

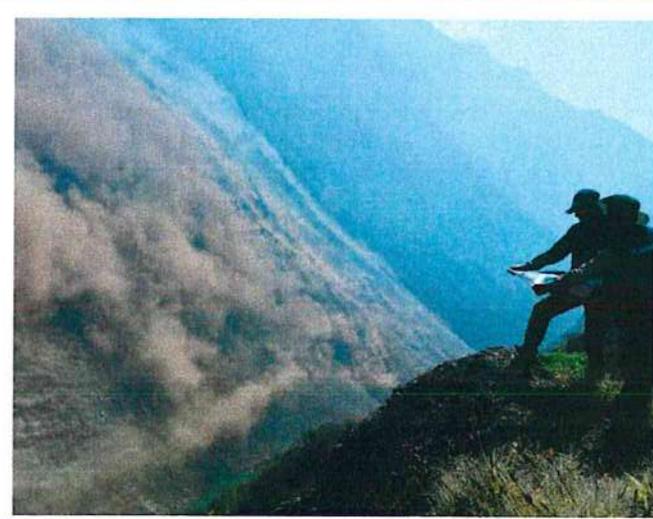
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6934

EVALUACIÓN DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR LLACTABAMBA



Región Apurímac
Provincia Andahuaylas
Distrito Huancarama



AGOSTO
2019

INDICE

1. RESUMEN.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. ASPECTOS GENERALES.....	5
3.1. Ubicación y accesibilidad.....	5
3.2. Clima e hidrografía.....	8
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS.....	8
4.1. Geomorfología.....	8
4.2. Geología.....	10
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	14
5.1. Deslizamientos.....	14
5.2. Caídas.....	17
5.3. Inundaciones.....	28
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES	31

INSPECCIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE LLACTABAMBA

1. RESUMEN

De acuerdo a fuentes oficiales de la Presidencia del Consejo de Ministros, El 27 de julio del presente año, a las 13:00 horas, se suscitó una serie de derrumbes en la ladera del cerro Chamanayoc, afectando directamente a los centros poblados de Llactabamba y Socoro en el Distrito de Huancarama, provincia de Andahuaylas y en los distritos de Abancay y Tamburco, provincia de Abancay en el departamento de Apurímac.

Para la evaluación de este evento, se realizaron dos inspecciones técnicas, la primera con los objetivos de cartografiar los movimientos en masa reactivados por la dinámica de laderas, toma de datos referentes a la geometría y características físicas del evento, diferenciación de los procesos geodinámicos y determinación de los posibles factores condicionantes. La segunda inspección tuvo como objetivo principal realizar un vuelo drone sobre el deslizamiento y derrumbes, para obtener un Modelo de Elevación Digital (DEM).

La metodología aplicada para este trabajo consiste primeramente en la fotointerpretación con fotografías aéreas del año 1962 y el análisis de imágenes de satélite antes, durante y posterior a producirse el evento. Seguidamente, los datos obtenidos en campo tales como la cartografía a detalle de los procesos geodinámicos, la toma de datos de las principales características geológicas y geomorfológicas del ámbito de estudio (relieve, litología, pendiente, morfometría entre otros) son procesados en gabinete. Por otro lado, los datos obtenidos con el sobrevuelo drone, son procesados a través de un ordenador y un software (Agiosoft) que permite la generación de un modelo digital con el cual se ha realizado una estimación numérica de la cantidad de volumen de material (detritos y rocas) que podría deslizarse ladera abajo y generar el represamiento del río Pachachaca.

Los principales resultados obtenidos a partir de la fotointerpretación y análisis de imágenes satelitales han sido la cartografía de los peligros geológicos (análisis espacial y temporal). Para ello se elaboraron una serie de mapas temáticos con información referente a los movimientos en masa y su actividad en el pasado, su estado actual y una proyección hacia el futuro. Así mismo, el registro fotográfico y la interpretación de los datos tomados en campo, han permitido la redacción de dos informes (primer informe e informe final).

Se ha estimado un volumen de 363 000 m³ de material entre detritos y bloque de rocas que podría desplazarse al fondo del valle, llegando a represar el río pachachaca en el peor de los escenarios. Este resultado, permite inferir la dinámica y el comportamiento del deslizamiento en caso llegue a ocurrir, tomando en cuenta los registros históricos de movimientos en masa ocurridos en el valle.

Se ha concluido que los factores condicionantes que han generado la secuencia de derrumbes son:

- a) El substrato rocoso altamente fracturado y con intensa meteorización.
- b) El relieve y la pendiente de la ladera (30° a 50°)
- c) La erosión lateral ocasionada por el cauce del río Pachachaca.
- d) Los efectos de la erosión eólica diferencial

Finalmente, como consecuencia de la intensa dinámica de laderas (derrumbes), se viene produciendo una extensa polvareda que, con la intervención del viento, tiende a expandirse por todo el valle del río Pachachaca, perjudicando de manera directa las principales actividades de sustento de los poblados de Socoro y Llactabamba. Otros poblados, también se encuentran afectados en menor grado por la distancia a la que se encuentran ubicados.

2. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el apoyo y/o asistencia técnica a los gobiernos locales, regionales y nacional; su alcance consiste en contribuir con entidades gubernamentales en el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios vulnerables, con la finalidad de proporcionar una evaluación técnica que incluya resultados y recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención.

El alcalde de la Municipalidad Distrital de Huancarama, mediante un primer oficio N° 0297-2019-MDH/A de fecha 31 de julio de 2019, se dirige al presidente del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando una evaluación técnica de los derrumbes que se vienen produciendo en el sector Ninabamba del distrito de Huancarama, Provincia de Andahuaylas, región Apurímac.

Un segundo oficio emitido por el Sr. Richard Arce Cáceres, congresista de la república del Perú, mediante oficio N° 305-2019-RAC-CR de fecha 02 de agosto de 2019, se dirige al presidente del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando con carácter de urgencia información detallada técnico-científico, sobre el deslizamiento de tierra en el cerro Chamanayoc, que vienen ocasionando la presencia de densa polvareda en las localidades de Llactabamba, Soccoro del distrito de Huancarama, así como en el valle de Pachachaca y la ciudad de Abancay – Apurímac.

Finalmente, el gobernador de la región Apurímac, mediante oficio N° 301-2019-GR APURÍMAC/GR de fecha 02 de agosto de 2019, se dirige al presidente del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando la intervención urgente de profesionales para realizar un estudio técnico – científico que permitan precisar las acusas del deslizamiento.

En respuesta, el presidente del INGEMMET a través del director del área de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), designó a los ingenieros Pool Vasquez, Gonzalo Luna y Enoch Aguirre especialistas en temas de movimientos en masa, para realizar los trabajos de evaluación del peligro geológico en el cerro Chamanayoc.

La primera brigada, conformada por los ingenieros Pool Vasquez y Gonzalo Luna, efectuaron trabajos de campo (cartografía, registro fotográfico y descripción general de los procesos geodinámicos) los días 03 y 04 de agosto. La segunda brigada de campo conformado por los ingenieros Enoch Aguirre y Gonzalo Luna, tuvo como objetivo realizar trabajos de fotogrametría a través de un vuelo drone, trabajo que se llevó a cabo los días 09, 10 y 11 de agosto del 2019.

Para los trabajos en campo, se contó con el apoyo del INDECI a través de su personal conformado por el señor Juan Martín Mariscal Quiroz, Sub Director de Gestión Operativa de la Dirección de Respuesta INDECI - Lima, la Ing. Jennifer Harvey Recharte, especialista en Gestión de Riesgo de Desastres del INDECI - Apurímac y miembros del gobierno regional Apurímac.

La evaluación técnica por parte de los profesionales del INGEMMET, se ha dividido en tres etapas, la primera, abordó exclusivamente la toma de datos generales del evento in situ y alrededores, la evaluación del contexto geológico y geomorfológico general del valle del río Pachachaca y finalmente la caracterización geodinámica en ambos márgenes de la ladera.

La segunda etapa, está referida al registro de imágenes desde un vuelo DRONE por encima de la ladera, donde se presentan los movimientos en masa, a través de esta metodología se

ha obtenido un conjunto de insumos como el Modelo de Elevación Digital del terreno y un ortomosaico de alta resolución que permite un cartografiado de mayor detalle y precisión.

Finalmente, la tercera etapa se efectuó en gabinete y comprende la elaboración de dos informes, el primero como un primer reporte que fue remitido oficialmente el viernes 09 de agosto con carácter de urgencia a las instituciones involucradas en el tema. El presente informe describe los procesos geodinámicos en la zona de trabajo con mayor detalle, añadiendo los resultados producto del procesamiento mediante software y ordenador del conjunto de datos obtenidos por el vuelo drone.

Así mismo, este informe, se pone en consideración del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, autoridades y funcionarios de los gobiernos central, regional y a nivel de municipios, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción de riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

2.1. Antecedentes

El año 2003 el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, elaboró un Estudio de Riesgos Geológicos de la franja N° 3, paralelos 12° - 14° latitud sur de Perú que comprende parte de los departamentos de Lima, Ica, Ayacucho, Huancavelica, Cusco, Apurímac, Puno y Madre de Dios. Entre las ciudades más importantes localizadas dentro de la franja N° 3, tenemos a Cusco, Puerto Maldonado, Ayacucho, Huancayo, Huancavelica, Lima y Abancay.

Los trabajos de INGEMMET para la Franja N° 3, ha sido identificar los peligros geológicos naturales y antropogénicos que han afectado y afectan toda la franja. Esto permite evaluar la susceptibilidad de ocurrencia de los mismos. Analizar la vulnerabilidad preliminar de zonas específicas de trabajo, efectuar la zonificación de riesgo geológico preliminar del área de la Franja N° 3, para la seguridad física de las poblaciones y obras de infraestructura. Finalmente, actualizar el banco de datos de movimientos en masa.

