladas con pequeños niveles de micaesquistos, mármoles de textura granoblástica, gneis de textura granular y finalmente micaesquistos intercalados con pequeños niveles de hornfels y anfibolitas según los estudios de Carlotto (1999). A la altura del sector Paltaychayoc Alto se observó esquistos medianamente fracturados, con intrusiones de cuarzo y espaciamiento entre las fracturas de 0.1 a 0.3 m (figura 4). La dirección del fracturamiento principal presenta Rb: N75º y Bz: 74 NE.

El grado de fracturamiento ocasiona bloques sueltos con tamaños comprendidos entre 0.5 a 1 m, son de formas angulosas.

Figura 4. Vista al noroeste del sector Paltaychayoc Alto, esquistos medianamente fracturados, con intrusiones de cuarzo, correspondientes al Complejo Iscaybamba. Con coordenadas UTM (WGS 84): 7580200, 8540114, a 1555 m s.n.m.

2.1.2. GRUPO OLLANTAYTAMBO (CAOi-o)

Esta unidad aflora en la parte baja de la subcuenca del río Salkantay y al sureste de Santa Teresa. En la quebrada Silque, al noroeste del nevado Salkantay, Egeler y De Booy, (1961), indican la presencia de una asociación de fósiles de graptolitos que sugieren una edad Arenigiana, por consiguiente, es considerada del Cámbrico. En el nivel superior se observan pizarras y esquistos verdes, intercalados con bancos de cuarcitas. En el nuevo trazo del camino carrozable que conduce al sector Sahuayaco, y a la altura del sector Sahuintuyoc se observó esquistos moderadamente meteorizados y muy fracturados, con espaciamiento de fracturas que varía de 0.05 a 0.2 m (fotografía 1).



Fotografía 1. Vista de esquistos muy fracturados y moderadamente meteorizado en el nuevo trazo carretero (Sahuintuyoc) que conduce al sector Sahuayaco.

2.1.3. DEPÓSITO ALUVIAL (Q-al)

Se encuentran distribuidos en ambas márgenes del río Salkantay, conformado por bloques y gravas de rocas intrusivas y metamórficas, con diámetros que varían de 0.5 a 1.5 m, de formas subredondeados, inmersos en matriz areno – arcillosa, se encuentran medianamente compactadas. Representan antiguos niveles del curso del río referido (figura 5).

Figura 5. Vista de terraza aluvial, donde antiguamente se emplazaba el sector Tendalpampa, está conformado por bloques y gravas, envueltos por una matriz areno – arcillosa.

2.1.4. DEPÓSITO PROLUVIAL (Q-pr)

Se encuentran dispuestos en el fondo de los valles, conos deyectivos y en la confluencia de quebradas tributarios al curso del río Salkantay. Están conformados por bloques de rocas intrusivas y metamórficas, con diámetros que varían de 0.60 a 1 m, de formas subangulosos a subredondeados, inmersos en matriz arcillo - limoso y medianamente compactadas (fotografía 2).

Actualmente, parte del sector Sahuayaco se ubica sobre este depósito.

Fotografía 2. Vista al suroeste del sector Sahuayaco, depósitos proluviales, conformados por bloques heterométricos de rocas intrusivas y metamórficas, inmersos en matriz arcillo-limoso. Con coordenadas UTM (WGS 84): 756491 E, 8535610 N a 2122 m s.n.m.

2.1.5. DEPÓSITO COLUVIAL (Q-co)

Se localizan al pie de laderas de montañas modeladas en rocas intrusivas y metamórficas que circunscriben el río Salkantay, producto de caída de detritos y bloques de roca, están constituidos por bloques sueltos, de formas angulosas a subangulosas, de 0.5 a 2 m de diámetro (figura 6).

Figura 6. Vista de depósito coluvial a la altura del sector Paltaychayoc Alto, están constituidos por bloques sueltos de formas angulosos, producto de caída de rocas antiguas.

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 7, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde predominan laderas y estribaciones.

Las pendientes de los nuevos terrenos propuestos como zonas de reasentamiento son variables, en la base son llanos a inclinados (1°-5°), con cambio abrupto en las laderas, en su parte media son escarpados (> 45°) y en la parte alta varia de medias (15º-25º) a fuerte (25°-45°), ello facilita el escurrimiento superficial[1] y el arrastre del material suelto disponible en las laderas que circunscriben el río Salkantay.

[1] Generado por agua de lluvia

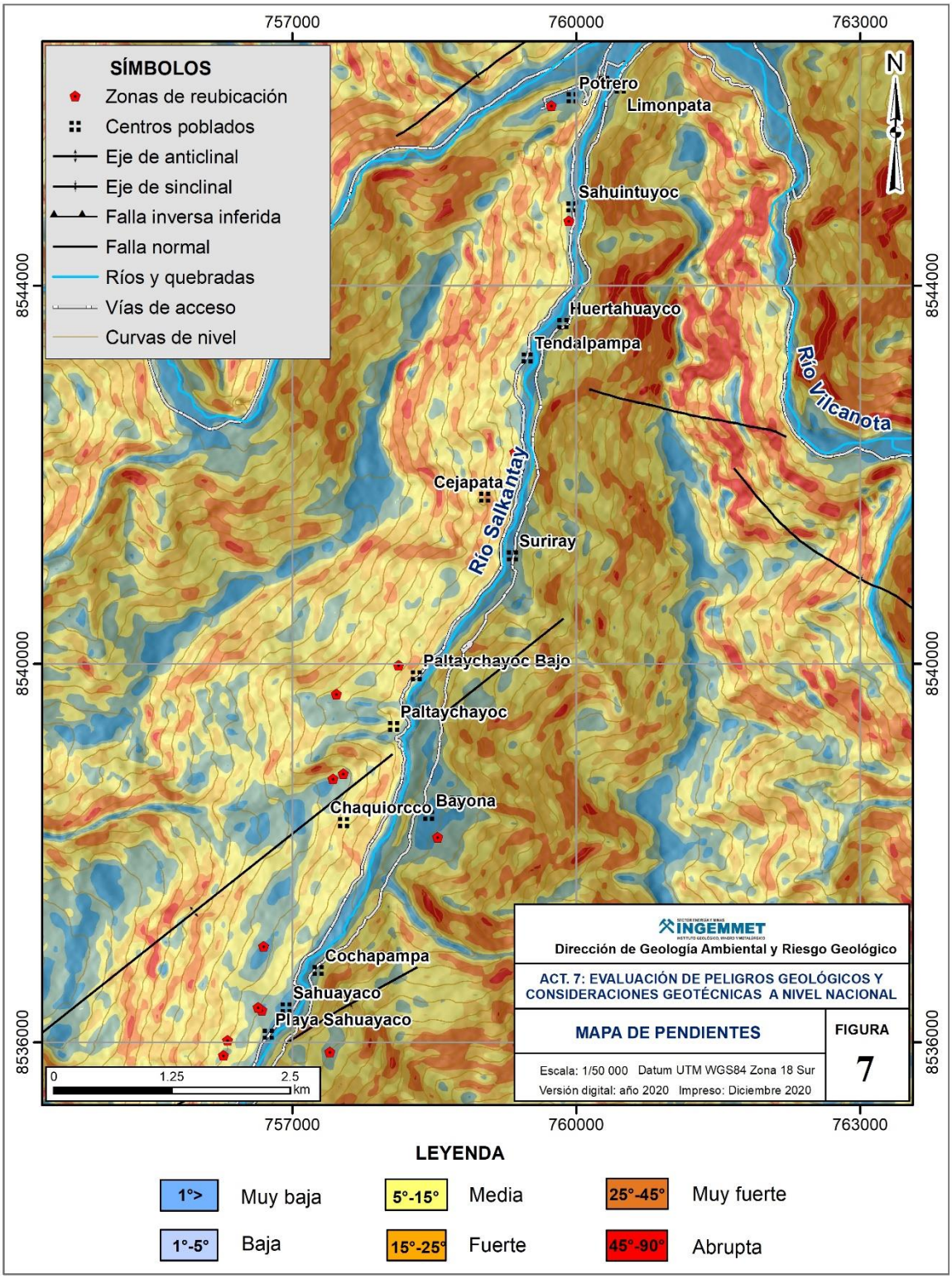


Figura 7. Mapa de pendientes de los nuevos terrenos propuestos como zonas de reasentamiento, para los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención, región Cusco.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, 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, diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de montañas en rocas metamórficas (RM-rm): En la subcuenca del río Salkantay están representadas por crestas y laderas muy empinadas a abruptas (fotografía 3), con pendientes que varían entre 25° a 45°, y con elevaciones que alcanzan los 5890 m s.n.m. (nevado Turcarhuay). Su forma está controlada por fallas y pliegues, generando que el sustrato rocoso se encuentre fracturado, plegado y alterado.

El grado de peligrosidad en esta subunidad está caracterizado por caídas, desprendimientos de roca y detritos.

Los sectores Tendalpampa, Cochapampa y Paltaychayoc se localizan sobre esta unidad geomorfológica.

Fotografía 3. Vista al suroeste del sector Sahuayaco, montañas modeladas en rocas metamórficas.

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. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, 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 (fotografía 4).

Debido a la erosión que generó el aluvión del 23/02/2020 en la margen derecha del río Salkantay se reactivó un deslizamiento rotacional y efecto viviendas del sector Lucmabamba.

