



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6921

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL CENTRO POBLADO DE HUALLHUAPAMPA Y LA LOCALIDAD DE PUERTO SAN ANTONIO - EL ROBLE



Región Huancavelica
Provincia Tayacaja
Distrito El Roble



JULIO
2019

ON... J CA... LA D... ENIC... NGE... / 2...

ÍNDICE

1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
2.2. ESTUDIOS ANTERIORES.....	3
3. GENERALIDADES	5
3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	5
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	7
4.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL.....	7
4.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL O AGRADACIONAL	8
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS	9
5.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	10
6. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	14
6.1. CONCEPTOS BÁSICOS	14
6.1.1. DESLIZAMIENTOS	14
6.1.2. FLUJOS.....	15
6.1.3. MOVIMIENTOS COMPLEJOS	17
7. DESLIZAMIENTOS EN EL CENTRO POBLADO HUALLHUAPAMPA.....	17
7.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS DESLIZAMIENTOS	18
8. FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN HUALLHUAPAMPA Y PUERTO SAN ANTONIO.....	19
8.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUJO DE DETRITOS (HUAICOS)	24
9. MOVIMIENTO COMPLEJO (DESLIZAMIENTO ROTACIONAL-FLUJO DE DETRITOS) EN HUALLHUAPAMPA	24
9.1. CARACTERÍSTICAS DEL DESLIZAMIENTO ROTACIONAL-FLUJO DE DETRITOS EN HUALLHUAPAMPA.....	25
9.2. DAÑOS	26
10. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA.....	30
11. CONCLUSIONES	34
12. RECOMENDACIONES.....	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL CENTRO POBLADO DE HUALLHUAPAMPA Y LA LOCALIDAD DE PUERTO SAN ANTONIO - EL ROBLE

(Distrito El Roble, provincia Tayacaja, departamento Huancavelica)

1. RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el centro poblado de Huallhuapampa y la localidad de Puerto San Antonio. 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.

El centro poblado de Huallhuapampa es afectado por peligros geológicos tipo deslizamiento, flujo de detritos y movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de detritos), este último destruyó viviendas construidas de material de adobe y que se encontraban próximas al cauce de la quebrada Huallhuapampa. En Puerto San Antonio se identificaron flujos de detritos que destruyeron terrenos de cultivo; la generación de nuevos flujos de detritos podría afectar las viviendas asentadas en la llanura de inundación del valle de la quebrada San Antonio, así como postes de alta tensión.

Entre los factores condicionantes que originaron los peligros geológicos identificados, se tienen: la pendiente del terreno, la composición litológica y calidad del substrato rocoso, así como el tipo de suelo que es de fácil remoción por acción hídrica. Las precipitaciones pluviales extraordinarias fueron el factor detonante que originaron dichos eventos. También es importante considerar la exposición por la ocupación urbana no planificada.

Por las condiciones geológicas-geodinámicas, el centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio son considerados como Zona Crítica, de peligro muy alto por flujo de detritos y deslizamientos, ante la presencia de lluvias intensas y/o extraordinarias.

Finalmente, en el presente informe se brindan medidas de prevención y mitigación, viables técnica y económicamente por la población y sus autoridades, para reducir la vulnerabilidad y por tanto el riesgo a los peligros geológicos. Estas propuestas de solución se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias y los daños que pueden ocasionar los procesos identificados; así como también evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen daños.

2. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus distintas funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología; que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por

fenómenos geológicos que pudieran desencadenar en desastres. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines y reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

El Gobierno Regional de Huancavelica, a través de la Dirección Regional de Energía y Minas, mediante Oficio N° 327-2019-GOB-REG-HVCA/GRDE-DREM de fecha 04 de abril, solicitó al INGEMMET la inspección y evaluación geológica de daños y perjuicios en el centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio, ubicados en el distrito de Roble, provincia Tayacaja, región Huancavelica. La Municipalidad distrital de Roble, mediante oficio N° 057-2019-MDR/A de fecha 05 de abril, solicitó al INGEMMET la evaluación geológica, geomorfológica, peligros geológicos, entre otros del centro poblado de Huallhuapampa.

Para la evaluación de los peligros geológicos en los centros poblados mencionados, el INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, dispuso una brigada especializada para que evalúe las zonas afectadas. La brigada estuvo conformada por los profesionales Manuel Vílchez y Julio Lara para realizar la inspección técnica. Los trabajos de campo se realizaron los días 26 y 27 de junio del presente año.

La evaluación técnica, se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por el INGEMMET, la interpretación de imágenes satelitales, preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos (fotografías y puntos de control con GPS), cartografiado geológico y geodinámico en campo, y finalmente la redacción del informe técnico.

Este informe, se pone en consideración del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

2.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Realizar la evaluación geológica-geodinámica del centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio.
- Determinar las causas de origen de los peligros geológicos.
- Recomendar acciones que permitan mitigar los peligros identificados.

2.2. ESTUDIOS ANTERIORES

Los estudios realizados con anterioridad que tratan aspectos señalados en el presente informe son:

- "Estudio de riesgos geológicos del Perú-Franja N° 3" (Dirección de Geología Ambiental, 2003). Este estudio comprende parte de los departamentos de Lima,

Ica, Ayacucho, Huancavelica, Cusco, Puno y Madre de Dios. En la región de Huancavelica identificaron poblados en sectores críticos, ubicados en los distritos de Pomacocha, Lircay, Quito Arma, Arma, Anco, entre otros y que son afectados por peligros geológicos tipo: deslizamientos, derrumbes, flujos de detritos, movimientos complejos (deslizamiento-flujo), erosión e inundación fluvial. Finalmente, plantean medidas de prevención y mitigación para las zonas afectadas por los diferentes peligros geológicos.

- “Zonas críticas por peligros geológicos en la región Huancavelica” (Vilchez & Ochoa, 2014). El informe técnico detalla la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa (deslizamientos, flujos de detritos, etc.), peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) y los denominados otros peligros geológicos (hundimientos y erosión de laderas). En la región Huancavelica identificaron 1740 ocurrencias de peligros geológicos, entre las que destacan con un mayor número de ocurrencias los derrumbes, flujos de detritos, caídas de rocas, deslizamientos, etc. También identificaron 45 zonas críticas en toda la provincia de Huancavelica.

En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, escala 1: 250 000 (escala regional) elaborado por el INGEMMET (2018); el centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio se localizan en una zona de susceptibilidad muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa, figura 1.

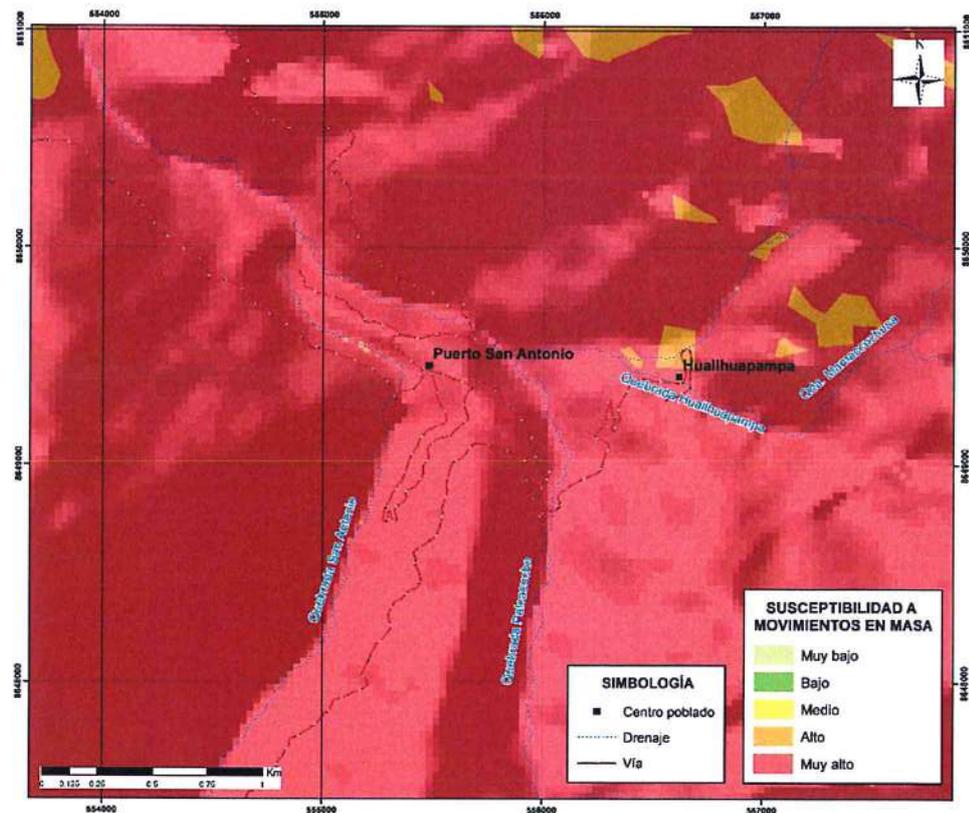


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la zona de estudio, donde se puede encontrar al centro poblado de Huallhuapampa y

Puerto San Antonio en zonas de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa

3. GENERALIDADES

3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El centro poblado de Huallhuapampa y la localidad de Puerto San Antonio se encuentran ubicados en la margen derecha e izquierda, respectivamente, de la quebrada Palcacucho. Políticamente pertenecen al distrito de Roble, provincia Tayacaja, región Huancavelica; en las coordenadas centrales UTM (WGS 84-Zona 18 Sur), figura 2:

Centro poblado	Coordenada N	Coordenada E	Altitud
Huallhuapampa	8 649 286	556 561	2832 m s.n.m.
Puerto San Antonio	8 649 455	555 481	2623 m s.n.m.