Actualmente, toda la información se encuentra registrada e ilustrada en la base de datos de los peligros geológicos por movimientos en masa, en el sistema *on line* del GEOCATMIN en la página web del INGEMMET, la misma que el usuario puede visualizar de forma gratuita desde cualquier ordenador y en cualquier lugar. Mostramos como ejemplo la capa del mapa de susceptibilidad (Figura 1).

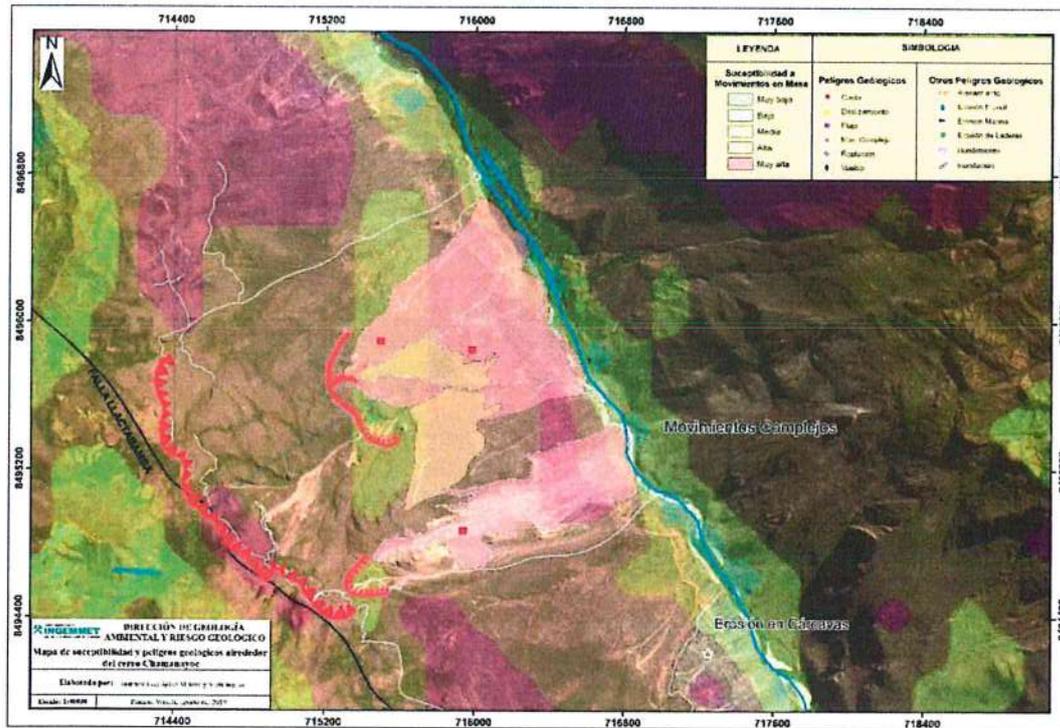


Figura 1. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en el área de trabajo

2.2. Objetivos

Realizar una evaluación técnica, describiendo el fenómeno *in situ* a través de la fotointerpretación, cartografiado de los peligros geológicos, registro fotográfico y descripción de las principales características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas (naturales o antrópicas), que originaron los derrumbes en el cerro Chamanayoc.

Elaborar un informe, considerando los datos de la inspección en campo y resultados de un sobrevuelo con dron sobre el área de los derrumbes. De esta manera dar a conocer las conclusiones y recomendaciones a implementar como medidas de prevención para la mitigación de los peligros geológicos. El informe es importante, puesto que es una guía para que las autoridades competentes actúen de manera adecuada, en la prevención y reducción de riesgos de desastres por el bien de las poblaciones aledañas.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y accesibilidad

La zona evaluada está ubicada, en el flanco este del cerro Chamanayoc, margen izquierdo del río Pachachaca, muy cerca del distrito Huancarama, provincia Andahuaylas y departamento de Apurímac (Figura. 2). Las coordenadas UTM del punto central de referencia son N8495038 E716334, cota de 2050 m.s.n.m. El itinerario y los accesos hacia la zona de trabajo, se detallan en el cuadro 1.

Itinerario: Lima-Cusco-Abancay-Cusco-Lima		
Fecha	Traslado por:	Trabajos desarrollados
02-08-19	Vía aérea: Lima – Cusco Vía terrestre: Cusco-Abancay	Preparación de equipos Llegada a la ciudad de Abancay
03-08-19	Vía terrestre: Abancay-Llactabamba-Cecchacpata-Abancay	-Cartografiado de peligros geológicos -Recolección de datos -Registro fotográfico -Reunión de plataforma
04-08-19	Vía terrestre: Abancay-Sayhuapata-Abancay-Cusco	-Recolección de datos -Registro fotográfico -Reunión de plataforma -Retorno a la ciudad de Cusco
05-08-19	Vía aérea: Cusco- Lima	- Retorno a la ciudad de Lima
10-08-19	Vía terrestre: Abancay-Llactabamba.	- Planificación y ejecución de vuelo de drone sobre el deslizamiento del cerro Chamanayoc.
11-08-19	Vía terrestre: Abancay-Llactabamba-Cecchacpata-Abancay	-Planificación y ejecución de vuelo de drone sobre el deslizamiento del cerro Chamanayoc. -Participación en la reunión del COER Apurimac
12-08-19	Vía terrestre: Abancay-Llactabamba-Cecchacpata-Abancay	-Planificación y ejecución de vuelo de drone sobre el deslizamiento del cerro Chamanayoc. -Reunión con los pobladores de Soccoro y Llactabamba

Cuadro 1: Itinerario de viaje para la evaluación de peligros geológicos en el sector Llactabamba

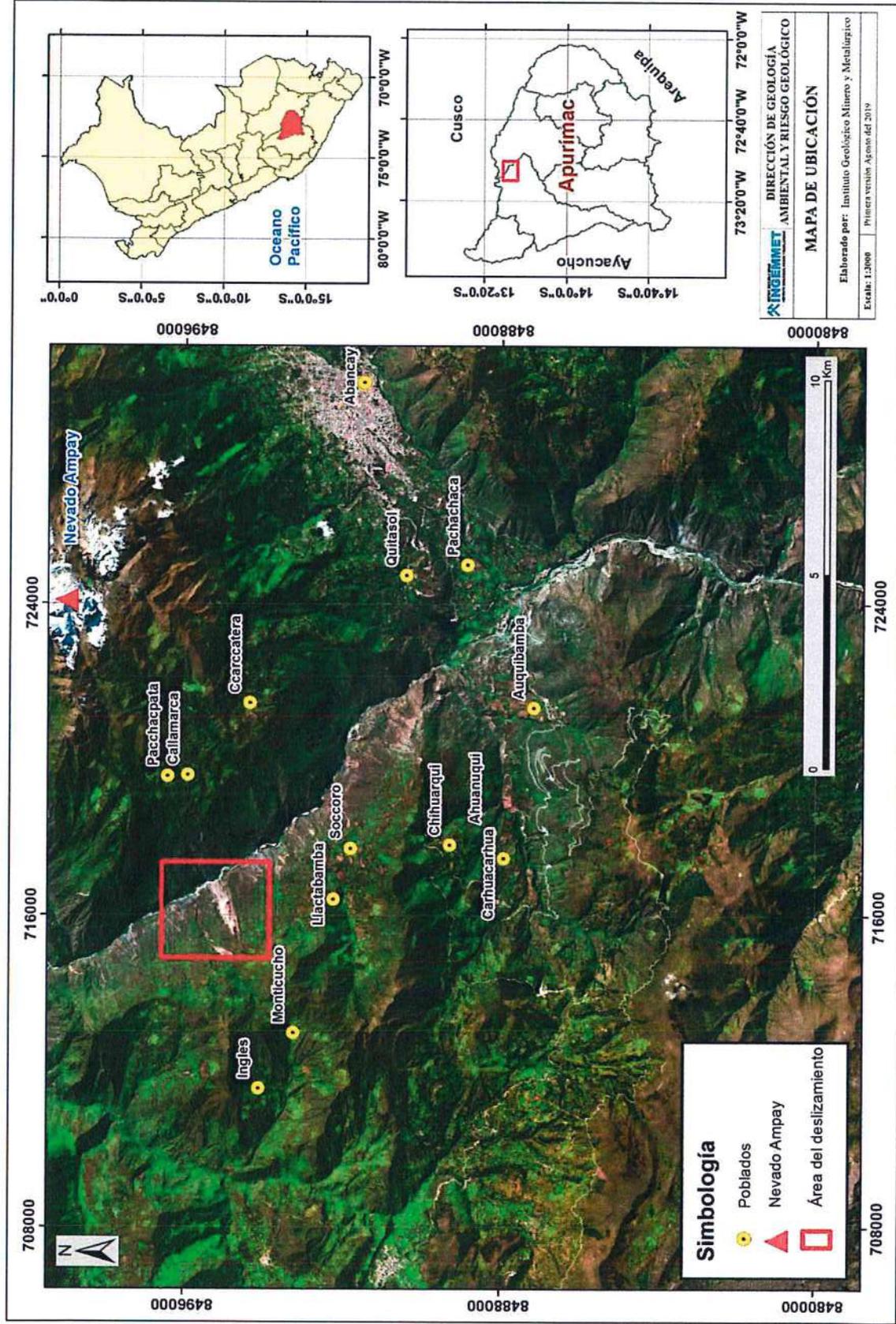


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio

3.2. Clima e hidrografía

El clima que caracteriza el área de estudio es cálido y húmedo, puesto que se trata de un valle encañonado profundo, la temperatura varía de acuerdo a la altitud, siendo la temperatura promedio anual máxima de 26.2 °C y mínima de 11.9 °C. la humedad es alta en los meses de febrero y marzo alcanzando a registrar hasta 90%, y baja en los meses de junio y julio hasta registrar el 50% de humedad relativa.