Fotografía 4. Vista de la subunidad de depósito de deslizamiento (V-dd) en la margen derecha del río Salkantay. Con coordenadas UTM (WGS 84): 758196 E, 8538385 N a 1944 m s.n.m.

3.2.2.2. Subunidad de vertiente coluvio – deluvial (V-cd)

Corresponde a depósitos originados por procesos de movimientos en masa como derrumbes, avalanchas de rocas o movimientos complejos. Las laderas presentan pendientes que varían de media (15º - 25º) a fuerte (25° - 45º). Su composición litológica

es homogénea, constituida por bloques rocosos envueltos en matriz areno-arcillosa, son depósitos de corto recorrido (fotografía 5).

Su peligrosidad está caracterizada por la formación de deslizamientos, derrumbes y avalanchas producidas por el desgaste y la erosión de las rocas que en muchos casos se encuentran muy fracturadas y altamente meteorizadas (Concha, 2015).

Fotografía 5. Vista de la subunidad de vertiente coluvio deluvial (V-cd) en la margen derecha del río Salkantay. Con coordenadas UTM (WGS 84): 759663 E, 8543170 N a 1684 m s.n.m.

3.2.2.3. 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.

El material está conformado por bloques de naturaleza metamórfica, con diámetros de 0.60 cm en promedio, inmersos en matriz arcillo-limoso; estos son de formas subangulosos y se encuentran regularmente compactados. A lo largo del río Salkantay, las viviendas de diferentes sectores se emplazan sobre este tipo de geoforma, por ejemplo, Sahuayaco, Bayona y Lucmabamba.

3.2.2.4. Subunidad de terraza aluvial (T-al)

Son planicies con pendientes muy bajas (<5°), constituidas por una sucesión de abanicos aluviales que se superponen uno sobre otro y que descienden por las laderas de las montañas. Están constituidos por materiales inconsolidados, de gravas, limos y arenas. Estos depósitos se originan en tiempos de intensas precipitaciones pluviales y variación climática, como el fenómeno ENSO (Concha, 2015). Anteriormente, el sector Playa Sahuayaco se encontraba ubicado sobre esta geoforma.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS TERRENOS DE REASENTAMIENTO

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, flujos (flujos de detritos o huaicos) y caídas (derrumbes) antiguas (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial – subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como "desencadenantes" de estos eventos las lluvias periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Debido a los procesos por movimientos en masa (representada por derrumbes, deslizamientos, flujo de detritos y erosión de ladera en cárcavas antiguos) ocurridos en la subcuenca del río Salkantay, los nuevos terrenos propuestos para el reasentamiento poblacional presentan una configuración morfológica accidentada y abrupta (anexo 1).

4.2. Zonificación por sectores

Para un mejor análisis y entendimiento de la caracterización geológica de los nuevos terrenos propuestos para el reasentamiento poblacional de los poblados afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el distrito de Santa Teresa, se describirá por sectores.

4.2.1. Sector Sahuayaco

Dentro de este sector se evaluó 6 polígonos propuestos como zonas de acogida, los cuales se encuentran en la margen izquierda del rio Salkantay, en las coordenadas siguientes (cuadro 3 y figura 8).

Cuadro 3. Coordenadas de las áreas propuestos

N°	*UTM - WGS84 - Zona 18L*			*Nombre*
	Este	*Norte*	*Altura*	
1	756263	8535860	2258	Damnificados Sahuayaco 1
2	756310	8535916	2289	Damnificados Sahuayaco 2
3	756334	8535985	2255	Institución Educativa
4	756672	8536342	2305	Saul Troncos Loayza
5	756648	8536364	2164	Luz Marina Pereira Molina
6	756699	8537021	2153	Leyvi Pérez Holgado

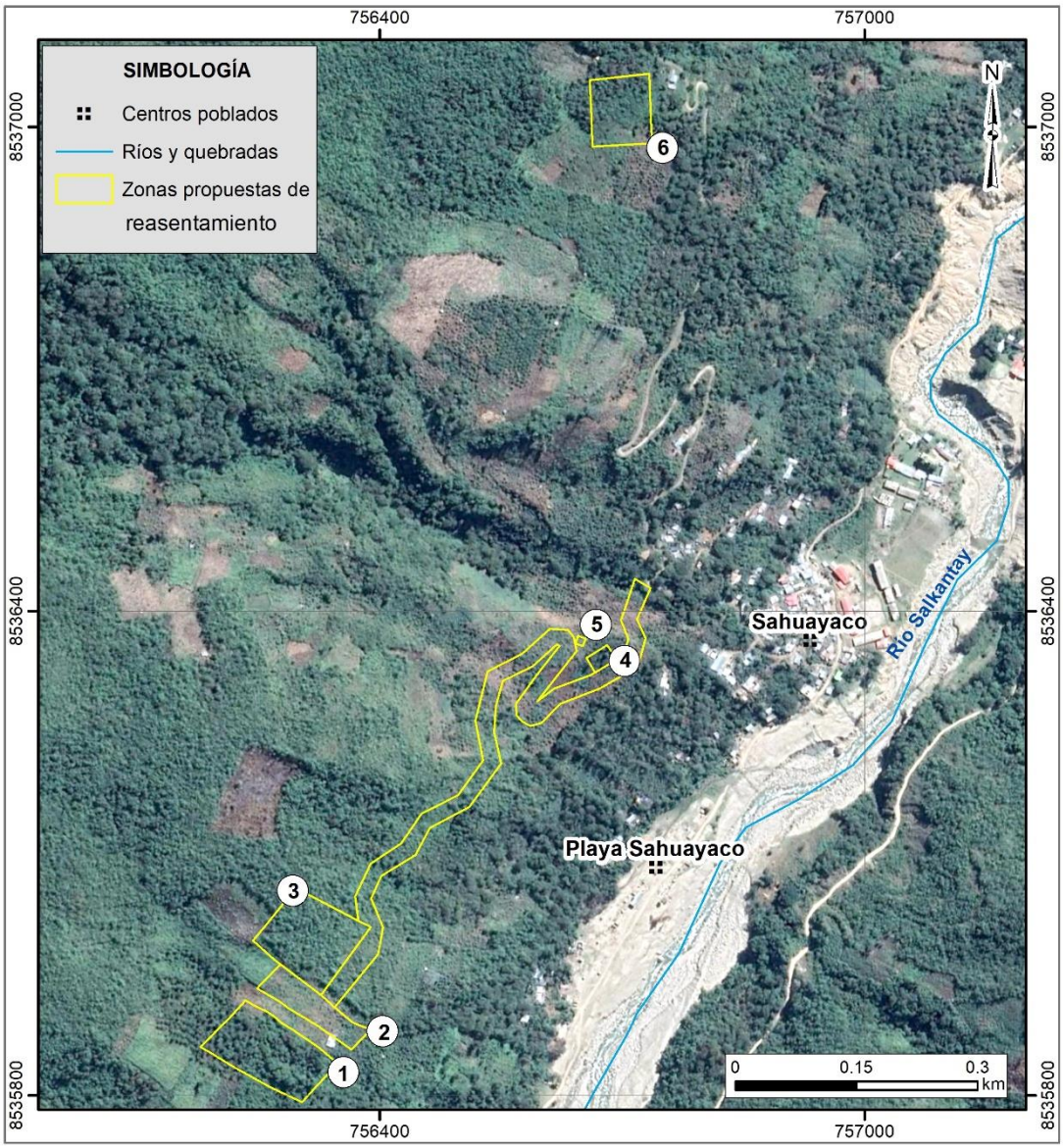


Figura 8. Vista de los polígonos propuestos como zonas de reasentamiento para el sector Sahuayaco y Playa Sahuayaco, afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el distrito de Santa Teresa.

En este sector aflora el Complejo Iscaybamba, conformado por mica esquistos de edad cámbrica a ordovícica basal, el cual se encuentra muy fracturado y moderadamente meteorizado. Además, se observó depósitos coluviales, producto de caídas antiguas, los cuales se encuentran adosados a las laderas, están compuestos por bloques con tamaños que varían de 0.5 a 2 m, de formas angulosas envueltos en una matriz areno – arcillosa, son de fácil remoción - erosión.

Geomorfológicamente se ubican en la subunidad de ladera de montaña metamórfica, con pendientes que varían de bajas (5° – 15°) a media (15° - 25°).

Los polígonos denominados Damnificados Sahuayaco 1, Damnificados Sahuayaco 2, Institución educativa, Saul Troncos Loayza y Luz Marina Pereira Molina se encuentran sobre **depósitos de deslizamientos antiguos**, con presencia de bloques con diámetros de hasta 2 m y con más del 50 % del cuerpo cubierto por suelo. Cabe mencionar que, entre estos polígonos se aprecia un cauce intermitente, además, aproximadamente a 64 m del terreno se observó un ojo de agua, con flujo variable en el año (figuras 9, 10, 11, 12 y 13).

Por ser parte de un deslizamiento antiguo este terreno puede reactivarse ante un movimiento sísmico o lluvias excepcionales, **por lo cual se considera como inestable**.

Figura 9. Vista de la zona Damnificados Sahuayaco, en el corte de talud para la instalación de las viviendas se observó bloques de rocas de hasta 1.5 m de diámetro.