El acceso a estos centros poblados, desde la ciudad de Lima, es por vía terrestre, para ello se debe seguir la siguiente ruta: Lima-Matucana-La Oroya-Jauja-Huancayo-Acopalca-Acobamba-Uraypampa-Surcubamba-Vista Alegre-Tintay-Puerto San Antonio-Huallhuapampa, por un tiempo estimado de 12 h 16 min, a través de 395 km aproximadamente.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

El centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio están situados en el piso altitudinal entre 2 300 a 3 500 m.s.n.m. Se ubican en ambas márgenes de la quebrada Palcacucho.

En la zona de estudio se presentan los siguientes tipos climáticos:

En la zona de valle donde se localiza la comunidad de Huallhuapampa y localidad de Puerto San Antonio, el clima es muy lluvioso, con precipitación abundante en todas las estaciones del año, templado y húmedo.

En las porciones altas de las montañas el clima es lluvioso, seco en otoño e invierno, frío y húmedo.

En la zona la temperatura media anual es de 12 °C y la precipitación anual promedio es de 700 mm (SENAMHI, 2019).

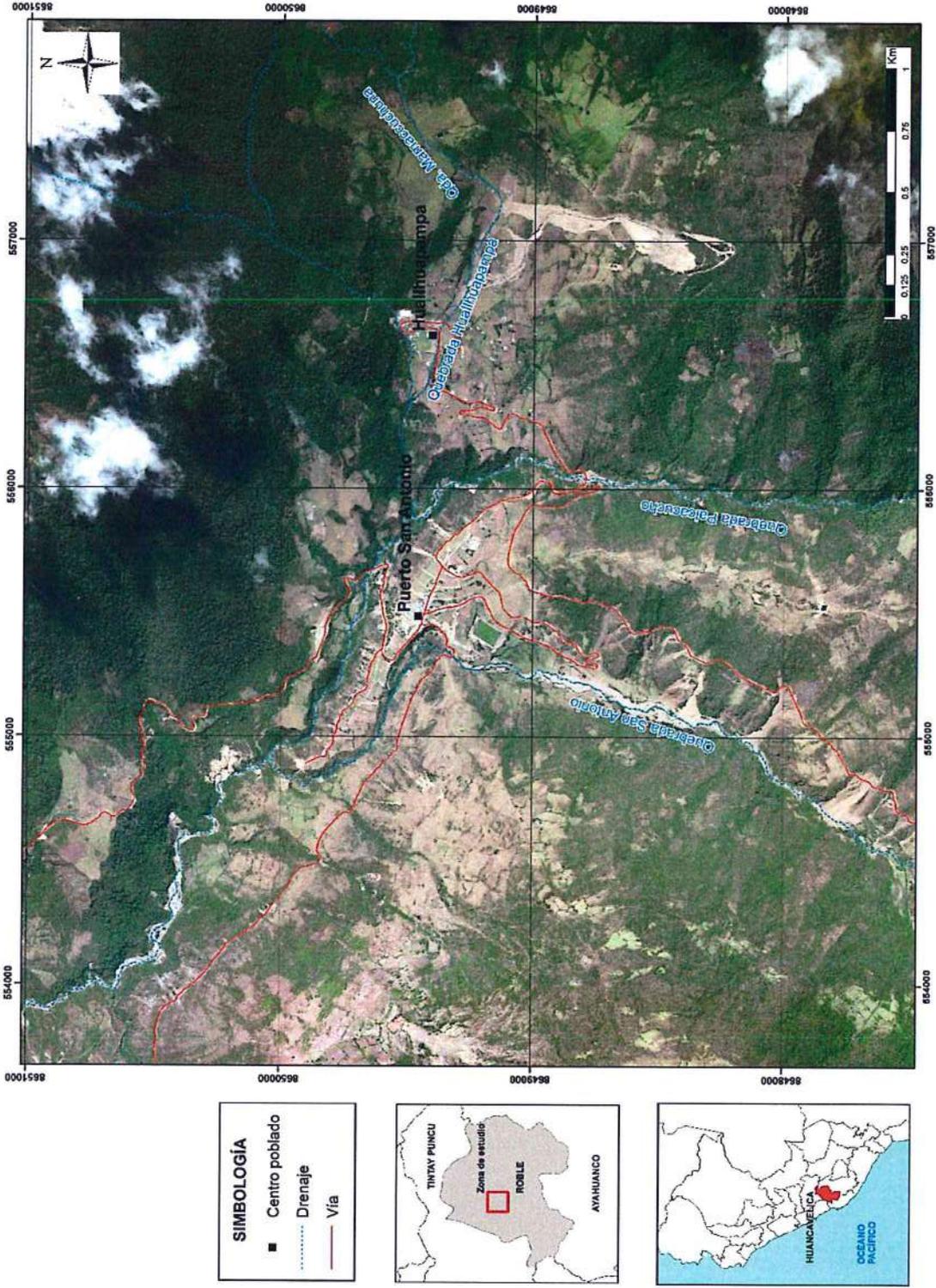


Figura 2. Ubicación del centro poblado de Hualhuapampa y la localidad de Puerto San Antonio

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en la zona de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión o denudación y sedimentación o acumulación. Las geoformas particulares individualizadas se agrupan en dos tipos generales del relieve en función a su altura relativa, donde se diferencian: 1) montañas y 2) piedemontes (Ver cuadro 1).

Se tomó en cuenta para la clasificación de las unidades geomorfológicas, la publicación de Villota (2005).

Cuadro 1. Unidades geomorfológicas identificadas

Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional y erosional	
Unidad	Sub unidad
Montaña	Montaña en roca metamórfica (RM-rm)
	Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)
Unidades geomorfológicas de carácter depositacional o agradacional	
Unidad	Sub unidad
Piedemonte	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)
	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

4.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo se tiene la siguiente unidad:

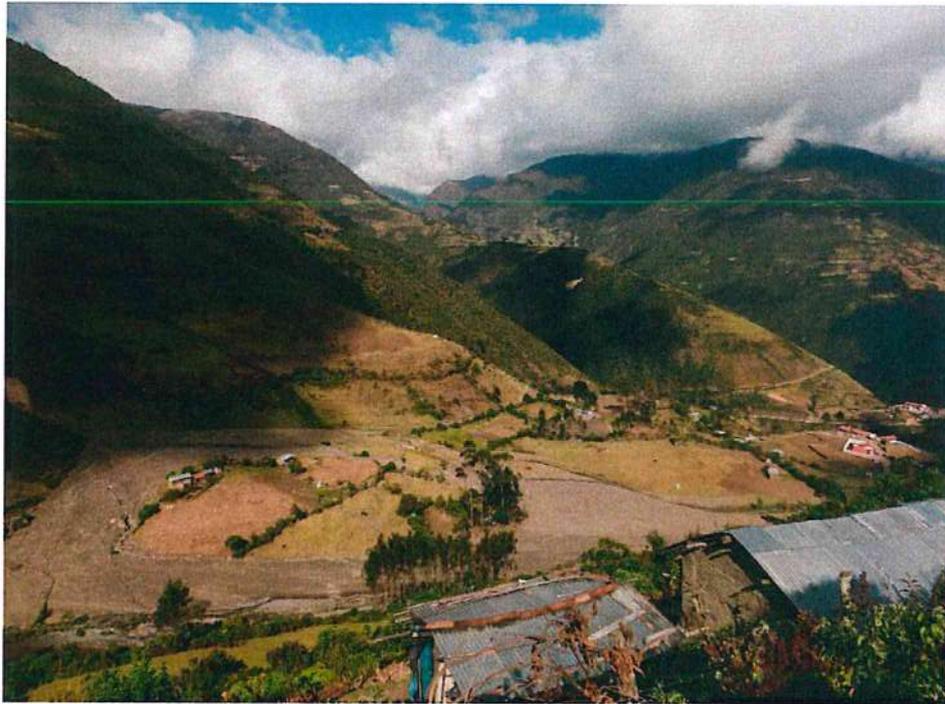
Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Relieve de montañas en rocas metamórficas (RM-rm)

Corresponde a afloramientos de rocas metamórficas tipo esquistos y filitas, fotografía 1, reducidos por procesos denudativos, se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente moderada a alta.

Se identificaron estas geoformas al sur del centro poblado de Huallhuapampa y la localidad de Puerto San Antonio-El Roble.



Fotografía 1. Montañas en rocas metamórficas ubicadas en los alrededores del centro poblado de Huallhuapampa. Vista al suroeste

Relieve de montañas en rocas sedimentarias (RM-rs)

Estas geoformas, litológicamente están formadas por rocas sedimentarias tipo limoarcillitas y areniscas.

Se identificaron estas formas del relieve al norte del centro poblado de Huallhuapampa y la localidad de Puerto San Antonio-El Roble.