Geográficamente, el valle cañón del río Pachachaca constituye uno de los sistemas hidrológicos más importantes de la región y del país, siendo este el segundo más profundo luego del cañón del Apurímac, con un gran potencial hídrico.

Las precipitaciones son abundantes entre los meses de diciembre y abril, los periodos con escasa precipitación son de mayo a noviembre.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

La zona de derrumbes se encuentra ubicado sobre un valle con vertientes de alta pendiente (30° a 50°) encañonado, un relieve agreste, cuya geoforma es característica de los ríos juveniles. Así mismo, las laderas abruptas labradas en rocas sedimentarias de ambos flancos del valle del río Pachachaca (foto 1) presentan gran cantidad de material grueso en el cauce como bolos y bloques de roca, provenientes de los constantes derrumbes en las paredes de la ladera del cerro.

Litológicamente, la ladera del cerro Chamanayoc está conformada por una secuencia de capas rojas, conglomerados, areniscas intercaladas con limolitas rojizas con contenido de carbón y rocas volcánicas de composición andesítica del Grupo Mitu. El clima es un factor predominante para hacer a estas rocas susceptibles a los fenómenos de remoción en masa debido a que la variación de la textura entre los mismos tipos de roca hace que su comportamiento geomecánico sea diferente. Por ende, el Grupo Mitu tiende a experimentar deslizamientos, desprendimiento de rocas, derrumbes y erosión de laderas tal y como se describe en el boletín de estudio de riesgos geológicos de la franja 3 del INGEMMET.

4.1. Geomorfología

4.1.1. Pendiente del terreno

En la zona de derrumbes, la ladera del margen izquierdo del cerro Chamanayoc presenta pendientes fuertes (15° a 25°) a muy escarpadas (>45°), esto facilita los procesos de remoción de masas y la inestabilidad de laderas (figura 3).

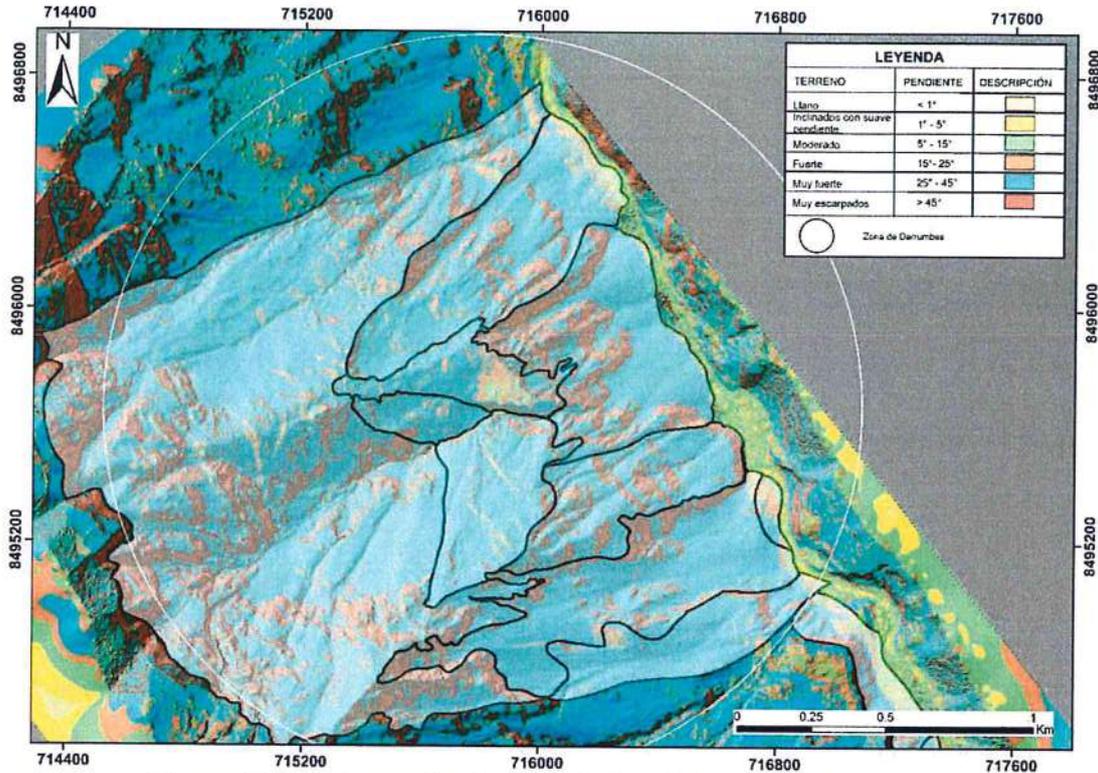


Figura 3. Mapa de pendientes en la ladera del cerro Chammanayoc

4.1.2. Unidades geomorfológicas

Unidad de Montaña

Formas topográficas positivas que se presentan en las márgenes del río Pachachaca, son abruptas y de altas pendientes, formando así un valle encañonado de tipo juvenil, se diferencian por sus características litológicas en la margen izquierda están compuestas por caliza y lutitas de la formación Copacabana, mientras que en la margen derecha su composición es más clástica (areniscas y lutitas) del grupo Mitú y formación Ausangate.

Montaña en Rocas Vulcano-sedimentarias con laderas de fuerte pendiente

Presentan pendientes de 30° a 70° río abajo de la zona de derrumbes, están compuestas mayoritariamente por rocas del grupo Mitú (areniscas intercaladas con lutitas y conglomerados con clastos volcánicos), ríos abajo forman un cañón escarpado y agreste con dirección Andina de difícil acceso modelado por erosión fluvial del río Pachachaca.

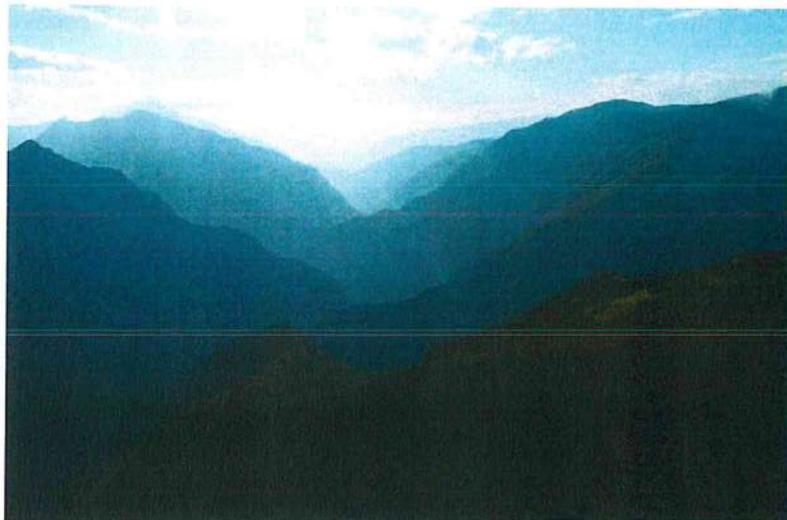


Foto1. Montañas de composición volcanosedimentarias, río abajo de las zonas de derrumbe

Montaña en Roca Sedimentarias

Su asociación litológica en su mayoría son areniscas intercaladas con lutitas de la formación Ausangate, se encuentran por encima de las montañas volcanosedimentarias, con pendientes de 20° a 55°, levantadas probablemente por acciones tectónicas y modeladas por erosión eólica



Foto 2. Montañas sedimentarias de alta pendiente, pertenecientes al Grupo Mitú

4.2. Geología

Grupo Mitú

Litológicamente, está compuesto por conglomerados, areniscas de composición feldespáticas de grano fino a grueso, limolitas y pelitas, que en conjunto son de color rojo a veces verdes (figura 4). Los conglomerados presentan clastos subangulosos volcánicos,

intrusivos, areniscas y cuarcitas, englobados en una matriz areno-arcillosa. A los anteriores se intercalan algunos niveles de brechas volcánicas y andesitas caracterizadas en conjunto por sus coloraciones verdes y rojo violáceas (Valdivia et al 2003).

Por su posición estratigráfica, esta unidad es considerada del Pérmico tardío, debido a que suprayace a las calizas del Grupo Copacabana (Pérmico inferior) (Lipa et al 2003) que afloran en la margen derecha del río Pachachaca.



Figura 4. Estratificación visible del Grupo Mitu

Formación Ausangate

Está constituida litológicamente por una intercalación de pelitas, limolitas y areniscas de coloración rojo ladrillo y pardas, en bancos delgados a medios; son menos frecuentes los niveles de yesos (foto 3 y figura 5). Las areniscas son de grano medio a fino a veces grueso y de composición cuarzo-feldespática. (Valdivia et al 2003).