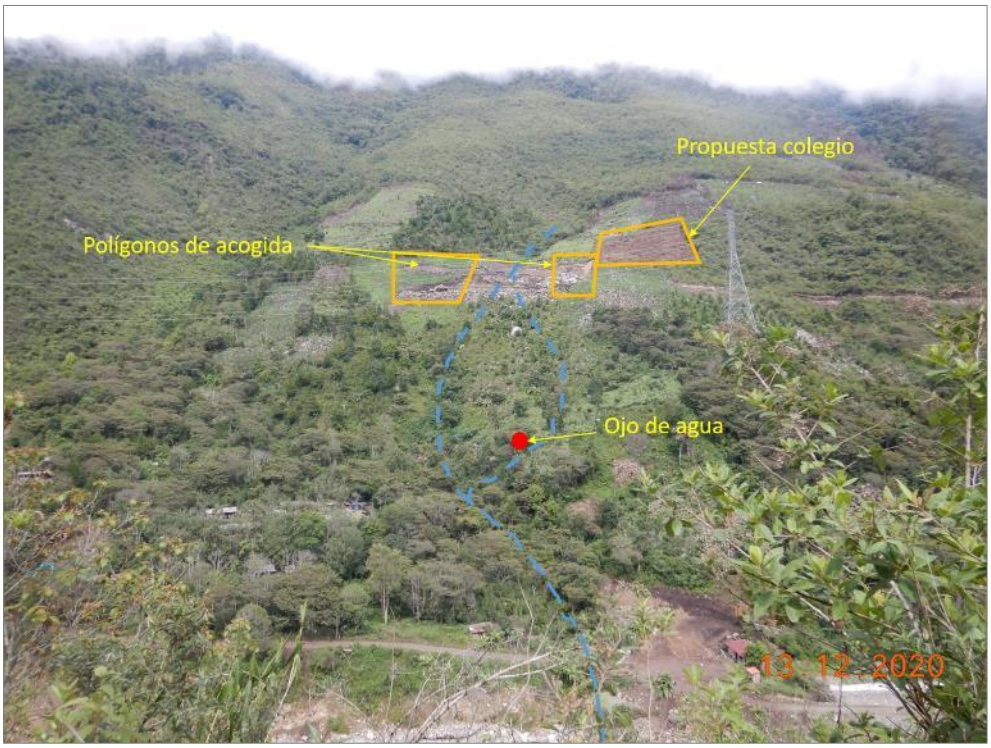


Figura 10. Vista del polígono Damnificados Sahuayaco 1 y 2 y la propuesta de la Institución Educativa, en la parte media se aprecia marcas de un cauce intermitente y en la parte baja un ojo de agua. Coordenadas UTM (WGS 84): 756331 E, 8535868 N a 2239 m s.n.m.

Figura 11. Vista de captación de ojo de agua para el consumo humano. Con coordenadas UTM (WGS84): 756405 E, 8535801 N, a 2186 m s.n.m.

Figura 12. Vista de los polígonos denominados Luz María Pereira y Saul Troncoso con pendientes medias (15º-25º) del terreno y bloques caídos.

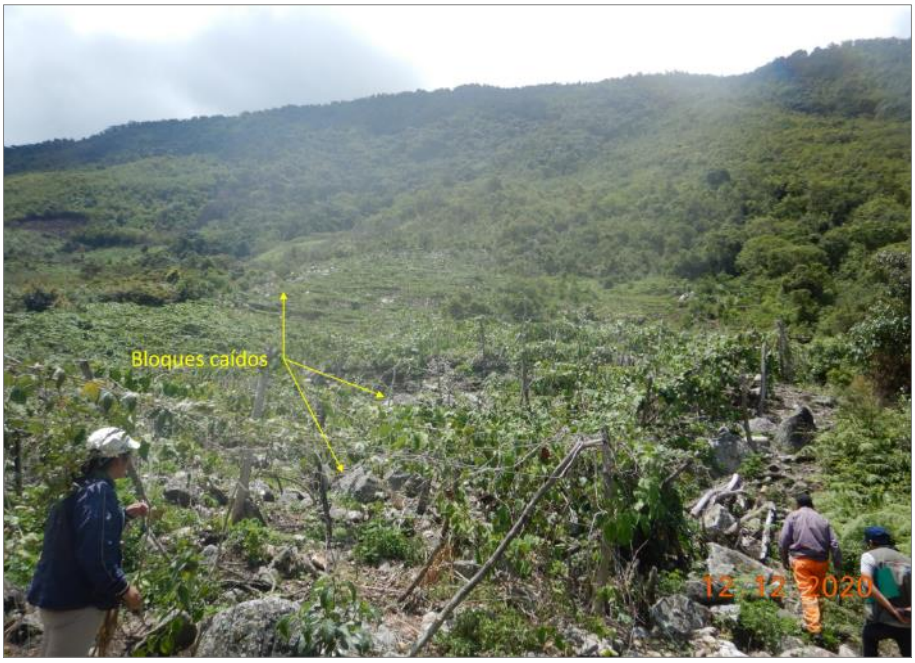


Figura 13. Vista del polígono denominado Leyvi Pérez con pendientes del terreno que varían entre 10° y 15°, además se observó bloques caídos. Con coordenadas UTM (WGS84): 756694 E, 8537020 N a 2284 m s.n.m.

4.2.2. **Sector Cochapampa**

Dentro de este sector se evaluó 3 polígonos, los cuales se ubican al sur este del centro poblado Cochapampa, en la margen derecha del río Salkantay y sobre ladera de montaña metamórfica, en las coordenadas siguientes (cuadro 4).

Cuadro 4. Coordenadas de las áreas propuestos

N°	*UTM - WGS84 - Zona 18L*			*Nombre*
	Este	*Norte*	*Altura* m s.n.m.	
1	757396	8535892	2365	Damnificados Cochapampa
2	756664	8535063	2168	Alipio Moncada Rodas
3	756767	8535631	2181	Honorata Palermo Canela

En este sector afloran rocas metamórficas del Complejo Iscaybamba conformado por mica esquistos, estas se encuentran poco a medianamente fracturados, este último origina bloques sueltos con diámetros comprendidos entre 0.4 a 1.5 m, de formas angulosas. Estos procesos dieron origen a los depósitos coluviales que se encuentran adosados a las laderas.

Geomorfológicamente se ubican en la subunidad de ladera de montaña metamórfica con pendientes medias (15° - 25°).

Al noroeste del polígono Damnificados Cochapampa se observó una escarpa de deslizamiento antiguo de dirección N 8°. Así mismo, al pie de la ladera, aproximadamente a 230 m del terreno de acogida se identificó un deslizamiento con escarpa de forma semicircular y una distancia de 145 m entre la escarpa y pie del deslizamiento. Afectó 80 m aproximadamente de tramo carretero.

Por otro lado, en la zona de acogida se observó poca presencia de bloques caídos (eventos antiguos) (figuras 14, 15 y fotografía 6).

Para ser considerada como zona apta se debe estabilizar la ladera, primero desatar todos los bloques sueltos que se encuentran en la ladera, en segundo lugar, estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas y arborizar la ladera desprovista de vegetación.

Figura 14. Vista panorámica del polígono denominado Damnificados Cochapampa.

Figura 15. Vista del polígono denominado Damnificados Cochapampa con pendientes del terreno que varían de 15º-25°, además se apreció pocos bloques caídos, de eventos antiguos. Con coordenadas UTM (WGS84): 757391 E, 8535901 N a 2342 m s.n.m.

Fotografía 6. Vista del polígono denominado Alipio Moncada, con pendiente baja (5º-15º) del terreno.

4.2.3. **Sector Chaquiorcco**

Dentro de este sector se evaluó 2 polígonos, los cuales se encuentran en la margen izquierda del río Salkantay, sobre ladera de montaña metamórfica, en las coordenadas siguientes (cuadro 5).

Cuadro 5. Coordenadas de las áreas propuestos

N°	*UTM - WGS84 - Zona 18L*			*Nombre*
	Este	*Norte*	*Altura* m s.n.m.	
1	757538	8538834	2285	Juaney Candia Salas
2	757416	8538781	2321	Propuesta Colegio

La unidad litoestratigráfica del sector está compuesta por mica esquistos del Complejo Iscaybamba, este se encuentra ligeramente meteorizado y medianamente fracturado, ello origina bloques de formas angulosas con diámetros hasta 0.5 m. Además, se tienen depósitos coluviales adosados a las laderas, compuestos por bloques heterométricos, con diámetros que varían de 0.5 a 1.3 m, de formas subangulosas, inmersos en escasa matriz areno arcillosa, son de fácil erosión - remoción.

Geomorfológicamente se ubican en la subunidad de ladera de montaña metamórfica con pendientes medias (15° - 25°).

En los polígonos denominados Juaney Candia Salas y Propuesta colegio se observó bloques caídos originados por procesos de movimientos en masa antiguos, con diámetros que varían de 0.5 a 1.3 m. Además, se observó un afloramiento rocoso, el fracturamiento principal presenta Rb: N303° y Bz: 61°NE (fotografía 7 y 8).

Para ser considerada como zona apta se debe estabilizar la ladera, primero desatar los bloques sueltos que se encuentran en la ladera, en segundo lugar, estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas y finalmente arborizar la ladera desprovista de vegetación.

Fotografía 7. Vista del polígono denominado Juaney Candia con pendientes del terreno de hasta 19°. Con coordenadas UTM (WGS84): 757537 E, 8538832 N a 2280 m s.n.m.