4.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL O AGRADACIONAL

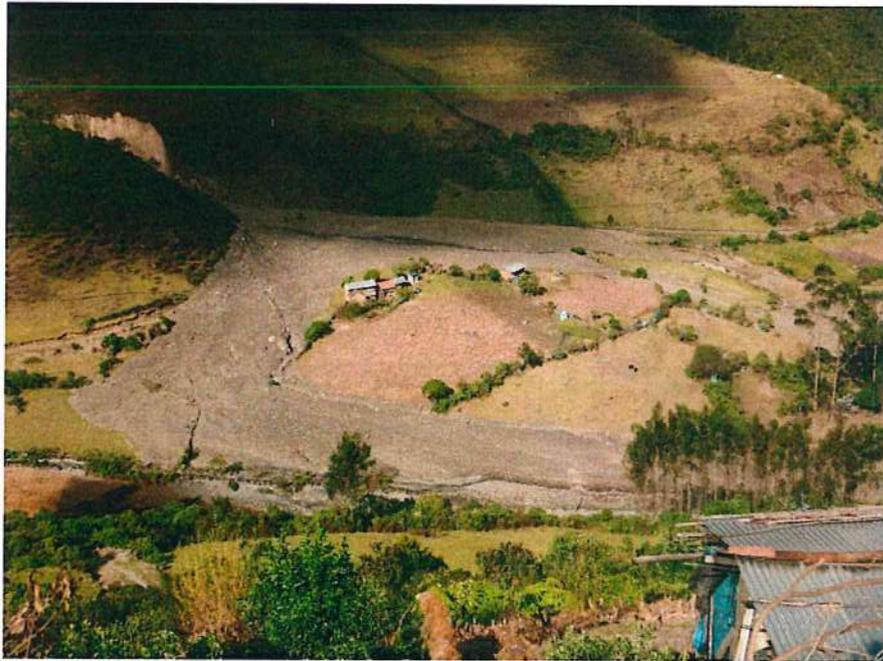
Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Esta unidad se encuentra asociada a los depósitos dejados por los flujos de detritos (huaicos) y de lodo de tipo excepcional (fotografía 2). Tiene pendiente suave, menor a 5°.

Está compuesto por fragmentos rocosos heterométricos (bloques, bolos y detritos), subangulosos, en matriz limo-arenosa, transportados por las quebradas y depositados en forma de cono.

Sobre estas geofomas se encuentran ubicados el centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio.



Fotografía 2. Piedemonte aluvio-torrencial formado por flujos de detritos recientes en el centro poblado de Huallhuapampa. Vista al sur

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Esta unidad corresponde a las acumulaciones de laderas originadas por procesos de movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas), así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan sucesivamente al pie de laderas.

Se identificaron estas formas de relieve al sureste del centro poblado de Huallhuapampa.

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio, se desarrolló teniendo como base el Boletín N° 118-Geología de los cuadrángulos de Quiteni y Canaire-Hojas: 24-ñ y 25-ñ, (Barreda & Cuba, 1998), donde indican que en la zona de estudio afloran rocas metamórficas tipo esquistos y filitas, rocas sedimentarias tipo limoarcillitas y areniscas,

así como depósitos Cuaternarios (aluviales y coluviales). También se trabajó en base a la interpretación de imágenes de satélite y observaciones de campo.

5.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio, corresponden a rocas metamórficas, sedimentarias y depósitos Cuaternarios (figura 3), diferenciándose las siguientes:

Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental (PE-es/fi)

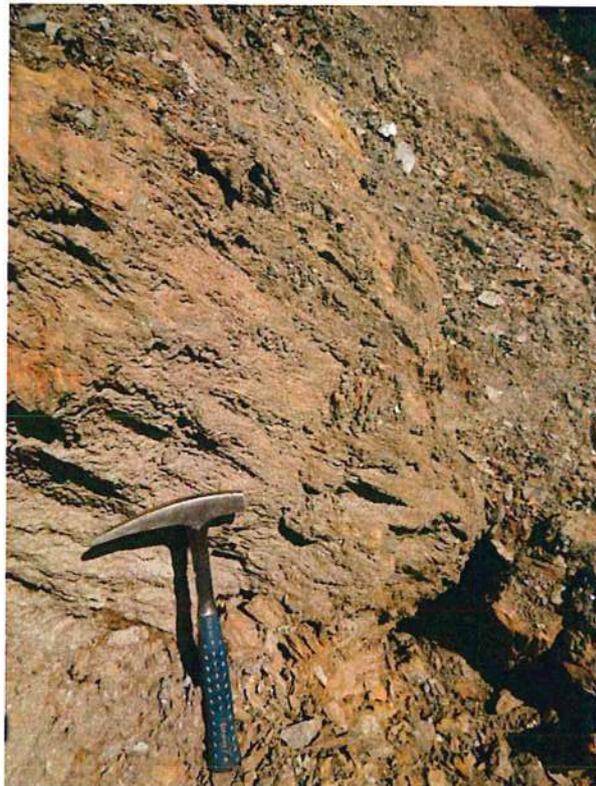
Las rocas del Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental son del Neoproterozoico. Litológicamente se componen de metasedimentarios, esquistos micáceos, esquistos sericíticos cloritosos, filitas, cuarcitas granoblásticas blancas y mármol (fotografía 3).

Afloran en los alrededores del centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio.

Grupo Cabanillas (D-ca)

Esta unidad litoestratigráfica está constituida por limoarcillitas oscuras pizarrosas con estructura lutácea en capas delgadas intercaladas con capas delgadas de areniscas de grano fino a medio y limoarcillitas en capas gruesas a masivas de tonalidad verdosa. Las rocas sedimentarias de este grupo son del Devónico.

Se identificaron este tipo de rocas al norte del centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio.



Fotografía 3. Afloramiento de esquistos, pertenecientes al Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental. Vista al sureste

Depósitos aluviales (Qh-al)

Se considera dentro de este grupo a los materiales que conforman las terrazas de ríos y quebradas, así como conos aluviales, que en muchos de los casos es difícil de representar gráficamente en los mapas por efectos de escala. Los depósitos de terrazas pueden presentar cierto grado de consolidación y están sujetos a procesos de erosión fluvial. Conformados por mezclas de bolos, gravas, arenas y limos, con formas redondeadas a subredondeadas. Las formas más o menos redondeadas de los fragmentos de roca dependen de las distancias que han sido transportados.

Depósitos aluvio-torrenciales (Qh-at)

Los depósitos aluvio-torrenciales se encuentran conformados por fragmentos rocosos heterométricos (guijarros, gravas y bloques) con relleno limo arenoso-arcilloso, depositado en el fondo de valles tributarios y conoides deyectivos, en la confluencia de las quebradas. Ocupan las partes bajas del relieve montañoso y adyacente a las referidas zonas. Corresponden a depósitos de flujos de detritos antiguos y recientes.

Depósitos deluviales (Qh-de)

Los depósitos deluviales se caracterizan por estar conformados por capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, que se depositan y cubren las laderas de los cerros, con taludes suaves a moderados (fotografía 4). Estos depósitos han sido removidos por la escorrentía formada por precipitaciones pluviales, la cual no se encuentra encauzada o ha sido transportada por torrentes de corto recorrido. Los principales agentes formadores son los procesos de erosión de suelos, la gravedad, las lluvias, el viento y la reptación de suelos.



Fotografía 4: Depósitos deluviales ubicados al sureste de Huallhuapampa, que forman un piedemonte. Vista al noreste

Depósitos coluvio-deluviales (Qh-cd)

Esta unidad agrupa depósitos de piedemonte de diferente origen (gravitacional y fluvio-gravitacional), que se acumulan en vertientes o márgenes de los valles

como también en laderas superiores; en muchos casos son resultado de una mezcla de ambos.

En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (huaicos), y cuando son el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones detonadas por precipitaciones pluviales o al realizar modificaciones en sus taludes naturales.

En los alrededores del centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio se identificaron depósitos coluvio-deluviales producidos por las precipitaciones extraordinarias ocurridas en este sector (fotografía 5).



Fotografía 5. Depósitos coluvio-deluviales recientes formados por la acumulación de material removido por antiguo deslizamiento y sus reactivaciones recientes. Vista al sur