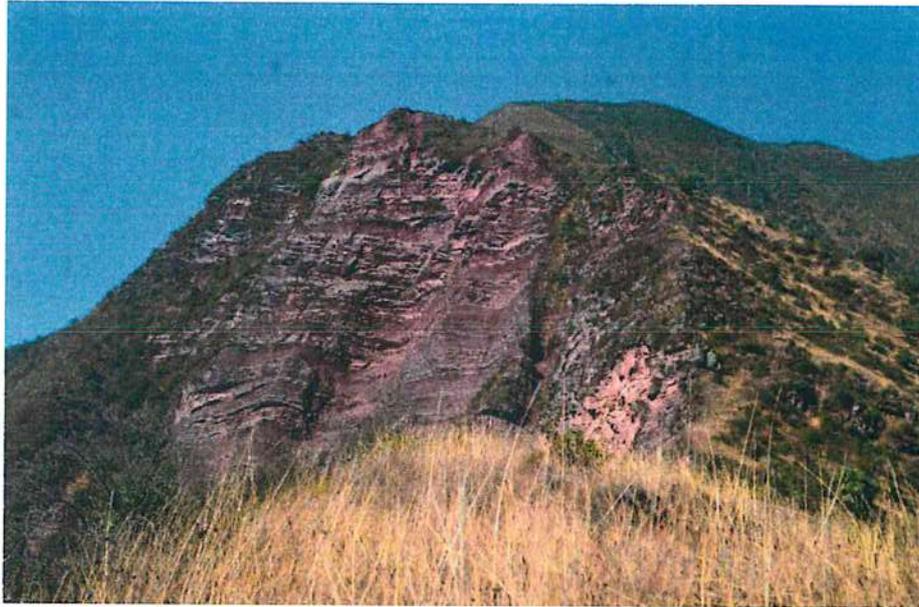


Foto 3. Afloramiento de roca sedimentaria de la formación Ausangate

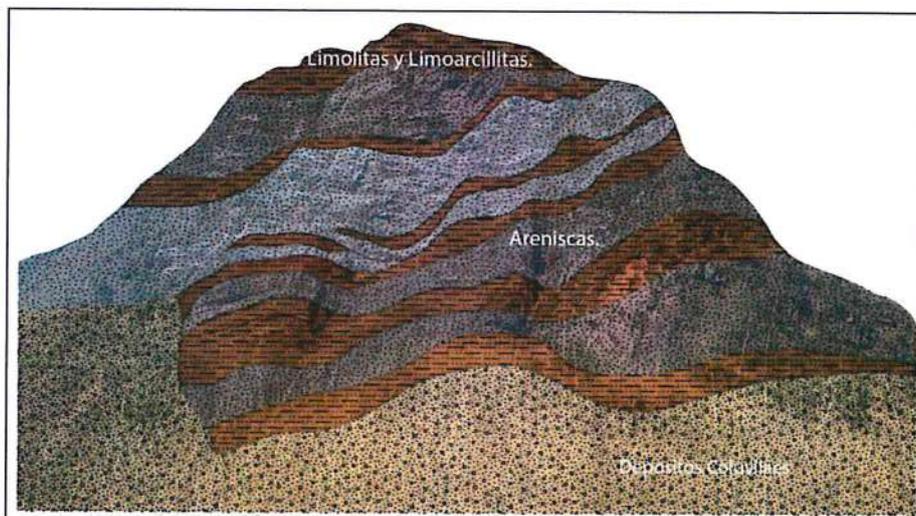


Figura 5. Representación esquemática de la estratificación de la Formación Ausangate

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica) actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana. Esto implica que la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa comienza desde el mismo momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial.

5.1. Deslizamientos

Las características y evidencias principales que presenta este evento, están en función a la geografía y al relieve agreste que presenta el valle en su conjunto. Siendo las principales, la elevada pendiente de las laderas (35° a 50°), el substrato rocoso que está conformado por rocas volcánicas y sedimentarias de forma intercalada correspondientes al Grupo Mitu que a la vez son susceptibles a procesos por gravedad. Todo ello implica directamente la generación de movimientos en masa en las laderas de ambos márgenes del río Pachachaca.

a. Deslizamientos Antiguos

A lo largo del tiempo, la geodinámica de laderas en el valle ha sido intensa, suscitándose grandes movimientos en masa de diferente tipología. Los escarpes y el material desplazado en varias zonas del valle, evidencian deslizamientos antiguos, derrumbes de roca y depósito de sedimentos en el pie de ladera (cono de detritos). La identificación y cartografía de estos movimientos en masa se ha realizado a través de fotografías aéreas del año 1962 (fotointerpretación) y análisis de imágenes satelitales SPOT y PERUSAT.

Actualmente, se encuentra activa la ladera del margen izquierdo del río Pachachaca, no obstante, en el pasado la ladera contraria (margen derecho del río) soportó diversos movimientos en masa. Es así, que se han identificado dos deslizamientos de gran dimensión, el primero en el segmento de ladera entre las quebradas Collas y Masurcana (cerro Tinimpata) se evidencia que el deslizamiento es muy antiguo (polígono de mayor tamaño) con un escarpe en la cabecera actualmente poco claro. Hoy en día el material del deslizamiento se encuentra cubierto por gran cantidad de vegetación, la misma que ayuda a que la ladera se estabilice de manera natural. Las dimensiones aproximadas del escarpe son de 1 km de recorrido y el ancho de la masa desplazada fluctúa entre 1 km cerca al escarpe y 1.5 km en la parte terminal (contacto con el río Pachachaca). Así mismo, el largo de la masa es aproximadamente 3.5 km desde el río hasta la zona de escarpe.

El segundo, se trata de otro movimiento en masa con evidencia de una actividad más reciente (polígono de menor tamaño), identificado y cartografiado a través de fotos aéreas del año 1962, muestra un gran deslizamiento en el sector Secchacpata cerca a la quebrada Collas que represó el río Pachachaca de manera temporal antes del año 1962 (fecha de la foto aérea). El escarpe y masa deslizada se encuentra dentro del cuerpo del deslizamiento antiguo y más grande anteriormente descrito. Las características principales del deslizamiento, es que se nota claramente un escarpe definido, pero no presenta una superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada. Muy por el contrario, se evidencia que hubo solo un abultamiento al pie de la masa que obstruyó el paso del río, puesto que una parte del material aún se conserva al otro lado del río (run up).

Así también, en gran parte de la ladera se puede evidenciar cárcavas unas más profundas e irregulares que otras, alineadas de forma casi paralela de variadas dimensiones, la mayoría de ellas rellenas de vegetación. En épocas de lluvia, el agua producto de la precipitación, realiza su recorrido a través de estas cárcavas, convirtiéndolos en canales naturales de riego desembocando en el río Pachachaca.

La litología predominante en la ladera corresponde a lutitas negras del terciario superior correspondientes al Grupo Copacabana. En menor cantidad afloran calizas de color blanquecino. Las lutitas contienen restos vegetales, tales como helechos y cortezas de árboles (*Lepidodendron* sp.) según Dunbar y Newell (1946).

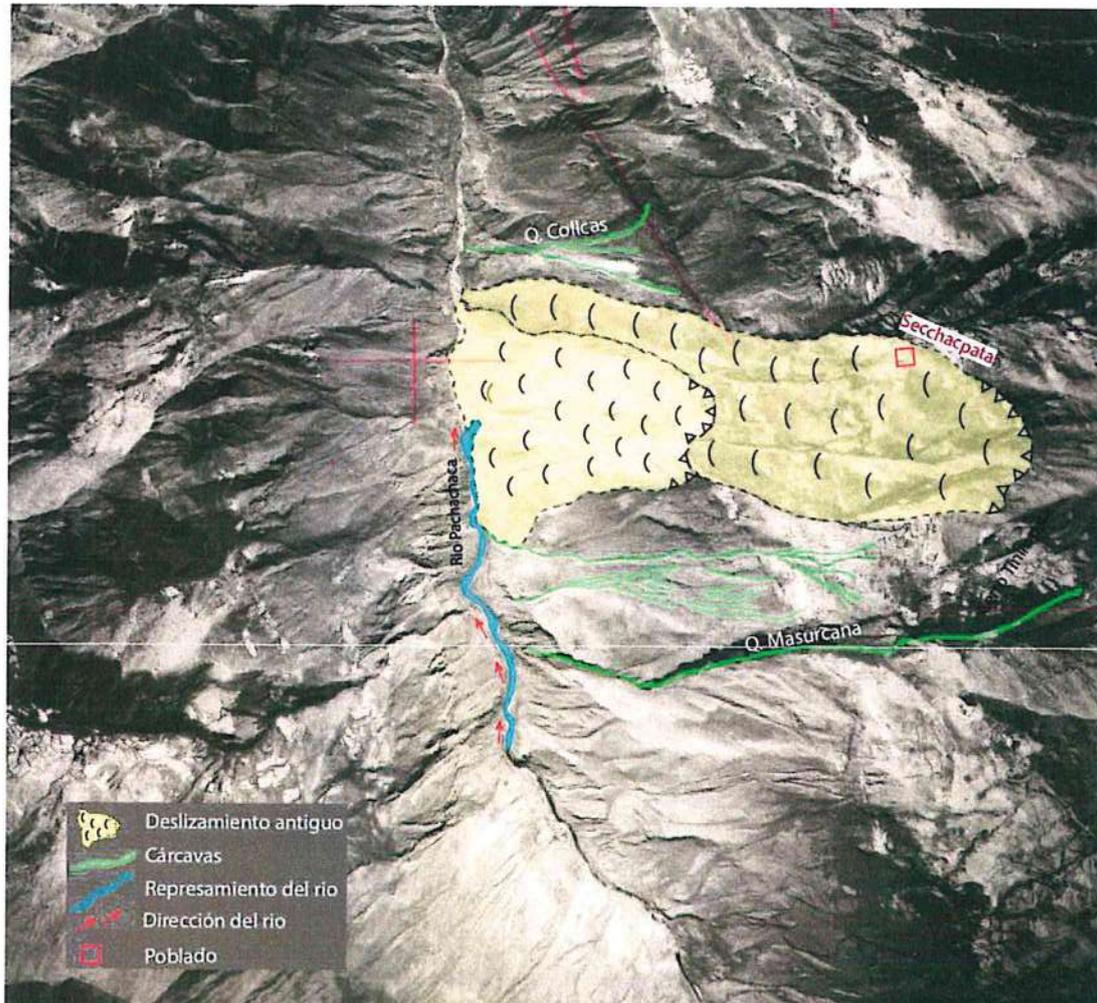


Figura 7. Deslizamientos antiguos en el sector Secchapata que en su momento represó el Río Pachachaca (foto aérea 1962)