Fotografía 8. Vista al suroeste del sector Chaquiorcco, afloramiento rocoso medianamente fracturado del Complejo Iscaybamba compuesto por mica esquistos.

4.2.4. **Sector Paltaychayoc Alto**

Dentro de este sector se evaluó 2 polígonos, los cuales se encuentran en la margen derecha del rio Salkantay, sobre ladera de montaña metamórfica, en las coordenadas siguientes (cuadro 6).

Cuadro 6. Coordenadas de las áreas propuestos

N°	*UTM - WGS84 - Zona 18L*			*Nombre*
	Este	*Norte*	*Altura* m s.n.m.	
1	758122	8539991	1999	Alfredo Pérez Baca
2	757469	8539690	2144	Carrasco Pando

La unidad litoestratigráfica del sector está compuesta por mica esquistos del Complejo Iscaybamba, la cual se encuentra medianamente fracturada y moderadamente meteorizada. Además, depósitos recientes adosados a las laderas y compuestas por bloques con diámetros que varían de 0.4 a 1.8 m, inmersos en una matriz arcillosa, son de fácil erosión - remoción.

Geomorfológicamente se ubican en la subunidad de ladera de montaña metamórfica con pendientes que varían de bajas (5° - 15°) a medias (15° - 25°).

En los polígonos denominados Alfredo Pérez Baca y Carrasco Pando se observaron bloques caídos de eventos antiguos, con diámetros hasta de 0.6 m. Cabe mencionar que ambos terrenos se ubican sobre afloramiento rocoso (fotografía 9 y figura 16).

Para ser considerada habitable, primero se debe implementar sistemas de drenaje, estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas y arborizar la ladera desprovista de vegetación.

Fotografía 9. Vista del polígono denominado Carrasco Pando con pendientes del terreno de 14°, además se aprecian bloques caídos. Con coordenadas UTM (WGS84): 757467 E, 8539689 N a 2150 m s.n.m.

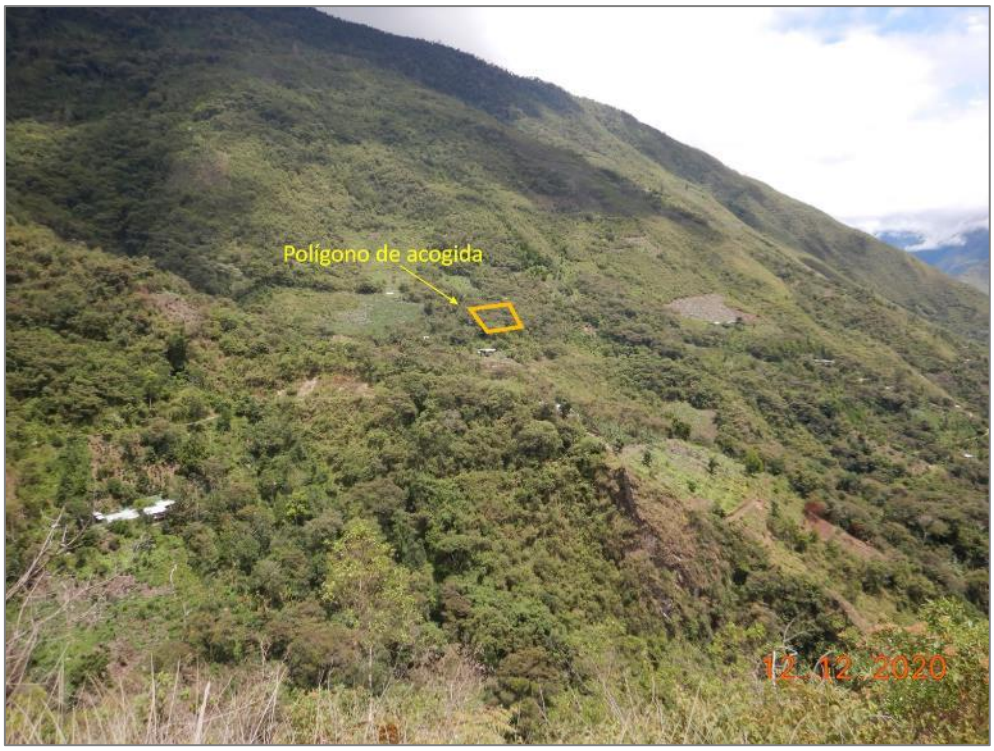


Figura 16. Vista panorámica del polígono denominado Carrasco Pando.

4.2.5. **Sector Bayona**

El polígono denominado Casiano Álvarez se encuentra en el sector Bayona, en la margen derecha del río Salkantay, aproximadamente a 70 m de altura con respecto a la base del río referido y a 300 m de distancia del cauce de la quebrada que confluye al río referido, en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 S): 758534 E, 8538166 S a 2077 m s.n.m.

El terreno se ubica sobre un depósito proluvial antiguo, está conformado por bloques heterométricos de rocas intrusivas y metamórficas, con diámetro de hasta 1 m, inmersos en matriz arcillosa (fotografía 10).

Presenta una pendiente que varía de baja (5° - 15º) a media (15° - 25º). Por otro lado, el suroeste el terreno esta circundada por montañas modeladas en rocas metamórficas, cuyas laderas presentan procesos de erosión de ladera antiguos. Actualmente, no se evidenció procesos de remoción en masa activos.

Para este terreno, antes de ser habilitado se debe realizar un tratamiento integral en las zonas de carcavamiento (reforestación, sistemas de drenajes, estructuras disipadoras de energía), ubicada al suroeste del terreno de reasentamiento).

Fotografía 10. Vista del terreno de reasentamiento ubicado en el sector Bayona. Con coordenadas UTM (WGS84): 758532 E, 8538163 N a 2074 m s.n.m.

4.2.6. **Sector Tendalpampa**

El polígono denominado Dorotea Quispe, se encuentra en el sector Tendalpampa, en la margen izquierda del río Salkantay, en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 S): 759376 E, 8542241 S a 1750 m s.n.m,

Desde el punto de vista geomorfológico se encuentra en ladera de montaña modelada en roca metamórfica, conformado por esquistos medianamente fracturados y moderadamente meteorizados del Complejo Iscaybamba, cubiertos por depósitos coluviales, los cuales se encuentran adosados a las laderas y están compuestos por bloques de formas subangulosas, con diámetro de hasta 1 m producto de caídas antiguas. Presenta una pendiente que varía de fuerte (15° - 25º) a muy fuerte (25° - 45º).

Al pie de la ladera se observó erosión fluvial, debido al proceso erosivo que generó el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay. En ese punto erosionó 15 m aproximadamente[2] de la margen izquierda.

Para ser habitada se debe estabilizar la ladera que lo circunda, primero desatar todos los bloques sueltos que se encuentran en la ladera, en segundo lugar, estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas y arborizar las laderas desprovistas de vegetación. Así mismo, realizar estudios de estabilidad de taludes, en caso se realicen modificaciones en la ladera (cortes para la construcción de viviendas).

[2] Fuente: Información tomada del Google Earth

4.2.7. **Sector Sahuintuyoc**

El polígono denominado Norma Pérez se encuentra en el sector Sahuintuyoc, en la margen izquierda y a 90 m de distancia del cauce del río Salkantay, en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 S): 759919 E, 8544680 S a 1619 m s.n.m.

Este terreno se encuentra sobre una terraza aluvial (fotografía 11), conformado por bloques y gravas de rocas intrusivas en su mayoría, envueltos en matriz areno – arcillosa. Presenta pendiente baja (5º a 10º). Además, se encuentra circundada por montañas modeladas en roca metamórfica, conformado por esquistos y micaesquistos, cuyas laderas presentan una pendiente que varía de media (20º) a fuerte (45º). Actualmente, en la ladera oeste que circunscribe dicho terreno, no se observó procesos por movimientos en masa recientes.

Al noroeste y a 200 m aproximadamente del terreno se identificó una cárcava, con 80 m de ancho y 20 m de profundidad, donde en temporada lluviosa acarrea material suelto y genera flujo de detritos. Además, el corte de talud realizado para el trazo del camino carrozable que conduce al sector Sahuayaco y pueblos aledaños, desestabilizó la ladera generando derrumbes (figura 17) y deslizamientos. El material de desmonte (material suelto, de fácil remoción - erosión) vertido en la zona de carcavamiento podría desencadenar un huaico en temporada de lluvias intensas.

Para ser habitada se debe realizar un tratamiento integral en las zonas de carcavamiento (reforestación, sistemas de drenajes, estructuras disipadoras de energía), ubicada al suroeste del terreno de reasentamiento). Así mismo, realizar estudios de estabilidad de taludes, en caso se realicen modificaciones en la ladera (cortes para la construcción de viviendas). Las medidas deben realizarse antes que se considere como zona apta para vivienda.

Fotografía 11. Vista del terreno denominado Normas Perez, ubicado en el sector Sahuintuyoc. Esta conformado por bloques y gravas de rocas intrusivas en su mayoría, envueltos en una matriz areno – arcillosa.

Figura 17. Zona de derrumbes debido al corte de talud realizado para el nuevo trazo del camino carrozable que conduce al sector Sahuayaco y pueblos aledaños. Con coordenadas UTM (WGS84): 759791 E, 8545143 N a 1687 m s.n.m.

4.2.8. **Sector Potrero**

Se encuentra sobre una meseta, con un desnivel de 100 m aproximadamente sobre el nivel del río Salkantay, en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 S): 759657 E, 8545887 S a 1682 m s.n.m.