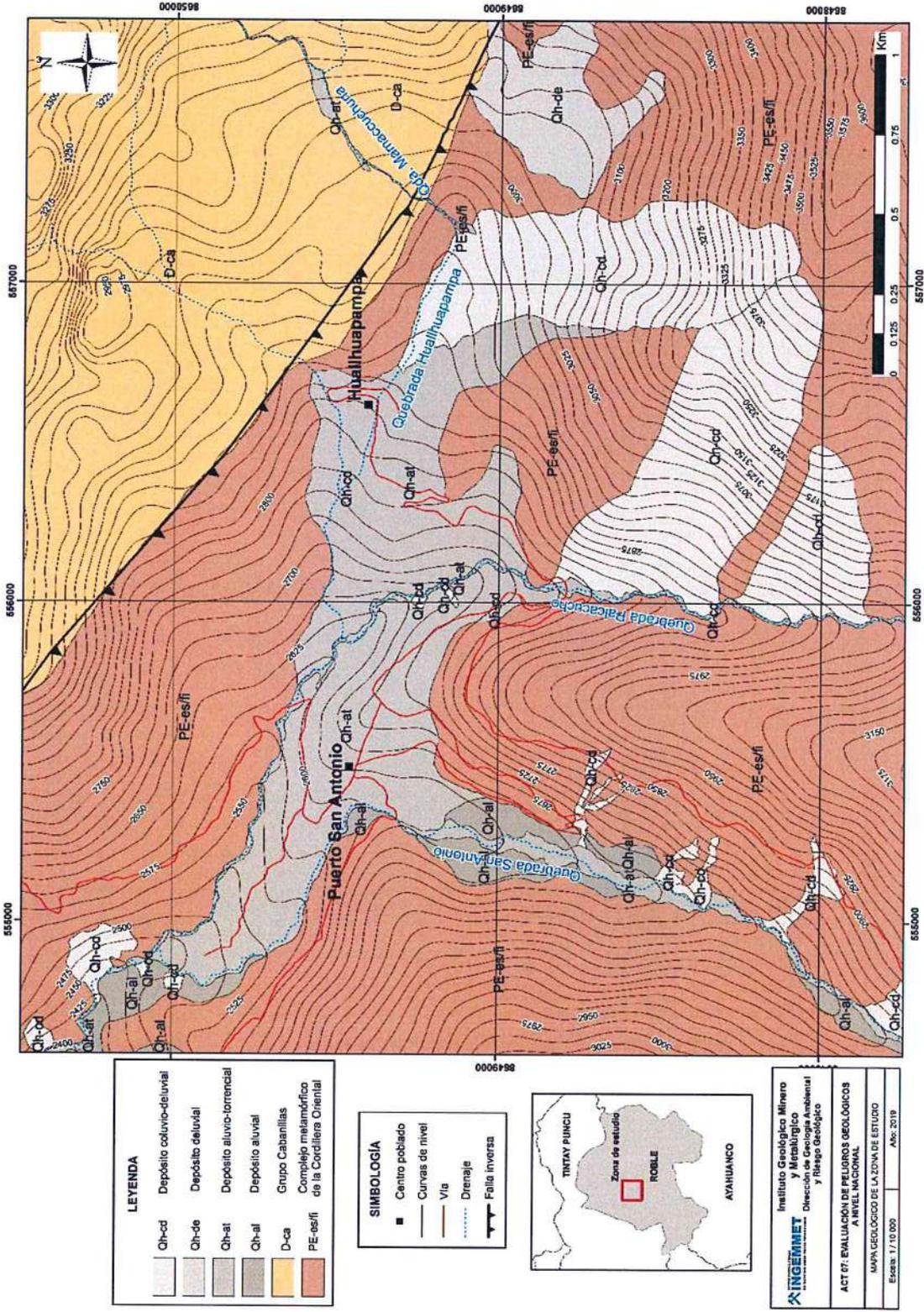


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio

6. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en los alrededores del centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, flujos de detritos (PMA: GCA, 2007) y complejos (deslizamiento-flujo de detritos). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida por los cursos de agua en la Cordillera Oriental, 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 y quebradas.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona.

6.1. CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación, se muestran algunos términos referentes a peligros geológicos y que serán utilizados en el presente informe técnico.

6.1.1. DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca, desplazándose a lo largo de una superficie. Según Varnes (1978), se clasifica a los deslizamientos por la forma de la superficie de falla o ruptura por donde se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. En rocas competentes las tasas de movimiento son con frecuencia bajas, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas (PMA: GCA, 2007).

Los deslizamientos rotacionales son un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava (figura 4). Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado, y una contra-pendiente en la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas.

Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s. (PMA: GCA, 2007).

En la figura 5, se representa las partes principales de un deslizamiento rotacional.

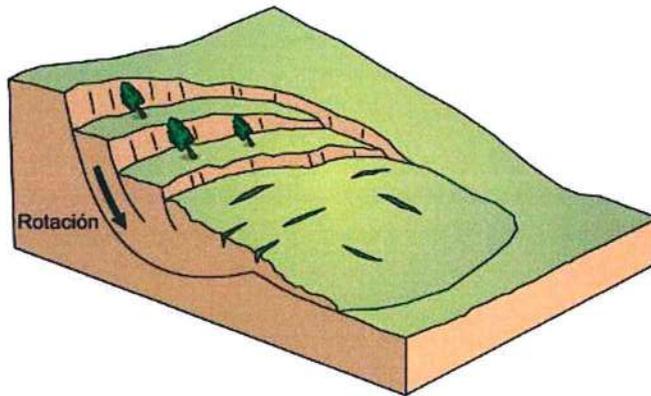
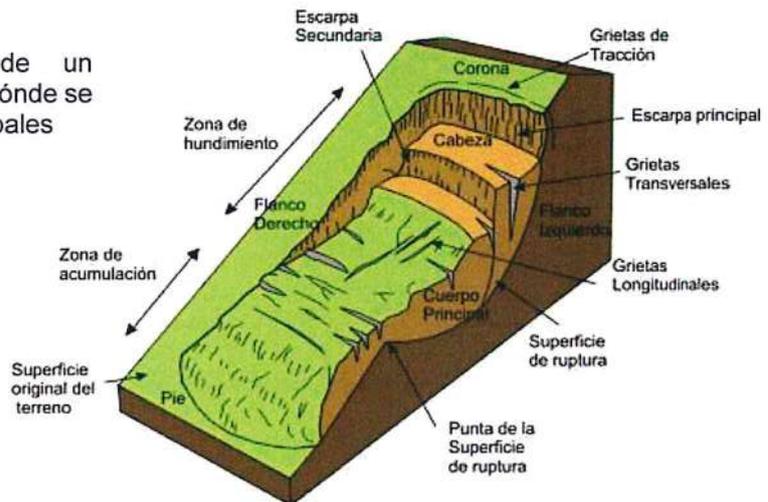


Figura 4. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, (2007)

Figura 5. Esquema de un deslizamiento rotacional dónde se muestra sus partes principales



6.1.2. FLUJOS

Son movimientos en masa que durante su desplazamiento exhiben un comportamiento semejante al de un fluido; pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. En muchos casos se origina a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Según la proporción de las fracciones sólidas y líquidas que conforman el flujo, así como por el mecanismo de movimiento y la velocidad del movimiento se pueden diferenciar hasta siete tipos diferentes de eventos: flujo seco, flujo de detritos, inundación de detritos, flujo de lodo, flujo de tierra, avalancha de rocas y avalancha de detritos (Varnes, 1978; Hungr et al. 2001 y Hungr, 2005).

a) *Flujo de detritos (huaicos)*

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

Los flujos de detritos pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos y originarse a partir de otros procesos, como deslizamientos o desprendimientos de rocas (Varnes, 1978).

Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor.

Se refieren a movimientos en masa que durante su desplazamiento se comportan como un fluido; pueden ser lentos, saturados o secos, canalizados y no canalizados.

Según Hungr & Evans (2004) los flujos se pueden clasificar de acuerdo al tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Por ejemplo, se tienen flujos de detritos (huaicos), flujos de lodo, avalanchas de detritos o de rocas, etc. (figura 6).

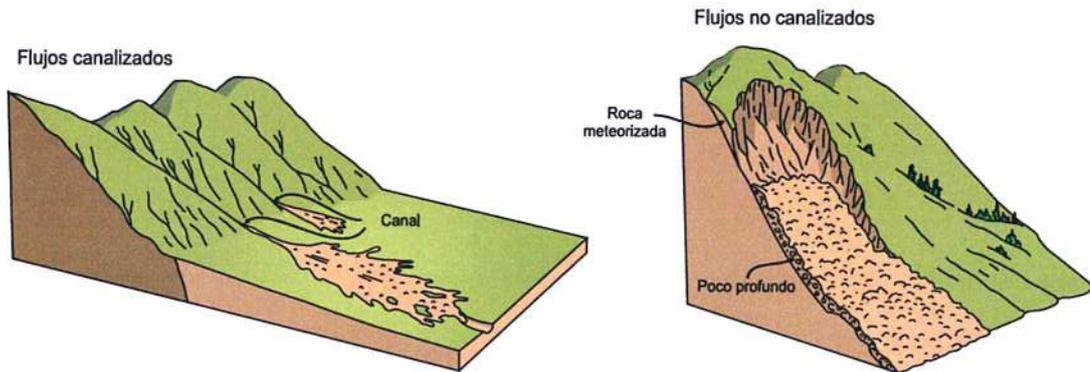


Figura 6. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden & Varnes, 1996)

En este tipo de procesos se muestra una zona de inicio que forma un embudo, una zona de transición o tránsito y una zona de depositación en abanico como se muestra en la figura 7 (Bateman *et al*, 2006).

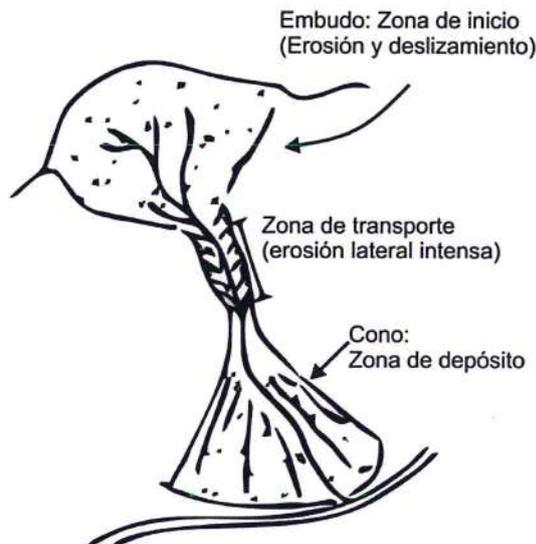


Figura 7. Esquema de generación de un flujo (Modificado de: Bateman *et al*, 2006)

Normalmente los flujos canalizados buscan retomar su lecho natural. El potencial destructivo de estos procesos está dominado por su velocidad y la altura alcanzada por el material arrastrado. La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hungar, 2005).

Por ello, estos eventos son muy violentos y tienen una gran cantidad de energía que destruye todo lo que encuentran a su paso. Por tanto, es muy importante una caracterización geológica detallada de los eventos, asociada al grado de peligro al que está expuesta un área determinada.

6.1.3. MOVIMIENTOS COMPLEJOS

Son aquellos que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos elementales descritos anteriormente. Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño (Antoine, 1992) afectando, a veces, a laderas completas. En la zona de estudio el movimiento complejo identificado está conformado por un movimiento rotacional en cabecera y un flujo de detritos al pie.

En la figura 8, según Varnes (1978) y Cruden & Varnes (1996), se representan algunos ejemplos de movimientos complejos.