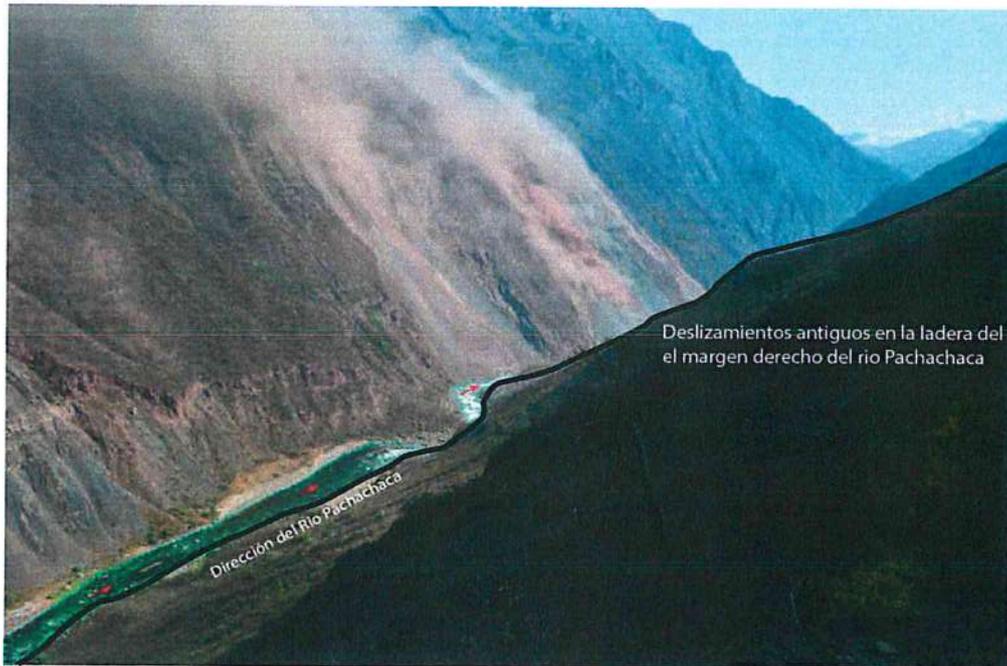


Figura 8. Ladera hacia el margen derecho del Río Pachachaca donde se encuentran dos deslizamientos antiguos

b. Deslizamientos con dinámica reciente

Actualmente, a través del análisis de imágenes de satélite y fotos tomadas en campo, se ha evidenciado un escarpe de gran dimensión en la parte alta de la ladera del margen izquierdo del Río Pachachaca (ladera opuesta a la anteriormente descrita), evidenciando un salto de entre 20 a 25 m (figura 9A). En el límite entre la corona y el escarpe (salto del deslizamiento), se encuentra un afloramiento rocoso (areniscas del grupo Mitu) que claramente indica un ligero desplazamiento de la masa con dirección al río. Las observaciones en campo y un registro fotográfico durante la inspección, indican que actualmente, el material del deslizamiento posee una dinámica lenta pendiente abajo influido por gravedad (figura 9B).

Un factor condicionante para que se genere este proceso de movimiento en masa, es el substrato rocoso conformado por la alternancia de rocas volcánicas con rocas sedimentarias del Grupo Mitu, los mismos que se encuentran altamente fracturados y con intensa meteorización. El relieve y la pendiente de la ladera favorecen de gran manera el desplazamiento del material ladera abajo en dirección al río Pachachaca.

La erosión lateral del río ha contribuido en la desestabilización del material que se encuentra en la ladera, a causa de la fuerte fricción que el río ejerce al momento de entrar en contacto con el material, originándose así un proceso de socavamiento natural.

La ausencia de vegetación en gran parte de la ladera, favorece la inestabilidad de la misma, puesto que el material suelto (suelo) no tiene la capacidad de permanencia y estabilidad frente a los agentes condicionantes que facilitan los movimientos en masa. El papel que cumple la vegetación como agente regulador de los procesos que intervienen en la generación de pérdida de suelo es a través de sistemas radicales, adoptando así un proceso de control de la erosión.

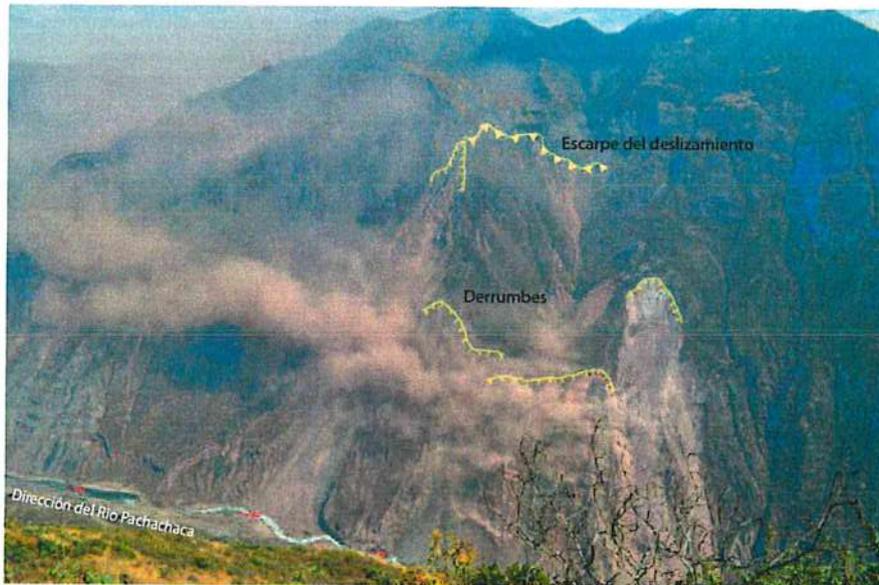


Figura 9A. Ubicación del escarpe del deslizamiento y los derrumbes

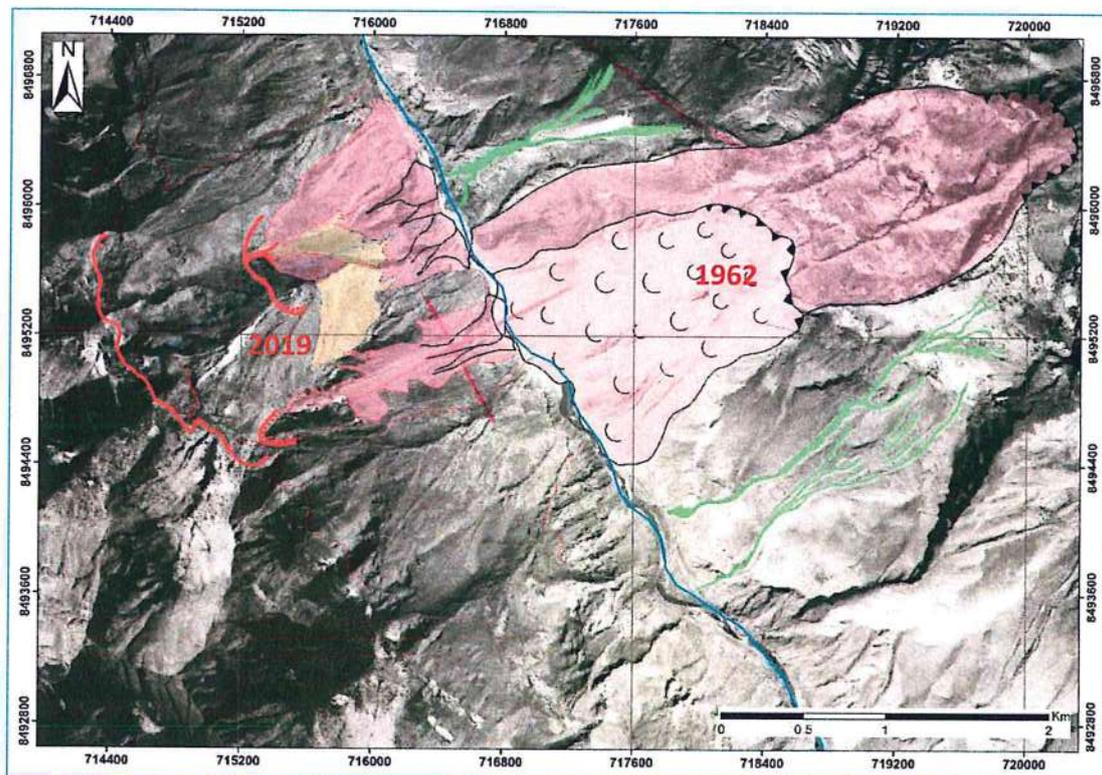


Figura 9B. Ubicación en el espacio de los fenómenos de movimientos en masa ocurridos el año 1962 y los actuales 2019

5.2. Caídas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

Por debajo de la escarpa principal (figura 10A) y dentro de la masa del deslizamiento (figura 10B), se observa una serie de caída de detritos y bloques de roca desde la parte alta de la ladera con dirección al río Pachachaca (figura 10C).