La meseta está conformada por bloques de formas subangulosas a subredondeados, con diámetros que varían de 0.5 a 1 m, inmersos en matriz areno - limosa, presenta de regular a buena consolidación. Por el lado sur, la meseta esta circunscrita por montañas metamórficas, conformadas por esquistos, cuarcitas y meta volcánicos, correspondiente al Grupo Ollantaytambo. En los pies de las laderas se observó depósitos coluviales, desplazados por efecto de la gravedad, conformado por bloques angulosos, con diámetros que varían de 0.6 a 1.7 m, envueltos en una matriz areno – limosa, son de fácil erosión - remoción.

Las montañas modeladas en rocas metamórficas (fotografía 12), que circunscriben la meseta presentan pendientes que varían de media (20º) a fuerte (45º). La meseta presenta 5º de pendiente en promedio.

Por otro lado, en la zona se observó sistemas de drenaje, el cual intercepta y conduce adecuadamente las aguas de lluvia y evita su paso por el talud, además evita inundaciones.

Debido al corte de talud realizado en la ladera este de la meseta, para el acceso vial al sector El Potrero, se produjo pequeños derrumbes y deslizamientos (fotografía 13), este último presenta un escarpe de forma elongado-semicircular y una distancia de 32 m entre el escarpe y pie de deslizamiento. Además, se evidenció procesos de erosión de ladera en surcos.

Para ser habilitada se deben implementar canales de evacuación impermeabilizados de aguas pluviales y destinarlas a cauces de quebradas definidas naturalmente, la expansión urbana, debe realizarse dejando una distancia considerable como franja de seguridad, delimitada previo estudio de taludes, estabilizar las laderas verticalizadas de la meseta, con muros de contención contra caídas (derrumbes), reforzar los taludes inestables, para ello se debe implementar geomallas y finalmente reforestar las laderas desprovistas de vegetación.

Fotografía 12. Vista al sur del sector El Potrero, circundado por montañas metamórficas.

Fotografía 13. Vista del escarpe de un deslizamiento en la ladera sur de la meseta El Potrero, debido a los cortes de talud, coadyuvado por el material y la pendiente del terreno. Con coordenadas UTM (WGS84): 760224 E, 8546164 N a 1586 m s.n.m.

5. CONCLUSIONES

Para el sector Sahuayaco

A. El terreno denominado Leyvi Pérez Holgado, puede ser considerado como zona apta, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones.

B. Los terrenos propuestos como zonas de acogida en el sector Sahuayaco (Damnificados Sahuayaco 1, Damnificados Sahuayaco 2, Institución Educativa, Saul Troncos Loayza y Luz Marina Pereira Molina) son considerados **no aptos**, por ubicarse en el cuerpo de un deslizamiento antiguo y debido a la presencia de fallas geológicas.

C. Los peligros por movimientos en masa en el sector Sahuayaco están condicionados por los siguientes factores:

- Material de fácil erosión - remoción (depósito de deslizamiento y coluvial principalmente), conformado por bloques con diámetros que varían de 0.5 a 2 m, de formas subangulosos e inmersos en matriz areno-arcillosa.
- Substrato rocoso moderadamente meteorizados y muy fracturados debido a la incidencia de fallas geológicas, este último permite mayor infiltración y retención de agua en su cuerpo. Por lo cual se considera de mala calidad geotécnica.
- Laderas con inclinación que varían de 20º a 35º, consideradas como pendientes fuertes, este último facilita el escurrimiento de agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.
- Acción de las aguas de escorrentía y presencia de ojos de agua a 100 m aproximadamente del terreno propuesto para el reasentamiento poblacional, la circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren.

El factor desencadenante para la ocurrencia de deslizamientos, caídas (caída de rocas y derrumbes) son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo.

Para el sector Cochapampa

A. El terreno denominado Damnificados Cochapampa puede ser considerado como zonas apta, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones.

B. Al noroeste del polígono Damnificados Cochapampa se observó una escarpa de deslizamiento antiguo de dirección N 8°. Así mismo, al pie de la ladera se idéntico un deslizamiento con escarpe de forma semicircular, el cual afectó aproximadamente 80 m del tramo carretero.

A. Los peligros por movimientos en masa en el sector Cochapampa están condicionados por los siguientes factores:

- Materiales inconsolidados (depósito coluvial principalmente), conformado por bloques con diámetros de 1.5 m en promedio, de formas subangulosos, inmersos en escasa matriz areno-arcillosa.
- Substrato rocoso moderadamente meteorizados y medianamente fracturados, este último permite cierta infiltración y retención de agua en su cuerpo.
- Ladera con 19º de inclinación, considerada como pendiente media (15º-25º).

El factor desencadenante para la ocurrencia de deslizamientos, caídas (caída de rocas y derrumbes) son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo.

Para el sector Chaquiorcco

A. Los terrenos denominados Juaney Candia Salas y Propuesta Colegio, pueden ser considerados como zonas aptas, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones**.**

B. El terreno se ubica sobre substrato rocoso ligeramente meteorizado y medianamente fracturado debido a la incidencia de fallas geológicas, cubierto por materiales inconsolidados, de fácil erosión – remoción, conformado por bloques con diámetros que varían de 0.5 a 1.3 m, de formas subangulosas.

C. Ladera con inclinación de 12º a 20º, considerada como pendiente baja (5º-15º) a media (15º-25º), este último facilita el escurrimiento de agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

Para el sector Paltaychayoc Alto

A. Los terrenos denominados Alfredo Pérez Baca y Carrasco Pando pueden ser considerados como zonas aptas, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones.

B. En los dos terrenos propuesto como zonas de acogida se observaron bloques caídos, con diámetros que varían de 0.4 a 1.8 m, estos provienen de procesos de caída de rocas antiguas.

C. Los peligros por movimientos en masa en el sector Paltaychayoc Alto están condicionados por los siguientes factores:

- Material inconsolidado de fácil erosión - remoción, conformado por bloques con diámetros que varían de 0.4 a 1.8 m, de formas subangulosos, inmersos en matriz areno-arcillosa.
- Substrato rocoso medianamente fracturado y moderadamente meteorizado.
- El terreno denominado Alfredo Pérez presenta una inclinación de 14º y el terreno denominado Carrasco Pando presenta 30º, considerados como pendientes bajas (5º-15º) a fuertes (25° a 45°) respectivamente.

El factor desencadenante para la ocurrencia de caídas (caída de rocas y derrumbes) son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo.

Para el sector Bayona

A. El terreno denominado Casiano Alvarez puede ser considerado como zona apta, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones.

B. El terreno se ubica sobre un depósito proluvial antiguo, conformado por bloques heterométricos de rocas intrusivas y metamórficas, con diámetro de hasta 1 m, inmersos en matriz arcillosa.

C. Presenta una inclinación de 14º, considerada como pendiente baja (5° - 15º).

Para el sector Tendalpampa

A. El terreno denominado Dorotea Quispe puede ser considerado como zonas apta, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones.

B. El terreno se encuentra en ladera de roca metamórfica del Complejo Iscaybamba, conformado por esquistos medianamente fracturados y moderadamente meteorizada, cubiertos por depósitos coluviales, conformado por bloques de rocas subangulosas, con diámetro de hasta 1 m producto de caídas antiguas.

C. Presenta una pendiente que varía de fuerte (15° - 25º) a muy fuerte (25° - 45º).

D. Al pie de la ladera se observó erosión fluvial, debido al proceso erosivo que generó el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay. En ese punto erosionó aproximadamente 15 m de la margen izquierda.

Para el sector Sahuintuyoc

A. El terreno denominado Norma Perez puede ser considerado como zona apta, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones.

B. Este terreno se encuentra sobre una terraza aluvial, conformado por bloques y gravas de rocas intrusivas en su mayoría, envueltos en matriz areno – arcillosa.

C. El terreno presenta una inclinación que varía de 5º a 10º, considerada como pendiente baja (5º-15º).

D. Al noroeste y a 200 m aproximadamente del terreno se identificó una cárcava, con 80 m de ancho y 20 m de profundidad, donde en temporada lluviosa acarrea material suelto y genera flujo de detritos. Además, debido al corte de talud realizado para el trazo del camino carrozable que conduce al sector Sahuayaco se reactivó derrumbes y deslizamientos.

E. El material de desmonte (material suelto, de fácil remoción - erosión) vertido en la zona de carcavamiento podría desencadenar un huaico en temporada de lluvias intensas.

Para el sector Potrero

A. El terreno denominado Potrero puede ser considerado como zona apta, **si y solo si**, se implementan las medidas correctivas indicadas en las recomendaciones.

B. La meseta está conformada por bloques de formas subangulosas a subredondeados, con diámetros que varían de 0.5 a 1 m, inmersos en matriz areno limosa, se encuentra de medianamente a bien compactada.

C. Las montañas que circunscriben la meseta presentan laderas con pendientes medias (20º) a fuertes (45°), este último facilita el escurrimiento de agua de precipitación

pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas. La meseta presenta 5º de pendiente en promedio.

D. En el lado noreste de la meseta se observó derrumbes y la reactivación de un deslizamiento debido al corte de talud realizado para el acceso vial al sector El Potrero, ello afectó 38 m de tramo carretero. Además, se evidenció procesos de erosión de ladera en surcos.