Figura 8. Movimientos complejos: a). Deslizamiento de suelo con detritos de caída de rocas y b). Deslizamiento rotacional-traslacional compuesto, cambiando a flujo de suelo hacia el pie

7. DESLIZAMIENTOS EN EL CENTRO POBLADO HUALLHUAPAMPA

En base a los datos obtenidos en campo se realizó una caracterización de los deslizamientos identificados al sureste del centro poblado Huallhuapampa.

Los deslizamientos identificados, corresponden a deslizamientos de tipo rotacional que se desencadenaron el presente año, según manifestaron los pobladores del centro poblado. Se hizo la cartografía de escarpes principales y secundarios con alturas verticales de hasta 50 y 55 cm (fotografías 6 y 7).

A continuación, se detallan las características del evento, los factores condicionantes y detonantes que favorecieron su ocurrencia y los daños que se generaron en el mencionado sector.

7.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos ocurrieron el presente año a consecuencia de las lluvias extraordinarias e intensas. Entre los factores condicionantes se tienen: la pendiente del terreno, la composición litológica y calidad del substrato rocoso, así como el tipo de suelo que es de fácil remoción por acción hídrica.

Los deslizamientos tienen las siguientes características y dimensiones:

- Longitud de escarpa principal: 260 m aproximadamente.
- Longitud de escarpas secundarias: 90 y 100 m aproximadamente.
- Salto principal de 55 cm.
- Presencia de saltos secundarios de hasta 50 cm.
- Presencia de agrietamientos longitudinales al escarpe principal, ubicados dentro del área deslizada.
- Diferencia de altura de la corona al pie del deslizamiento principal: 340 m.
- Área aproximada de los deslizamientos recientes: 6 ha.

Causas:

- a) Configuración geomorfológica de la zona de estudio (montañas modeladas en rocas metamórficas).
- b) Pendiente promedio de la ladera de la montaña entre los 30° y 35°.
- c) Características litológicas del área (afloramiento de roca de diferente competencia, conformado por secuencias del Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental; en donde se tienen metasedimentarios, esquistos micáceos, filitas y cuarcitas. Se considera a esta secuencia como una roca de calidad regular a mala, muy fracturada; la calidad de la roca se ve reducida por la presencia de las filitas.
- d) Substrato de mala calidad con un grado de meteorización moderado a alto.
- e) Orientación desfavorable de las discontinuidades, de los planos de esquistosidad de las rocas metamórficas.
- f) Presencia de afloramiento rocoso fracturado.
- g) Suelos de tipo limo-arcilloso con gravas.
- h) Presencia de agua subterránea como manantiales que saturan los suelos.
- i) Cobertura vegetal de tipo matorrales dispersos, que ofrecen poca protección al suelo y la roca.

Las precipitaciones pluviales extraordinarias fueron el factor detonante que originaron los deslizamientos en el centro poblado Huallhuapampa.



Fotografía 6. Escarpe de deslizamiento con una altura de 50 cm. Vista al suroeste



Fotografía 7. Vista al noroeste del escarpe de deslizamiento con altura vertical de 55 cm. Hacia el fondo se observa el centro poblado Hualhuapampa

8. FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN HUALLHUAPAMPA Y PUERTO SAN ANTONIO

Las precipitaciones pluviales (lluvias) extraordinarias e intensas ocurridas durante el mes de febrero del presente año en la parte alta de las quebradas, generaron erosión y aporte de material suelto (bloques, gravas, arenas y limos) al cauce de éstas. El material se canalizó por las quebradas y debido a la pendiente del terreno fue transportado hacia la parte baja.

Los flujos de detritos (huaicos) se desbordaron e inundaron las zonas aledañas a su cauce, en áreas donde el relieve era plano y la pendiente contribuía al proceso.

Se identificaron y cartografiaron los flujos de detritos que afectaron al centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio.

Los flujos de detritos en Huallhuapampa se canalizaron por las quebradas Mamaccuchuna y Palcacucho. La quebrada Mamaccuchuna se ubica al noreste del centro poblado de Huallhuapampa. Según los pobladores, mencionaron que el año 2018 ocurrió un evento de menor tamaño en comparación con el flujo de este año (fotografía 8). El desborde de los flujos de detritos afectó viviendas ubicadas cerca al cauce de la quebrada (fotografía 9).

El flujo de detritos de la quebrada Palcacucho (fotografía 10), afectó el puente de acceso al centro poblado de Huallhuapampa que tiene una longitud de 5.5 metros.



Fotografía 8. Flujos de detritos (huaico) canalizados por la quebrada Mamaccuchuna. Evento ocurrido el presente año. Vista al noreste



Fotografía 9. Viviendas afectadas por flujos de detritos (huaico) en la quebrada Mamaccuchuna. Vista al noroeste



Fotografía 10. Flujos de detritos (huaico) en la quebrada Palcacucho. El puente de acceso al centro poblado de Huallhuapampa fue afectado. Vista al sur

También se identificó la ocurrencia de flujos de detritos provenientes de la quebrada San Antonio, ubicada antes del acceso a la localidad de Puerto San Antonio (fotografía 11). El flujo de detritos es alimentado con material suelto que se genera en varios derrumbes localizados en la margen derecha de esta quebrada a una distancia de 830 m medidos a partir del puente de acceso a la localidad de Puerto San Antonio.

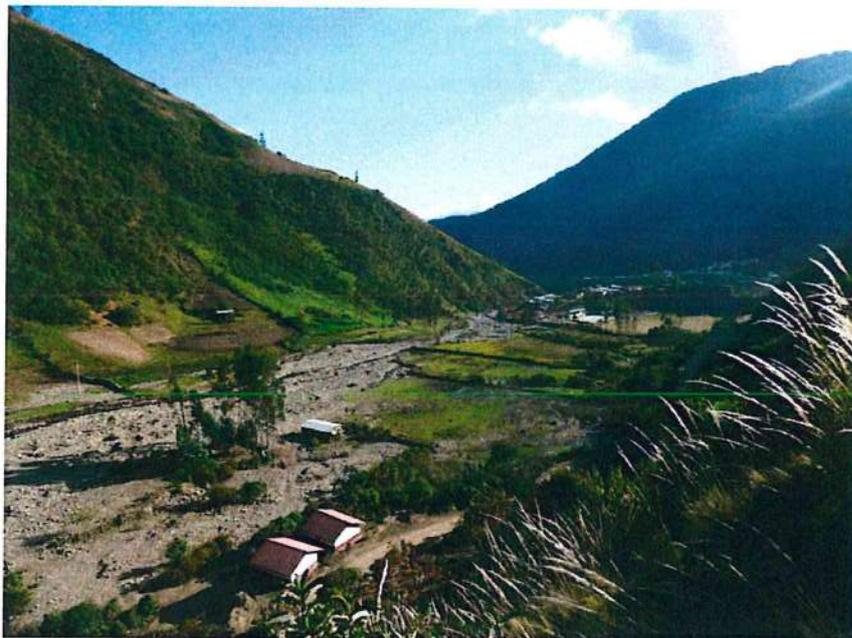
Los condicionantes principales de la ocurrencia de este evento son: la presencia de un sustrato rocoso de mala calidad geotécnica, conformado por esquistos y filitas, fracturados; la presencia de agua subterránea; la morfología de montañas donde la pendiente de las laderas puede superar los 30° y la presencia de un valle amplio de hasta 170 m de ancho que drena en dirección suroeste-noreste, de baja pendiente, el cual se estrecha hasta los 10 m a la altura del Puente de acceso a la localidad de Puerto San Antonio, en donde cambia su dirección de recorrido hacia el noreste; el estrechamiento del cauce en este punto es consecuencia del afloramiento de esquistos y la acumulación de material aluvial (fotografías 12 y 13).

Los derrumbes generados en esta zona aportaron material al cauce de la quebrada San Antonio, incluso pudieron llegar a represarla temporalmente. Los fuertes caudales de agua o la generación de flujos de detritos por precipitaciones pluviales extraordinarias, acarrearón el material suelto y lo canalizaron por la quebrada, acumulándose gran parte del material movilizado en el amplio valle, incluso llegó hasta la parte baja del centro poblado de Puerto San Antonio.

Los materiales movilizados por el flujo de detritos en su recorrido destruyeron terrenos de cultivo, cubriéndolos o erosionándolos; la generación de nuevos flujos de detritos podría afectar las viviendas asentadas en la llanura de inundación del valle amplio de la quebrada, así como postes de alta tensión ubicados en la margen izquierda de la quebrada San Antonio.



Fotografía 11. Flujo de detritos en la quebrada San Antonio cuyo material se acumuló en su valle amplio. En el fondo se observa el centro poblado del mismo nombre. Vista hacia el noreste.



Fotografía 12. Imagen donde se puede ver el estrechamiento del cauce de la quebrada San Antonio por depósitos aluviales sobre los cuales se asienta la localidad de Puerto San Antonio. Vista hacia el noreste



Fotografía 13. Vista hacia el suroeste donde se puede apreciar el estrechamiento de la quebrada San Antonio por la acumulación de material aluvial y el afloramiento de esquistos (lado izquierdo de la fotografía); sobre este depósito se asienta la localidad de Puerto San Antonio

8.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUJO DE DETRITOS (HUAICOS)

Los flujos de detritos conocidos como huaicos que ocurrieron en el mes de febrero del 2019, tuvieron como principales condicionantes:

Causas:

- a) Laderas con pendiente comprendidas entre 25° a 45°, que facilita la erosión de la cobertura del suelo y rocas.
- b) Laderas con procesos de erosiones de ladera (cárcavas) y derrumbes, que aportaron material al cauce de las quebradas.
- c) Depósitos aluvio-torrenciales, producto de flujos de detritos antiguos, que son de fácil remoción.
- d) La erosión de los depósitos superficiales y del suelo que se encuentran en las laderas, por las lluvias, contribuye a la carga de sedimentos por la quebrada.