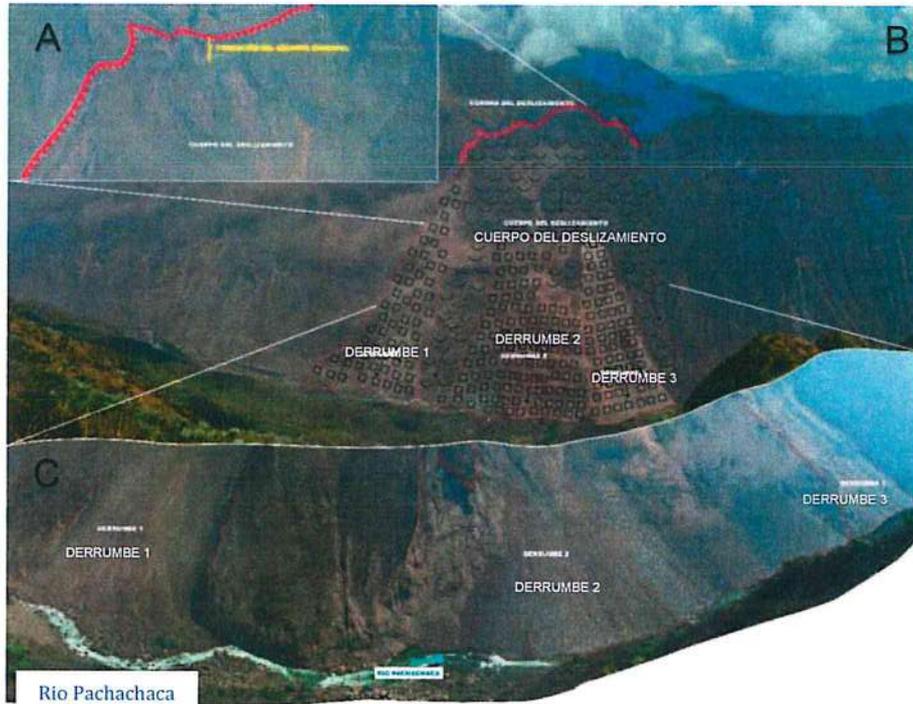


Figura 10A, B y C. Delimitación de la escarpa principal B) Se aprecia escarpa y cuerpo del deslizamiento. C) Conoides de deyección en el pie de la ladera.

En general el material que cae por la ladera está constituido por una variada granulometría que van desde limos (0,004 - 0,032mm); arenas (0,032-2mm); gravas (2 a 256mm) y bloques (>256mm) que llegan a depositarse en las partes bajas (cuadro1).

Tamaño del clasto o cristal en mm.	Clastos sedimentarios		Fragmentos volcanoclasticos	Rocas cristalinas, igneas, metamórficas o sedimentarias.
256	Bloques	GRAVA	Bloques y bombas	Grano muy grueso
64	Grava			
16	Gujarro		Lapilli	Grano grueso
4	Granos			
2	Arena muy gruesa	ARENA	Ceniza gruesa	Grano medio
1	Arena gruesa			
0.5	Arena media			
0.25	Arena fina			Grano fino
0.125	Arena muy fina			
0.032	Limo	LODO	Ceniza fina	Grano muy fino
0.004	Arcilla			Criptocristalino

Cuadro 1. granulométrico de Wentworth, modificado por BGS

Los detritos que caen por la pendiente, es depositado en la parte baja de la ladera en forma de conoides, estas geoformas están canalizadas en la parte inicial, expandiéndose en forma de abanico en la parte terminal. Estos conoides han invadido en gran medida parte del río, modificando ligeramente el cauce original. La fuerza de las aguas del río, arrastra gran parte del material, evitando la obstrucción del mismo, pese a que la caída de material desde las partes altas es constante.

Por otro lado, el material más grueso (bloques y cantos rodados), también experimentan el recorrido por toda la ladera y por encima de los conoides, terminando finalmente en el fondo de la quebrada y en algunos casos suelen pasar al otro extremo de río. La mayor parte de este material grueso, se queda en los márgenes y en medio del cauce, estos bloques de roca llegan a dimensiones de hasta 3m de diámetro (figura 11).



Foto 4. Presencia de bloques depositados en los márgenes y sobre el cauce del río

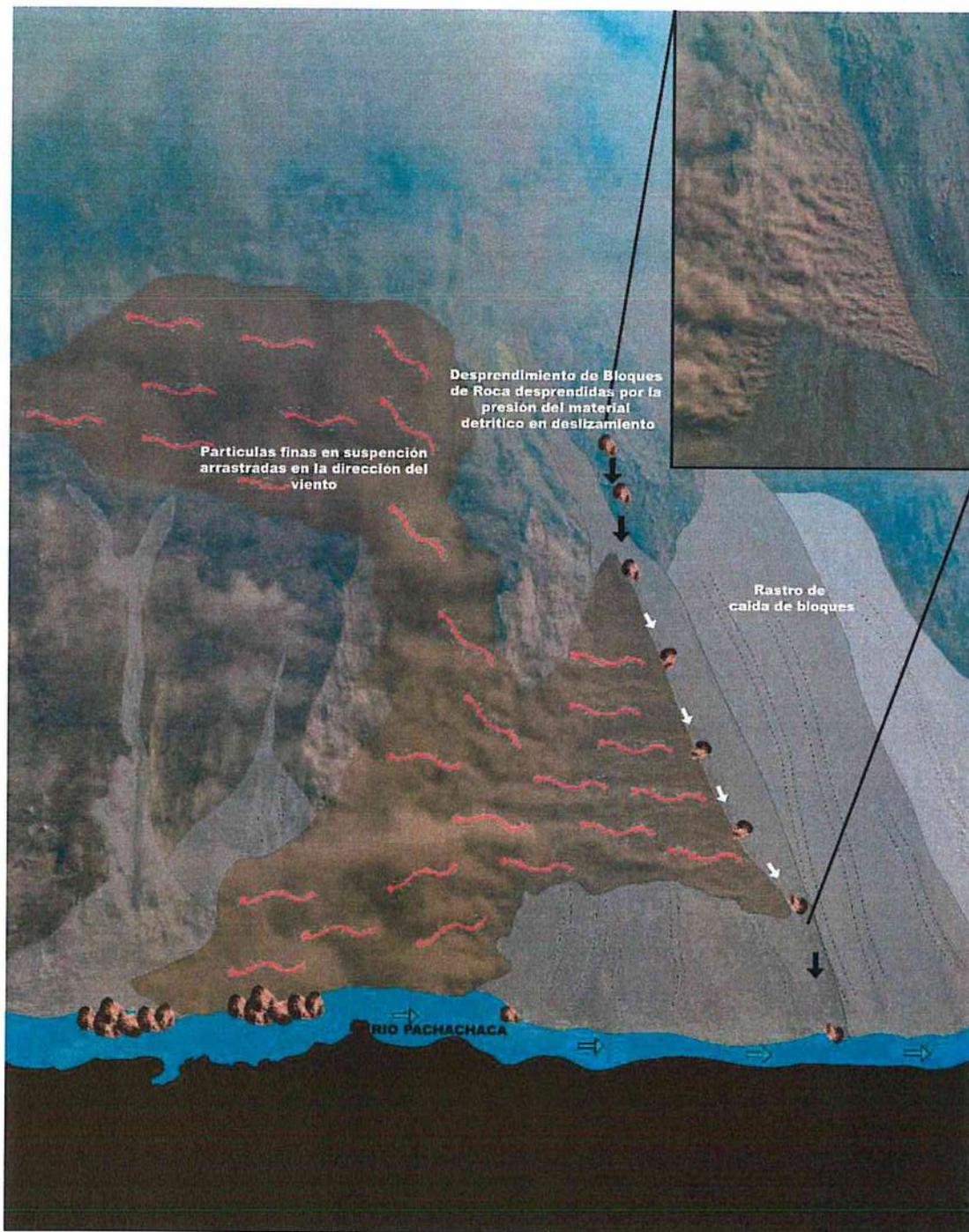


Figura 11. Presencia de conos de deyección en el pie de la ladera producto de los constantes derrumbes en la zona.

Los cuerpos de deslizamiento y derrumbes poseen grandes dimensiones (morfometría), sobre una ladera de pendiente fuerte (mayores a 45°) y un valle encañonado, lo que hace complicada las tareas de control y/o rehabilitación con obras de infraestructura. (figura 12).

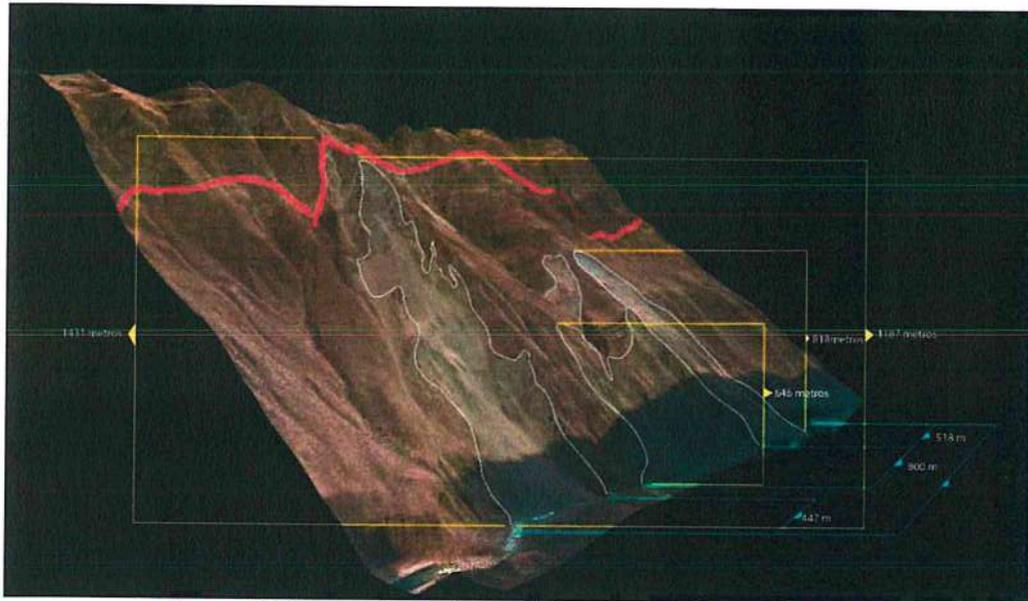


Figura 12. Dimensionamiento de los derrumbes en la ladera

El desplazamiento cortante del cuerpo del deslizamiento con el substrato rocoso genera una potente fricción que desencadena caídas (derrumbes de detritos y rocas) como respuesta a una reacción en ciertas zonas de debilidad dentro del cuerpo del deslizamiento. Los bloques y sedimentos de diferente tamaño y granulometría que parten de determinadas zonas de arranque crean la inmensa polvareda la cual es transportada por el viento por todo el valle (figura13).