6. RECOMENDACIONES

A. Realizar un estudio de suelos, para determinar el tipo de cimentaciones de las futuras viviendas e infraestructura en los sectores Sahuayaco (Leyvi Perez Holgado), Cochapampa (Damnificados Cochapampa, Alipio Moncada Rodas y Honorata Palermo Canela), Chaquiorcco (Juaney Candia Salas y Propuesta Colegio), Paltaychayoc Alto (Alfredo Pérez Baca y Carrasco Pando), Bayona (Casiano Alvarez), Tendalpampa (Dorotea Quispe), Sahuintuyoc (Normas Perez) y Potrero.
B. Todos los cortes de talud se deben realizar con una guia técnica y estudios previos, para no desestabilizar la ladera.
C. Los trabajos son integrales, por ningún motivo se deben habilitar estos terrenos sino se han realizado todas las medidas correctivas indicadas en este informe (anexo 3).

Para el sector Sahuayaco

A. En el terreno denominado Leyvi Perez Holgado, se recomienda implementar sistemas de drenaje para derivar de aguas pluviales a los cauces de quebradas definidas naturalmente.
B. Con personal técnico capacitado desatar los bloques sueltos que se encuentran en la ladera, como también estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas.
C. Reforestar las zonas circundantes y desprovistas de vegetación del terreno de acogida y prohibir la tala de árboles.

Para el sector Cochapampa

A. Se recomienda realizar sistemas de drenaje de aguas pluviales y destinarlas a cauces de quebradas definidas naturalmente.
B. Con personal técnico capacitado desatar los bloques sueltos que se encuentran en la ladera, como también estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas.
C. Reforestar las zonas circundantes y desprovistas de vegetación del terreno de acogida y prohibir la tala de árboles.
D. Para el asentamiento en el terreno denominado Damnificados Cochapampa, se debe emplear muros de sostenimiento, al pie de ladera, con el fin de estabilizar el talud.
E. Para el asentamiento en el terreno denominado Honorata Palermo, restringir el uso de terreno de cultivo, en la zona superior a las futuras viviendas. Además, evitar cortes de talud en el área de influencia.

Para el sector Chaquiorcco

A. Implementar sistemas de drenaje de aguas pluviales y destinarlas a cauces de quebradas definidas naturalmente.
B. Con personal técnico capacitado desatar los bloques sueltos que se encuentran en la ladera como también estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas.
C. Reforestar las zonas circundantes y desprovistas de vegetación del terreno de acogida y prohibir la tala de árboles.
D. Realizar estudios de estabilidad de taludes, en caso se realicen modificaciones en la ladera (cortes para la construcción de viviendas).

Para el sector Paltaychayoc Alto

A. Implementar sistemas de drenaje de aguas pluviales y destinarlas a cauces de quebradas definidas naturalmente.

B. Con personal técnico capacitado desatar los bloques sueltos que se encuentran en la ladera, como también estabilizar la fuente de origen de la caída de rocas.
C. Reforestar las zonas circundantes y desprovistas de vegetación del terreno de acogida y prohibir la tala de árboles.

Para el sector Sahuintuyoc

A. Implementar sistemas de drenaje de aguas pluviales y destinarlas a cauces de quebradas definidas naturalmente.
B. En el nuevo trazo (camino o trocha carrozable) de acceso al sector Sahuayaco y pueblos aledaños se deben realizar estudios de estabilidad de taludes para evitar derrumbes, caída de rocas o reactivación de deslizamientos.
C. Realizar un tratamiento integral de la cárcava (reforestación, sistemas de drenajes, estructuras disipadoras de energía), ubicada al noroeste del terreno de reasentamiento.
D. Realizar estudios de estabilidad de taludes, en caso se realicen modificaciones en la ladera (cortes para la construcción de viviendas).
E. Implementar sistemas de defensa ribereña en el río Salkantay, en el tramo que comprende el terreno del sector Sahuintuyoc.

Para el sector El Potrero:

A. Implementar sistemas de drenaje de aguas pluviales y destinarlas a cauces de quebradas definidas naturalmente.
B. La expansión urbana en el sector El Potrero, debe realizarse dejando una distancia considerable como franja de seguridad, delimitada por un estudio de taludes.
C. Para estabilizar las laderas verticalizadas de la meseta, se debe implementar muros de contención contra caídas (derrumbes).
D. Para el reforzamiento de los taludes inestables se debe implementar geomallas, para ello se necesita el asesoramiento de un especialista probado en el tema.
E. Reforestar las laderas desprovistas de vegetación, con el fin de estabilizar las laderas.

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

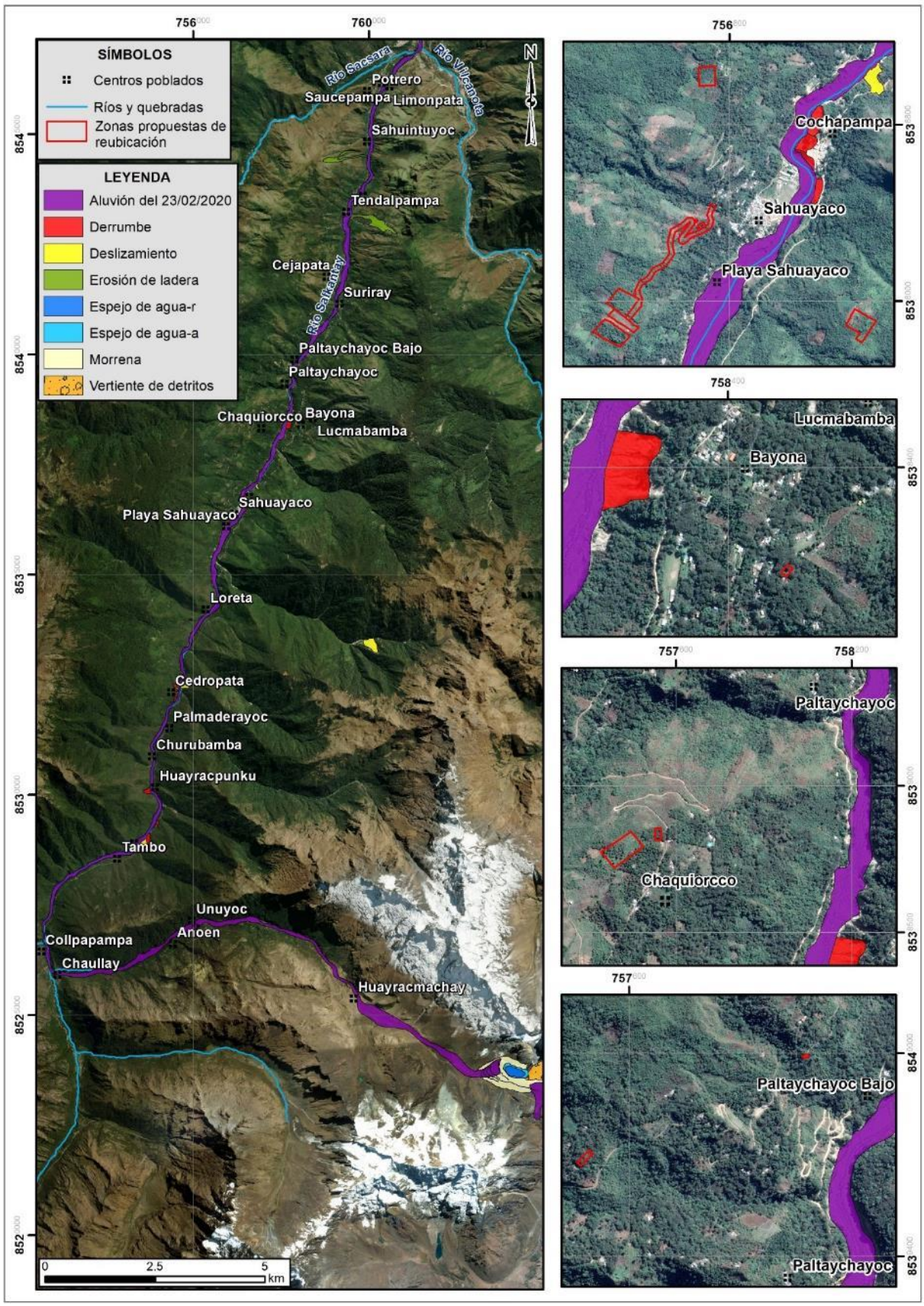
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