Las precipitaciones pluviales extraordinarias fueron el factor detonante que originaron flujos de detritos en el centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio. Estos flujos de detritos se canalizaron por las quebradas Mamaccuchuna, Palcacucho y San Antonio

Cabe mencionar, que el mayor aporte de material hacia el cauce de las quebradas proviene de los procesos de erosión de ladera (cárcavas), derrumbes, caídas de rocas, etc.

9. MOVIMIENTO COMPLEJO (DESLIZAMIENTO ROTACIONAL-FLUJO DE DETRITOS) EN HUALLHUAPAMPA

En base a los trabajos en campo se identificó, cartografió y caracterizó un movimiento complejo al sureste del centro poblado Huallhuapampa.

Según manifestaron los pobladores del centro poblado, el evento se generó debido a las precipitaciones pluviales producidas en la zona durante el mes de febrero del año 2016. El movimiento complejo se inició con varios deslizamientos rotacionales, producto de la reactivación de un deslizamiento antiguo, que produjo un flujo de alta velocidad, que se desplazó hasta el centro poblado Huallhuapampa. El año 2016 no se reportaron daños debido a que los flujos de detritos se canalizaron por el cauce de la quebrada.

Todos los años, el evento se reactiva, pero es en febrero del 2019 que, debido a las intensas precipitaciones pluviales, producidas en este sector, se logra desestabilizar completamente la ladera, generando más reactivaciones del deslizamiento, lo cual produjo un flujo de detritos de alta velocidad, que se desplazó 1.32 km hasta alcanzar y afectar las viviendas del centro poblado Huallhuapampa (fotografía 14).

A continuación, se detallan las características del evento, los factores condicionantes y detonantes que favorecieron su ocurrencia y los daños que se generaron en el mencionado sector.

9.1. CARACTERÍSTICAS DEL DESLIZAMIENTO ROTACIONAL-FLUJO DE DETRITOS EN HUALLHUAPAMPA

El movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de detritos) en Huallhuapampa, se generó el año 2016, pero es el año 2019 donde se producen los mayores daños en el centro poblado mencionado. Este evento se originó a consecuencia de las lluvias extraordinarias e intensas ocurridas en este sector. Entre los factores condicionantes se tienen: la pendiente del terreno, la composición litológica y calidad del substrato rocoso, así como el tipo de suelo que es de fácil remoción por acción hídrica.

Causas:

- a) La configuración geomorfológica de la zona de estudio (montañas modeladas en rocas metamórficas).
- b) La pendiente promedio de la ladera de la montaña entre los 30° y 40°.
- c) Las características litológicas del área (afloramiento de roca de diferente competencia, conformado por secuencias del Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental; en donde se tienen esquistos micáceos, filitas y cuarcitas. Se considera a esta secuencia como una roca de calidad regular a mala, muy fracturada; la calidad de la roca se ve reducida por la presencia de las filitas.
- d) El substrato rocoso de mala calidad con un grado de meteorización moderado a alto.
- e) La orientación desfavorable de las discontinuidades: Los planos de esquistosidad de las rocas metamórficas se inclinan en la misma dirección y en menor ángulo que la ladera.
- f) La presencia de familias de discontinuidades.
- g) Los suelos de tipo limo-arcilloso con grava.
- h) La cobertura vegetal de tipo matorrales que se encuentran dispersos y ofrecen poca protección al suelo y la roca.
- i) Presencia de agua subterránea a manera de manantiales que fluyen con gran caudal y saturan los suelos arcillosos.

Las precipitaciones pluviales extraordinarias fueron el factor detonante que originaron el deslizamiento rotacional-flujo de detritos en el centro poblado Huallhuapampa.

El movimiento complejo tiene las siguientes características y dimensiones:

- Longitud de escarpa principal: 0.6 km.
- Salto principal: Hasta 10 m.
- Presencia de saltos secundarios: De hasta 0.5 m.

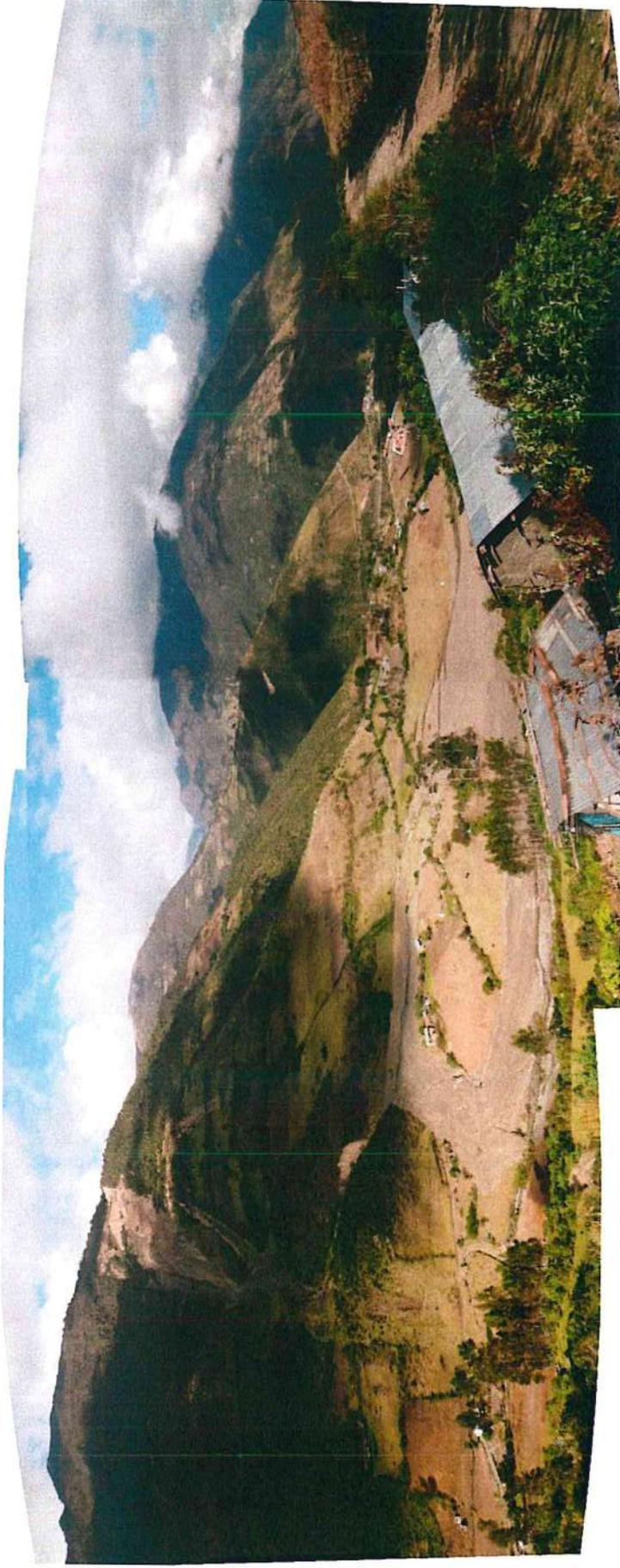
- Presencia de agrietamientos transversales con respecto al material deslizado. Presentan una profundidad de hasta 1 m y separación de hasta 0.2 m.
- Diferencia de altura de la corona al pie: 1.1 km.
- Área aproximada del movimiento complejo: 15 ha.

9.2. DAÑOS

Entre los daños ocasionados por el deslizamiento rotacional-flujo de detritos en Huallhuapampa, según manifestación de los pobladores, se tienen (figura 9):

- 7 viviendas destruidas. Las viviendas construidas de material de adobe y que se encontraban próximas al cauce de la quebrada Huallhuapampa, actualmente se encuentran en estado de inhabitabilidad, debido a que han sido destruidas y algunas totalmente sepultadas.
- Postes de alumbrado público enterrados casi en su totalidad (hasta casi 4 metros), sólo se apreciaron parte de ellos.
- Daños a cultivos y destrucción de la cobertura vegetal.

En la figura 10, se muestra el cartografiado de los peligros geológicos identificados en el centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio. Dicho mapa se elaboró con el uso de imágenes satelitales y los datos tomados en los trabajos de campo.