Este material al caer por la ladera, genera una gran cantidad de polvareda por todo el valle, perjudicando con mayor intensidad a los centros poblados de Socoro y Llactabamba principalmente (Figura 13).



Figura 13. Expansión del polvo como consecuencia de la constante geodinámica en la ladera del cerro Chamanayoc y la intensa acción del viento

La figura 14, resalta con línea de color rojo la traza del escarpe de los deslizamientos en la ladera, los polígonos de color blanco son los derrumbes secuenciales que se reactivaron los últimos días causando el levantamiento de la polvareda. Las líneas punteadas de color rojo, corresponden a zonas con muy alta susceptibilidad a que se genere nuevos derrumbes posterior a la fecha. La razón para inferir y delimitar estas zonas, es por la presencia de un gran número de grietas observadas en las fotos captadas por el dron (foto 5), las mismas que han sido cartografiadas y representadas de color negro.

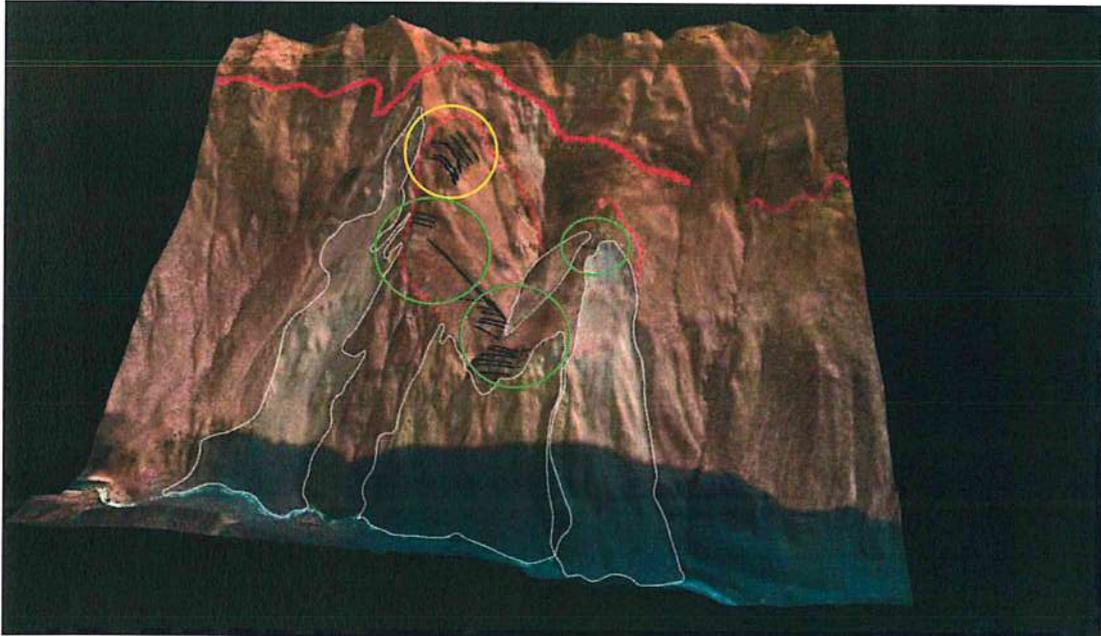


Figura 14. Dentro del círculo amarillo se observan grietas antiguas rellenas de vegetación, dentro de los círculos verdes se aprecian las nuevas grietas que señalan probables derrumbes.

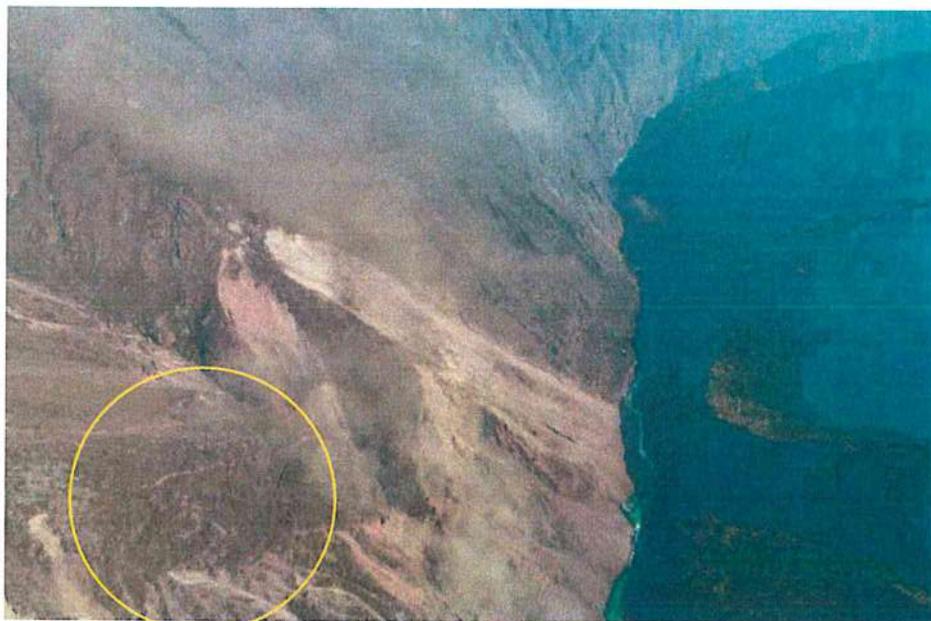


Foto 5. Claramente se observa grietas cerca de la zona de arranque de los derrumbes actuales

Los procesos evidenciados en ambas laderas, corresponde con cartografía de detalle, partiendo de una fotointerpretación de fotos aéreas, análisis de imágenes de satélite y a partir de insumos producto del sobrevuelo drone. En el mapa de peligros geológicos se considera los principales escarpes de deslizamientos antiguos en ambas márgenes del valle, el escarpe principal donde se genera principalmente la dinámica de laderas. La secuencia de derrumbes y sus zonas de arranque se encuentra dentro del cuerpo del deslizamiento activo con presencia de una gran cantidad de cárcavas que lo hacen más susceptibles a la erosión de laderas.

Todos los procesos geodinámicos se encuentran cartografiados en el siguiente mapa de peligros geológicos.

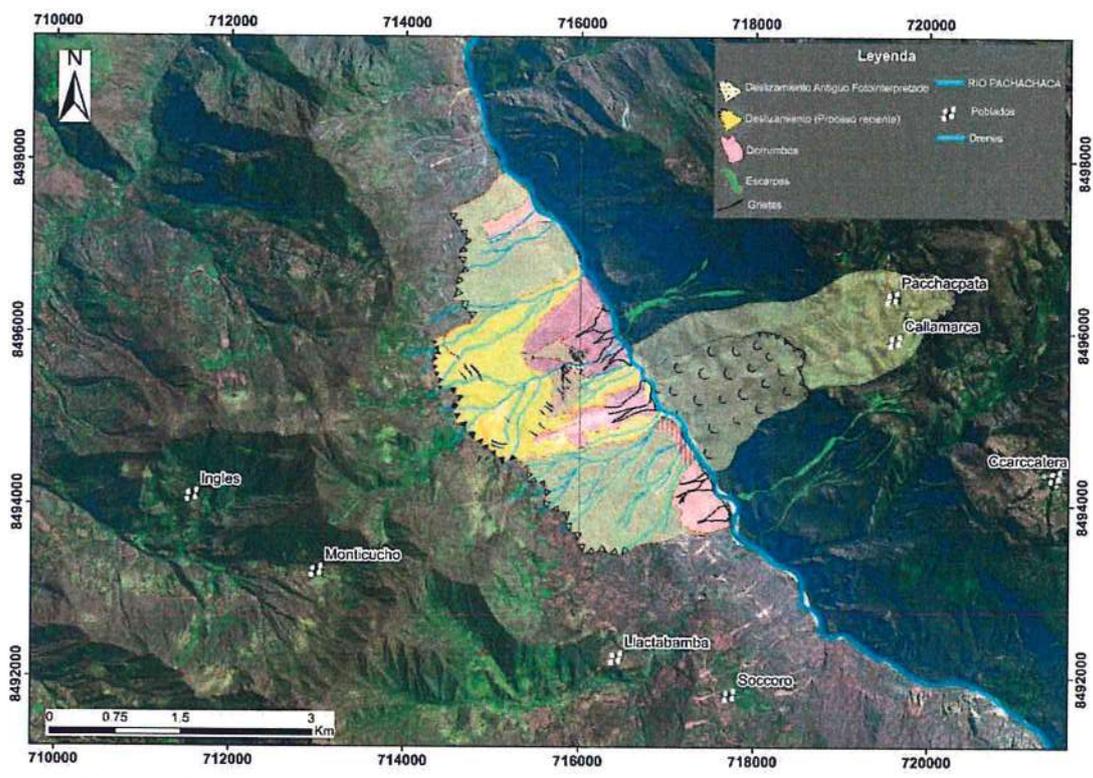


Figura 15. Mapa de peligros geológicos en ambas márgenes del río Pachachaca

Es importante señalar que se ha elaborado un mapa delimitando los peligros actuales que vienen suscitándose en la ladera del cerro Chamanayoc, región Apurímac, añadiendo datos del área de los movimientos en masa. Los polígonos de color rojo, representan el área donde se están generando actualmente los derrumbes (caída de detritos y rocas) y están divididos en tres cuerpos que en total suman 1.03 km². El polígono con mayor dimensión pintado de color amarillo, es el cuerpo del deslizamiento cuya área es 2.3 km², evidentemente, este es un área de gran dimensión donde probablemente se generen nuevos derrumbes en las zonas con mayor debilidad. Es por tal razón, que se han señalado dos polígonos de color naranja como zonas más propensas a la ocurrencia de posteriores derrumbes, debido al gran número de fracturas en el suelo, el área de estas dos zonas suma 0.3 km².