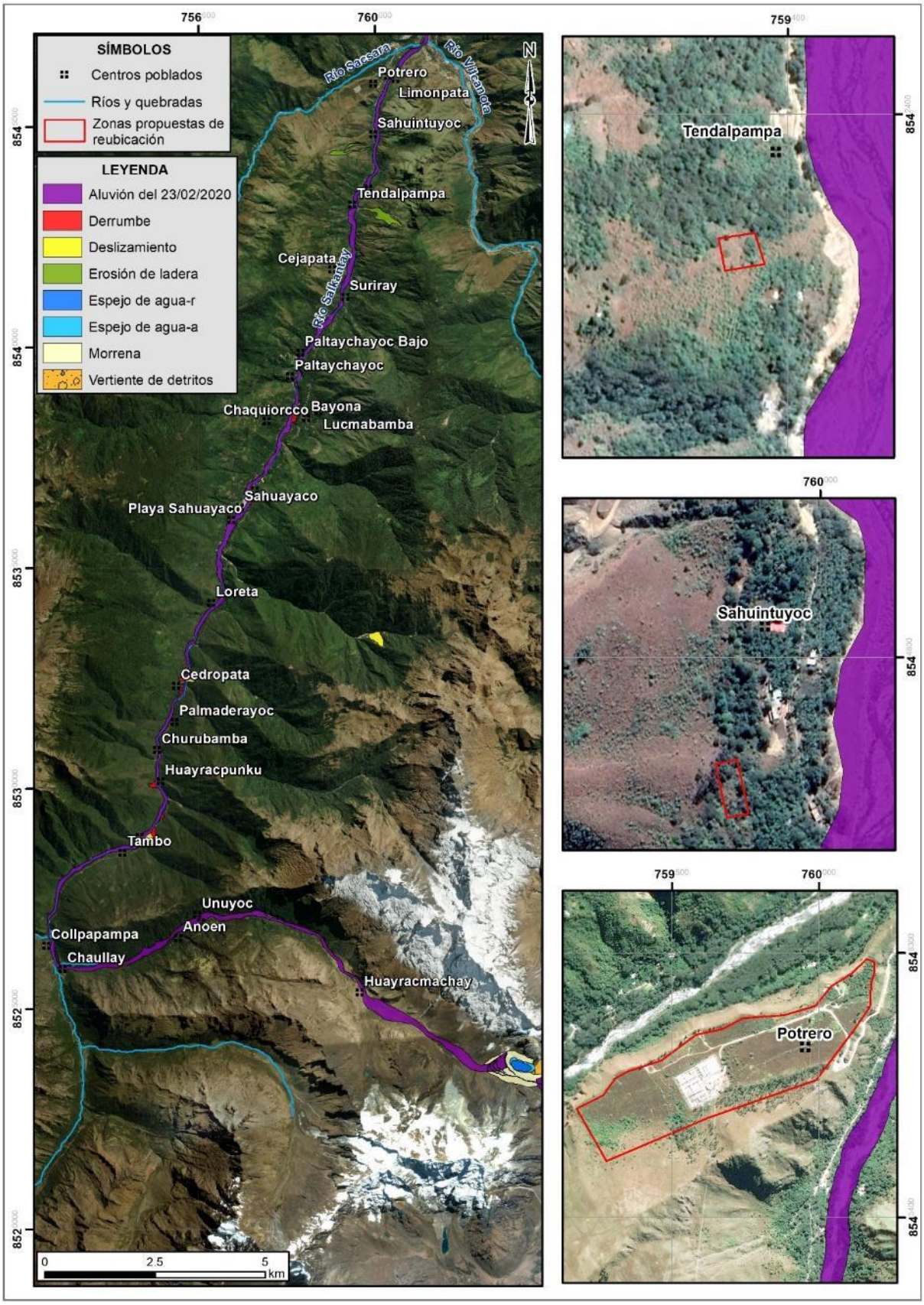
7. BIBLIOGRAFÍA

- Carlotto, V., Cárdenas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas.
- Carlotto, V., Cárdenas, J., Valderrama, P., fidel, L. (2008) – Geología, geodinámica y estabilidad de taludes de la quebrada Chingo Grande. INGEMMET. Informe técnico: 51, 7p.
- Choquenaira, G (2020). Inspección geológica y geodinámica en la laguna Salkantaycocha – Primer reporte. Informe técnico N° A7027. INGEMMET.
- Choquenaira, G (2020). Evaluación del impacto ocasionado por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay. Informe técnico N° A7063. INGEMMET.
- Choquenaira, G (2020). Evaluación geológica y geodinámica en los terrenos de reubicación, para los sectores afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay. Informe técnico N° A7085. INGEMMET.
- Choquenaira, G (2020). Evaluación geológica en las nuevas zonas de reubicación para los poblados afectados por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay – Informe complementario. Opinión técnica N° 001-2020. INGEMMET.
- Choquenaira, G (2020). Evaluación del impacto ocasionado por el aluvión del 23/02/2020 en el río Salkantay. Informe técnico Nª A7063. INGEMMET.
- 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, Transportatión researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- González, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, 732 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja Nº 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 28, 373 p.
- 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.
- Shruthi, R. B. V., Kerle, N., & Jetten, V. G. (2011) - Object - based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. Geomorphology, 134(3-4), 260-268. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.
- Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.

- Vílchez, M. & Sosa, N. (2015) – Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco. Informe técnico geología ambiental. INGEMMET, 100 p.
- Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingenieria Geológica, 74, 155 p.

ANEXO 1: MAPAS




SÍMBOLOS
Centros poblados
Ríos y quebradas
Zonas propuestas de reubicación
LEYENDA
Aluvión del 23/02/2020
Derrumbe
Deslizamiento
Erosión de ladera
Espejo de agua-r
Espejo de agua-a
Morrena
Vertiente de detritos
Río Sarsana
Río Villanota
Río Salkantay
Potrero
Limonpata
Sahuintuyoc
Tendalpampa
Cejapata
Suriray
Paltaychayoc Bajo
Paltaychayoc
Chaquiorcco
Bayona
Lucmabamba
Sahuayaco
Playa Sahuayaco
Loreta
Cedropata
Palmaderayoc
Churubamba
Huayracpunku
Tambo
Unuyoc
Anoen
Collpapampa
Chaullay
Huayracmachay
0
2.5
5
km
N
Tendalpampa
Sahuintuyoc
Potrero

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:

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.

CAIDA (landslide) Término común para referirse a diversos tipos de movimientos en masa, particularmente caídas y deslizamientos. En Perú se utiliza este término para diferenciar un tipo de caída. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (figura 18). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5 × 101 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

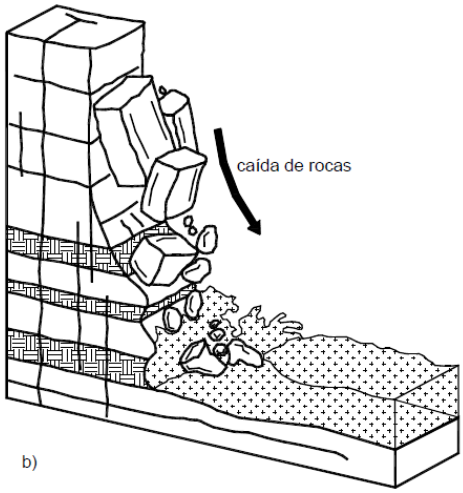


Figura 18. Esquema de caída de rocas. Fuente Suárez (1998).

DESLIZAMIENTO (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra (figura 19), 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).

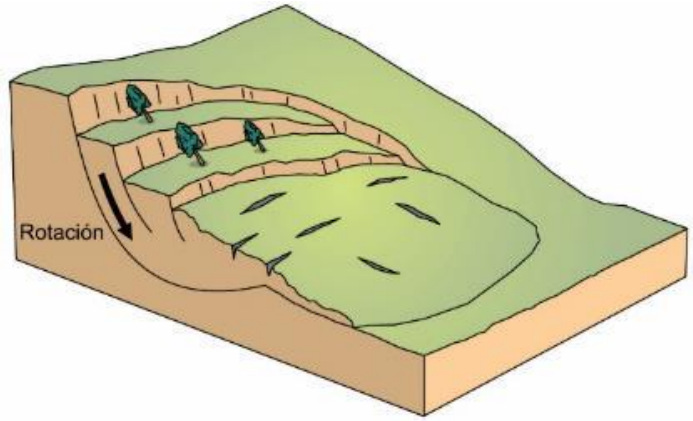


Figura 19. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)

EROSIÓN DE LADERA Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo (figura 20); en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et al, 2016).

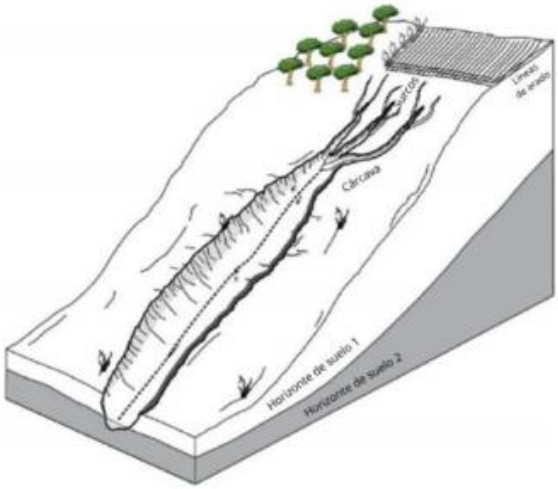


Figura 20. Esquema de la formación de cárcavas originadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi et al., 2011).

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.

FLUJOS Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes 1978). Según el tipo de material y mecanismo de velocidad de desplazamiento y ocurrencia, se pueden identificar flujos de detritos, de lodo y aluviones (figura 21).

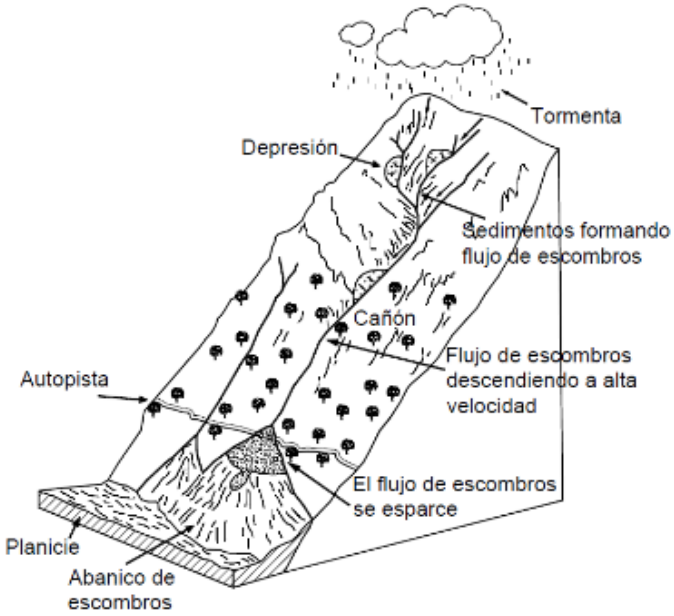


Figura 21. Esquema de un flujo de detritos (huaico). Fuente: Suárez J, 2009.