Fotografía 14. Vista panorámica del movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de detritos) en el centro poblado Hualhuapampa. El evento se inició en las laderas de un cerro ubicado al sureste de este centro poblado, con múltiples escarpas de deslizamientos rotacionales que originaron flujos de detritos de alto poder destructivo. Los flujos de detritos destruyeron viviendas y afectaron postes de alumbrado público en el centro poblado Hualhuapampa

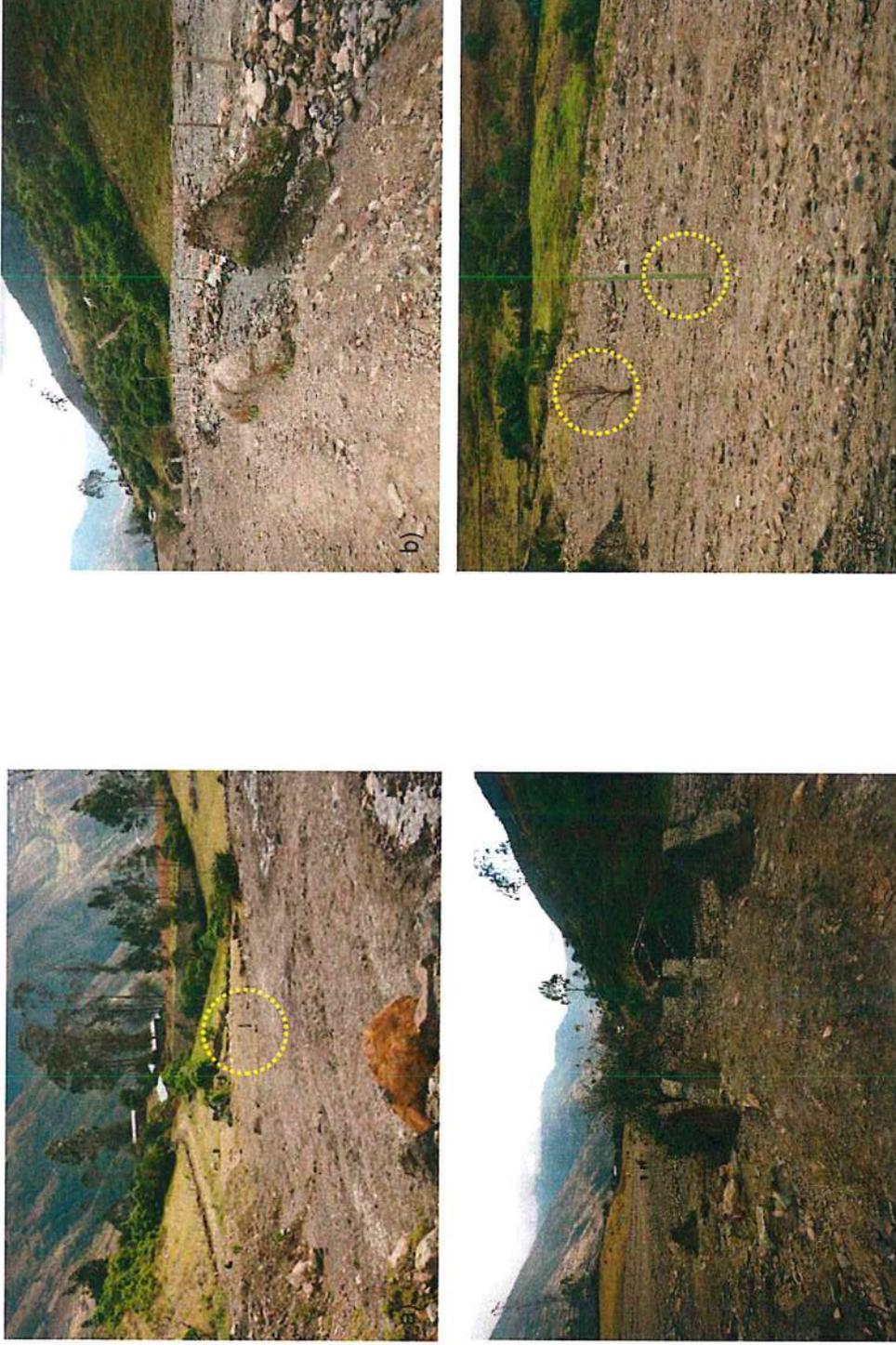


Figura 9. Se muestran los efectos del movimiento complejo en el centro poblado Hualhuapampa: a) Poste de alumbrado público enterrado casi en su totalidad por los flujos de detritos, b) Vivienda destruida y donde se encuentra el cauce actual de la quebrada Hualhuapampa, c) Viviendas destruidas por los flujos de detritos y d) Poste de alumbrado público y árbol enterrado por los flujos de detritos

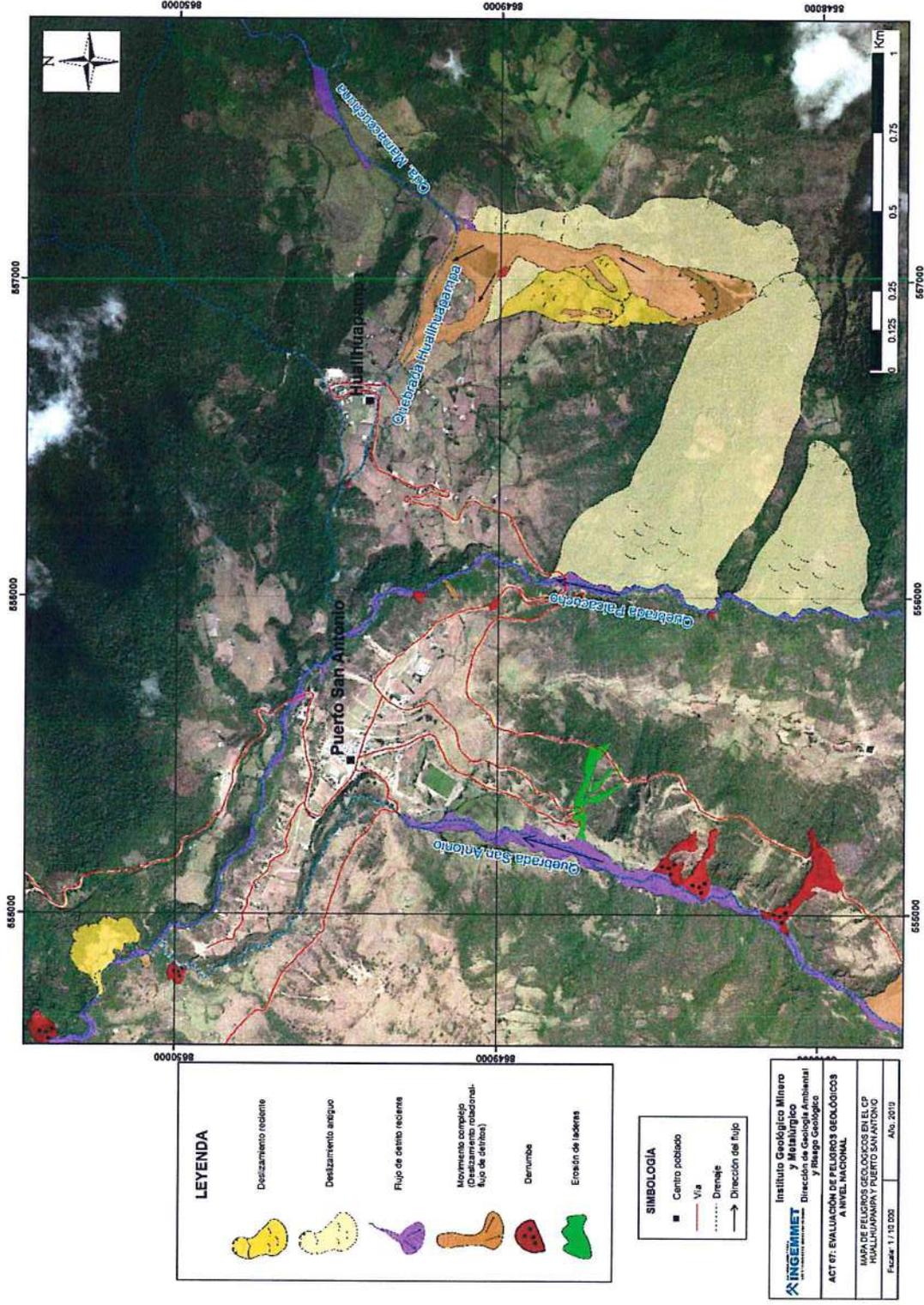


Figura 10. Mapa de peligros geológicos en el centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio

10. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA

A partir de las condiciones geomorfológicas, geológicas, y de sitio identificadas, que caracterizan la susceptibilidad de los peligros geológicos identificados en el centro poblado Huallhuapampa, se requieren de medidas estructurales para poder mitigar y prevenir futuros desastres.

Con ello, se pueden resumir y describir algunas medidas que pueden considerarse para reducir la vulnerabilidad y por tanto el riesgo a estos procesos naturales. En esta sección se dan algunas propuestas de solución de forma general para la zona evaluada con la finalidad de minimizar las ocurrencias de los procesos identificados; así como también evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen daños:

- a) Limpieza y remoción del material detrítico depositado en el centro poblado Huallhuapampa el cual debe ser removido con maquinaria pesada.
- b) Corrección por modificación de la geometría del talud: Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante: En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

- c) Trabajos para restringir la ocurrencia de flujos de detritos.

Para el caso de la zona evaluada existen diversas opciones que se pueden implementar tales como las siguientes:

- **Construcción de presas contenedoras (chek dams):** Se requiere de una estabilización en la zona de inicio de flujos detríticos, con la finalidad de estabilizar y disminuir la carga de material de los posibles flujos que se puedan generar, esto se puede lograr con la construcción de este tipo de presas.

Según VanDine (1996), en la zona de transporte se construyen presas contenedoras en serie, con el fin de disminuir la pendiente en forma local y minimizar la erosión en el fondo y laderas del cauce (figura 11).

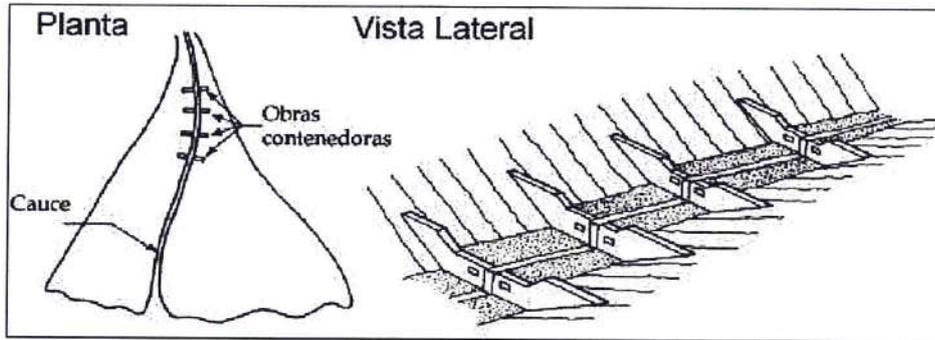


Figura 11. Esquema de ubicación y función de presas contenedor (check dams) (VanDine, 1996)

- **Presas impermeables** o del mismo tipo que las utilizadas como presas contenedoras o consolidadoras, también son utilizadas como obras de almacenamiento (figura 12). El diseño de estas presas consiste en retener gran parte de los sedimentos arrastrados por un aluvión, de esta manera, al entrar el flujo al pie de la ladera, la concentración de sedimentos es lo suficientemente baja como para no causar daños y ser conducido sin mayores problemas (Electrowatt, 1995). Estas obras deben ser mantenidas constantemente con el fin de que se encuentren operativas.