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. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 7). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

Cuadro 7. Métodos de drenaje y subdrenaje

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para el control de escorrentía	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
Subdrenes de zanja	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir
Pozos profundos de subdrenaje	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suárez, 1996.

Los sistemas más comunes para el control del agua son: •

- Zanjas de coronación o canales colectores drenaje superficial).
- Subdrenes de zanja o subdrenes interceptores. •
- Subdrenes horizontales o de penetración

Drenaje superficial: El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

Tipos de obra de drenaje superficial

a. **Canales para redireccionar el agua de escorrentía:** Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
b. **Zanjas de corona**. Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.
c. **Diques en la corona del talud**. Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
d. **Drenes Franceses**. Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
e. **Trinchos o Cortacorrientes.** Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.
f. **Torrenteras.** Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
g. **Sellado de grietas con arcilla o mortero**. El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.
h. **Canales colectores en Espina de Pescado**. Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua

No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada.

Subdrenaje: Las técnicas de drenaje subterráneo o subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten (figuras 22 y 23). A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor. El diseño de los sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos desde el punto de vista del drenaje subterráneo y es muy difícil aplicar principios sencillos en el diseño de obras de subdrenaje. El movimiento de las aguas en los taludes por lo general, es irregular y complejo.
Elementos para tener en cuenta en el análisis de los sistemas de subdrenaje:

- Falta de continuidad de los mantos o sectores permeables.
- Cantidad de agua recolectada.
- Poco efecto del subdrenaje en el factor de seguridad.
- Poco efecto del subdrenaje cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie de falla.
- Asentamientos en las áreas circunvecinas como efecto del subdrenaje.

– La rata de flujo para el diseño del sistema debe calcularse teniendo en cuenta la permeabilidad del suelo o la roca que se va a drenar.

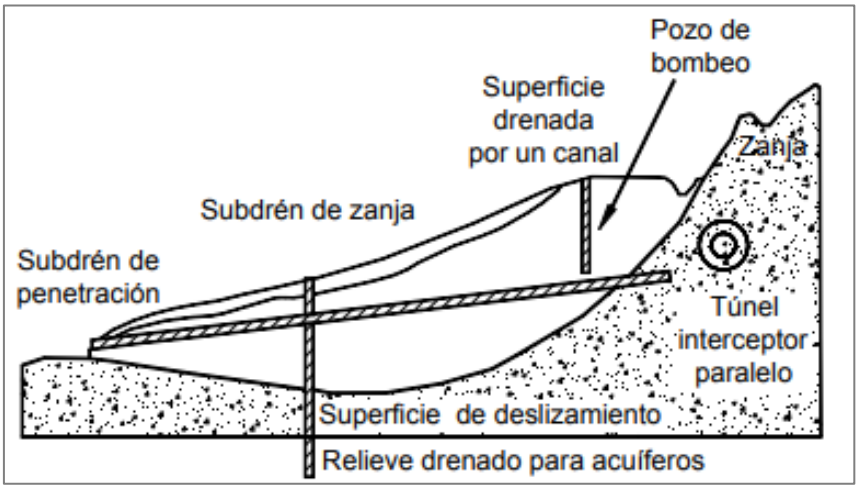


Figura 22. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

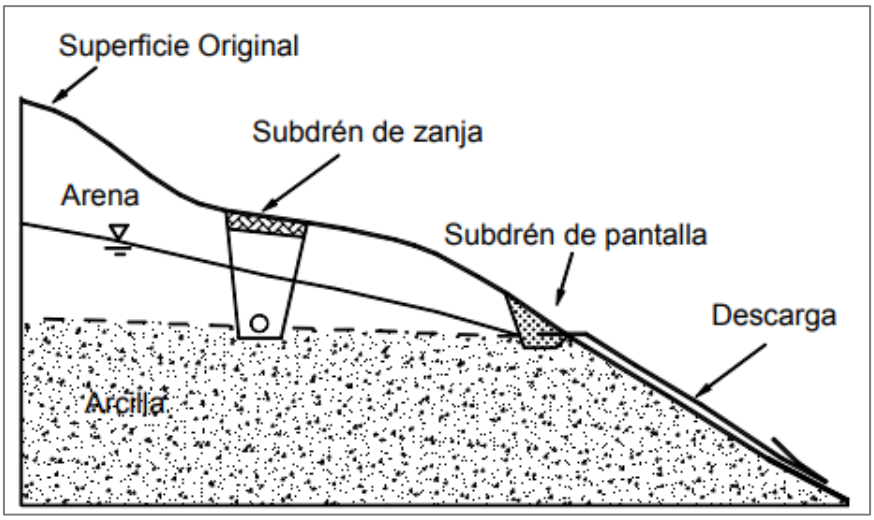


Figura 23. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).

D. CORRECCIÓN POR ELEMENTOS RESISTENTES

Muros de gaviones. Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (figura 24).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad (figura 25). Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente.

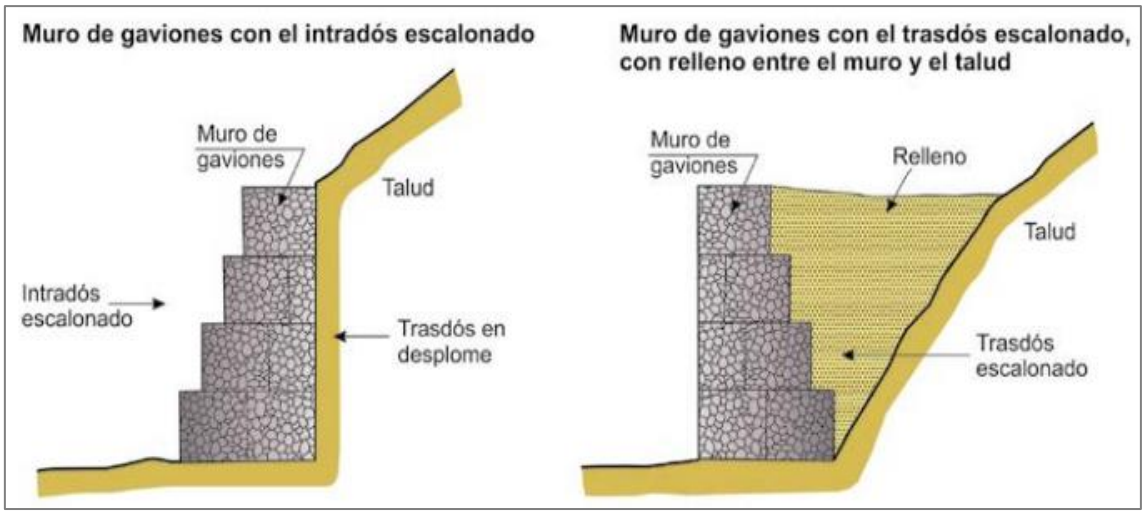


Figura 24. Muro de gavión (Ayala, 2002).

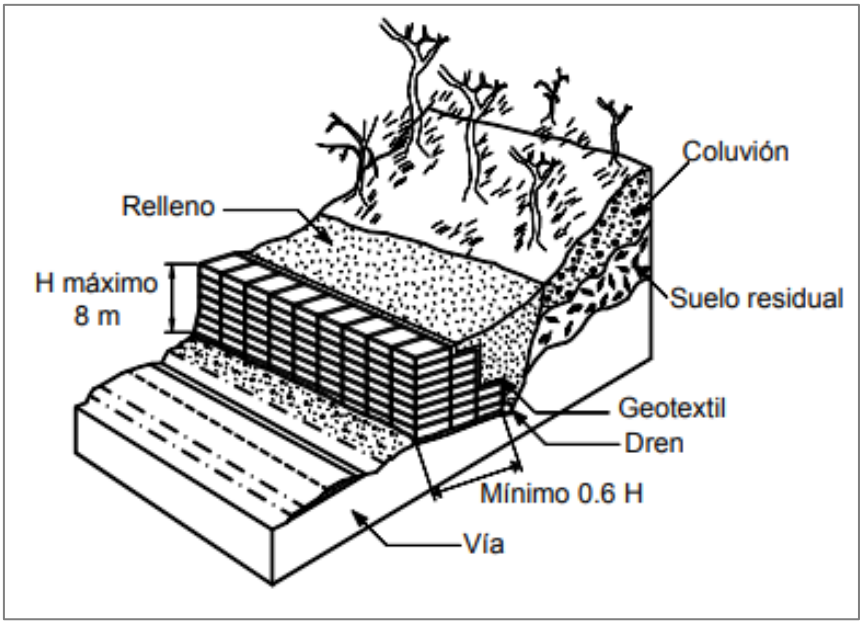


Figura 25. Esquema de un muro en gaviones (Suárez, 1998).