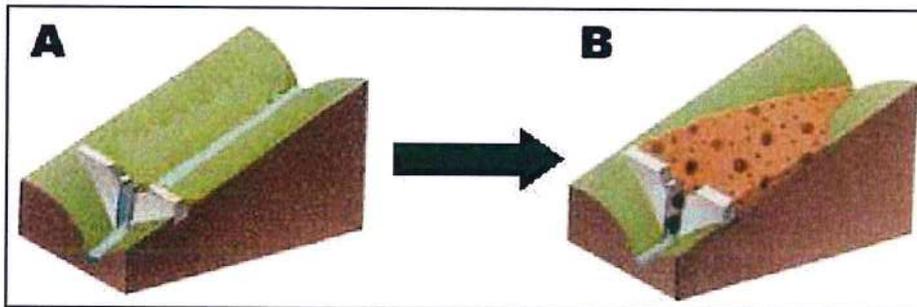


Figura 12. Las presas abiertas permiten que los sedimentos escurran libremente para condiciones normales; cuando ocurre un flujo detrítico de proporciones, los sedimentos son capturados y retenidos temporalmente previniendo desastres hacia aguas abajo

- **Barreras flexibles de cables:** La colocación de este tipo de barras son eficaces contra las cargas dinámicas y estáticas causadas por corrientes de detritos o flujos de lodo siempre y cuando estén diseñados con cables de soporte de alta resistencia. En este caso deben ser diseñados para torrente estrecho de base triangular. Estas barreras tienen muy buenas ventajas con respecto a otros sistemas de contención ya que el tiempo de construcción es reducido considerablemente, además existe un ahorro de costos del 30 al 50% en comparación con las obras de hormigón y pueden diseñarse barreras únicas para avalanchas de hasta 1 000 m³ y barreras múltiples escalonadas para volúmenes de varios miles de m³.

- **Disipadores de energía (debris flow brakers):** Combinar las obras de retención con obras disipadoras de energía. El objetivo de las obras disipadoras de energía no es el de detener o depositar el flujo detrítico, si no que el objetivo consiste en dividir al flujo con el fin de reducir su velocidad y disipar energía, de manera que éste deposite en zonas adecuadas ubicadas hacia aguas abajo. Las estructuras en madera resultan ventajosas por su bajo presupuesto (fotografía 15). Sin embargo, la duración de la madera es limitada, por lo que su uso es recomendado en lugares donde el tiempo en servicio de la construcción no supere los 30 a 50 años. Luego de este tiempo la estrategia de control debe ser remplazada por otras técnicas.



Fotografía 15. Estructura construida en madera (Fiebiger, 2003)

- **Diques desviadores del flujo o barreras deflectoras:** La dirección de flujos detríticos puede ser controlada por la construcción de diques suficientemente altos como para prevenir rebases (Okubo et al., 1997). La diferencia con las barreras laterales es que este tipo de obras impide que el flujo mantenga su dirección natural desviándolo hacia otra zona. Pueden ser utilizadas para proteger alguna estructura, dirigir el flujo hacia otra zona, o aumentar el largo local del cauce, disminuyendo así su pendiente para favorecer la depositación (figura 13) (VanDine, 1996). Además de los criterios de diseño utilizados para la construcción de las obras controladoras de dirección, debido a la curvatura que tendrá el cauce, deben considerarse criterios sobre fuerzas de impacto, sobre-elevación y trepamiento del flujo (VanDine, 1996).

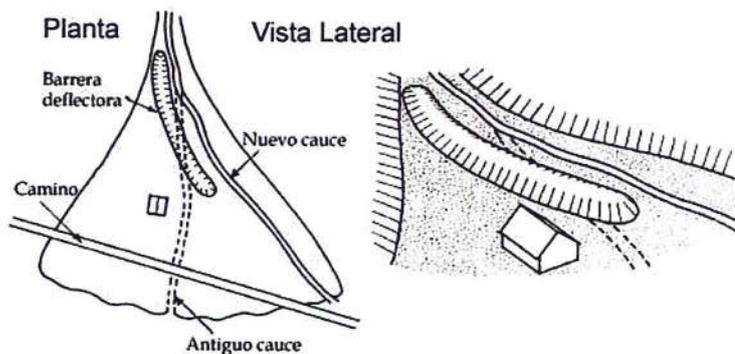


Figura 13. Diques desviadores (VanDine, 1996)

- d) Regeneración de la cobertura vegetal. La utilización de plantas y vegetación resulta muy adecuada debido a su aplicabilidad y compatibilidad con el medio ambiente. Dentro de los efectos está el control de la erosión, protección del suelo contra el viento, lluvia, nieve y heladas, creación de hábitat para la flora y fauna del lugar, reduciendo el impacto de los flujos de detritos.
- e) Medidas para mitigar o prevenir la ocurrencia de deslizamientos:

Los deslizamientos ocurren esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso; asimismo por el socavamiento del agua al pie de deslizamientos, la utilización de canales sin revestir, etc. Algunas, medidas que se proponen para el manejo de estas zonas son:

- Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que favorece a la infiltración y saturación del terreno y susceptible de deslizarse.
- La remoción de la tierra para realizar el cultivo debe ser superficial pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- En las cuencas altas se debe favorecer el cultivo de plantas que requieran poca agua y proporcionen una buena cobertura del terreno para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el terreno.
- El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Evitar el sobre pastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal.
- Realizar el sellado de grietas abiertas formadas por el asentamiento de la ladera, con arcilla; con el objetivo de reducir el ingreso del agua hacia el subsuelo y que se desestabilice más el terreno.

11. CONCLUSIONES

- El centro poblado de Huallhuapampa y Puerto San Antonio se encuentran ubicados en la margen derecha e izquierda, respectivamente, de la quebrada Palcacucho, en zonas susceptibles a movimientos en masa.
- Geomorfológicamente, la población de los centros poblados se encuentra sobre relieves de montañas en rocas metamórficas con pendiente promedio de la ladera entre los 30° y 40°.
- El substrato rocoso, sobre el cual se ubican el centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio, son rocas metamórficas del Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental, constituidas por metasedimentarios, esquistos, filitas y cuarcitas. Se considera a esta secuencia como una roca de calidad regular a mala, muy fracturada; la calidad de la roca se ve reducida por la presencia de las filitas.
- El centro poblado Huallhuapampa es afectado por peligros geológicos tipo deslizamiento, flujo de detritos y movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo detritos), debido a la ocurrencia de precipitaciones pluviales intensas y/o extraordinarias y la exposición por la ocupación urbana no planificada.
- En los alrededores de Puerto San Antonio se identificaron flujos de detritos que destruyeron terrenos de cultivo; la generación de nuevos flujos de detritos podría afectar las viviendas asentadas en la llanura de inundación del valle amplio de la quebrada San Antonio, así como postes de alta tensión. Dichos eventos fueron detonados por las intensas precipitaciones pluviales en este sector.
- Por las condiciones geológicas-geodinámicas, el centro poblado Huallhuapampa y Puerto San Antonio son considerados como Zona Crítica, de peligro muy alto por flujo de detritos y deslizamientos, ante la presencia de lluvias intensas y/o extraordinarias.

12. RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de alerta temprana, en temporadas de precipitaciones pluviales intensas y/o extraordinarias para informar a la población involucrada y que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.
- Implementar un sistema de señalización de rutas de evacuación ante la amenaza de flujo de detritos por precipitaciones pluviales intensas.
- No permitir la construcción de viviendas cerca de los cauces de ríos y quebradas, así como en las zonas que ya fueron afectadas por material proveniente de flujos de detritos (huaicos) ocurridos en el pasado reciente.
- Realizar la limpieza y profundización del cauce de la quebrada, canalizar por medio de la construcción de gaviones en ambas márgenes.
- Ampliar la luz (longitud) de las losas de puentes que cruzan quebradas que acarrean flujos de detritos.
- Las obras de rehabilitación deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.



Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barreda, J. & Cuba, A. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Quiteni y Canaire-Hojas: 24-ñ y 25-ñ. INGEMMET, *Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional*, 118, 230 p.

Cruden, D. & Varnes, D. (1996) - Landslides types and processes. In Turner, A.K & Schuster, R.L. Editores (1996). *Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 672 p.

Dirección de Geología Ambiental (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú- Franja N° 3. INGEMMET, *Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 28, 373 p.

Hungr, O.; Evans, S. G.; Bovis, M. & Hutchinson, J. N. (2001) - Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geosciences*, 7, 1-18.

Hungr, O. & Evans, S. G. (2004) - Entrainment of debris in rock avalanches: an analysis of a long run-out mechanism. *Geological Society of America Bulletin*, v. 116:1240-1252.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, *Publicación Geológica Multinacional*, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Varnes, J. (1978) - Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, *Landslides analysis and control*. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

Vílchez, M. & Ochoa, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Huancavelica. Informe Técnico. INGEMMET, 56 p.