Así mismo, se elaboraron tres perfiles a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM), cortando las zonas de mayor importancia donde se ubican los saltos de escarpe, líneas de arranque de los derrumbes y nuevas zonas de caída de detritos y bloques de roca.

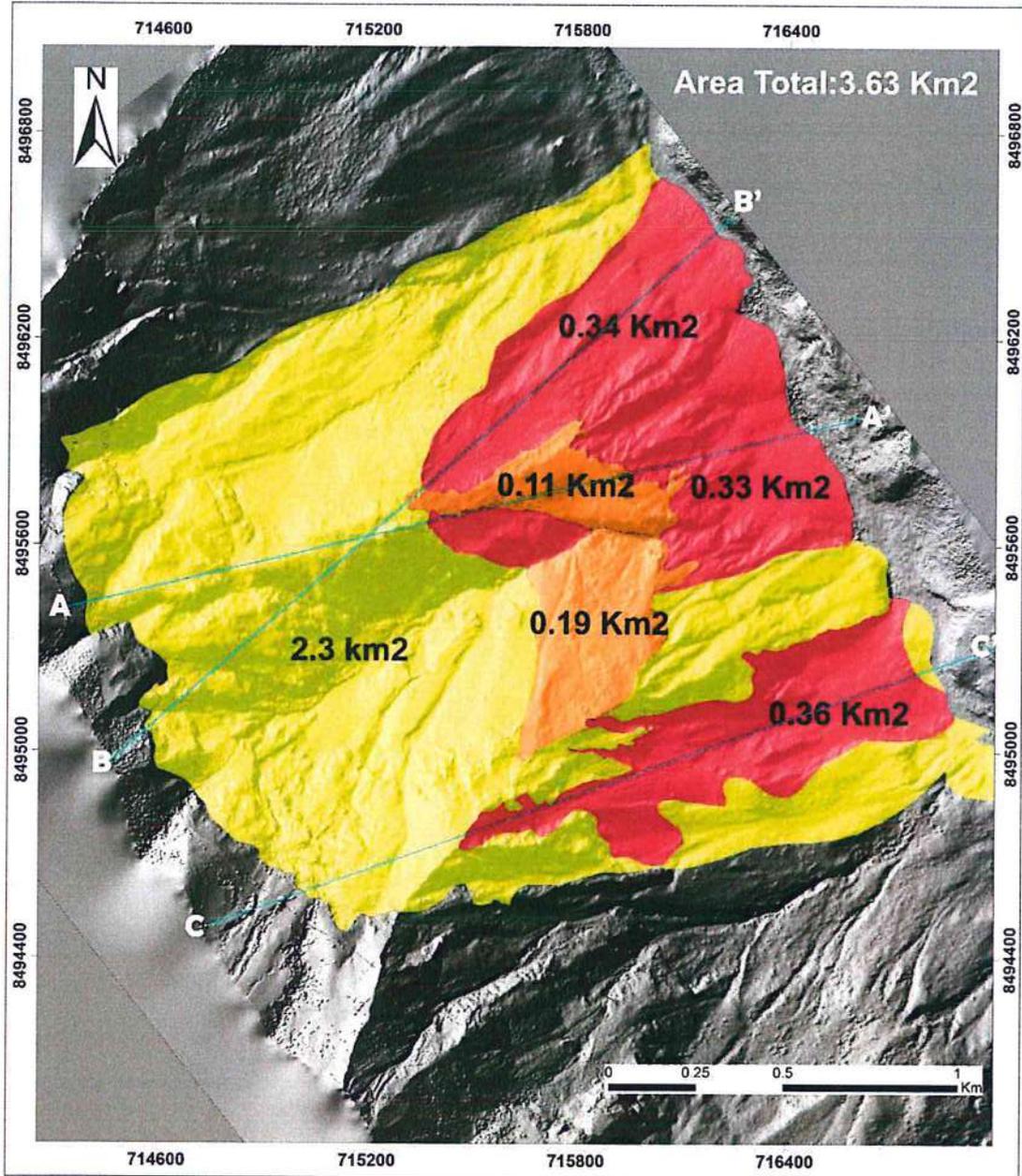


Figura 16. Área en Kilómetros cuadrados de los procesos de derrumbe y zona total afectada sobre un DEM de alta resolución a partir de un vuelo drone.

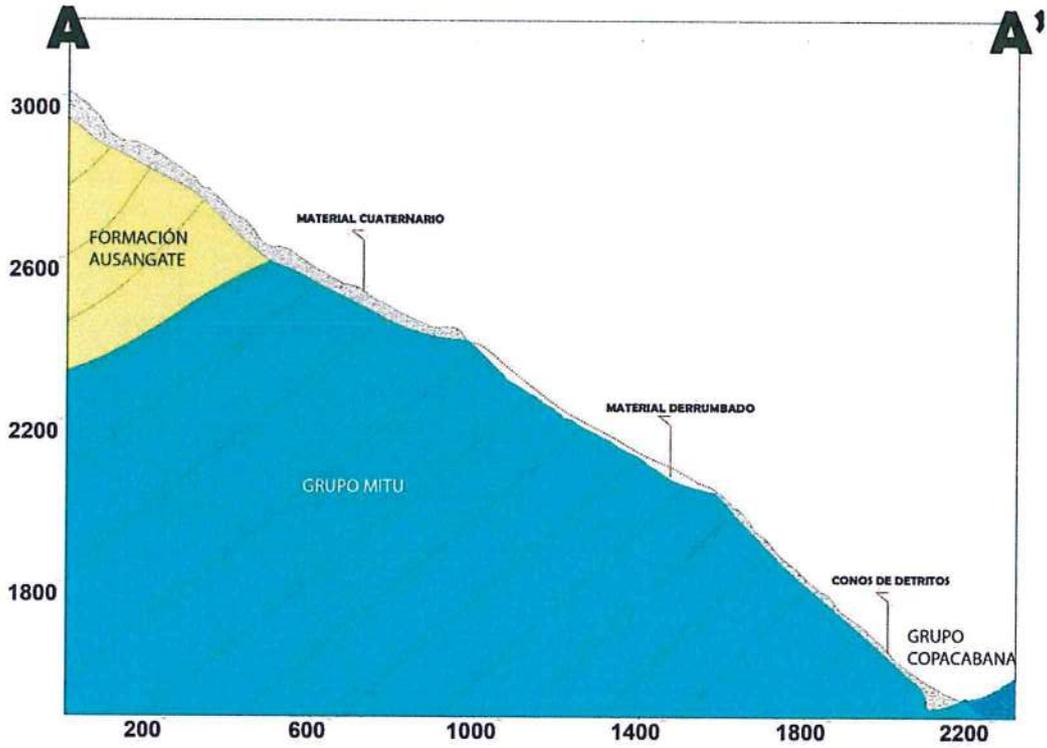


Figura 17. Perfil A - A' cortando tres tipos de litología sobre la zona de movimientos en masa

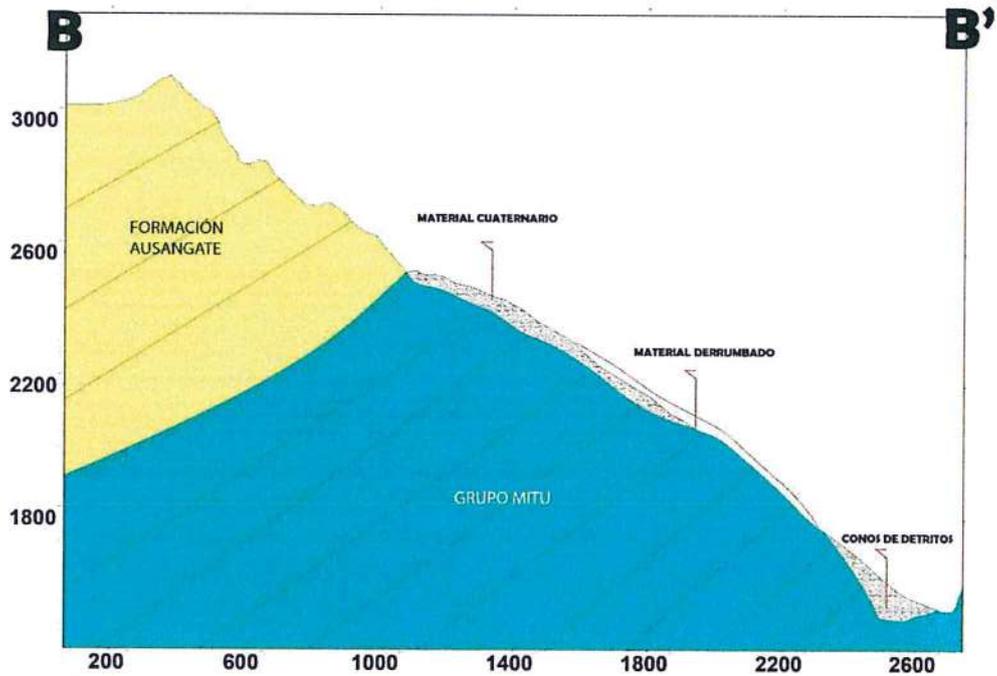


Figura 18. Perfil B - B' cortando dos tipos de litología y representando la dinámica de laderas

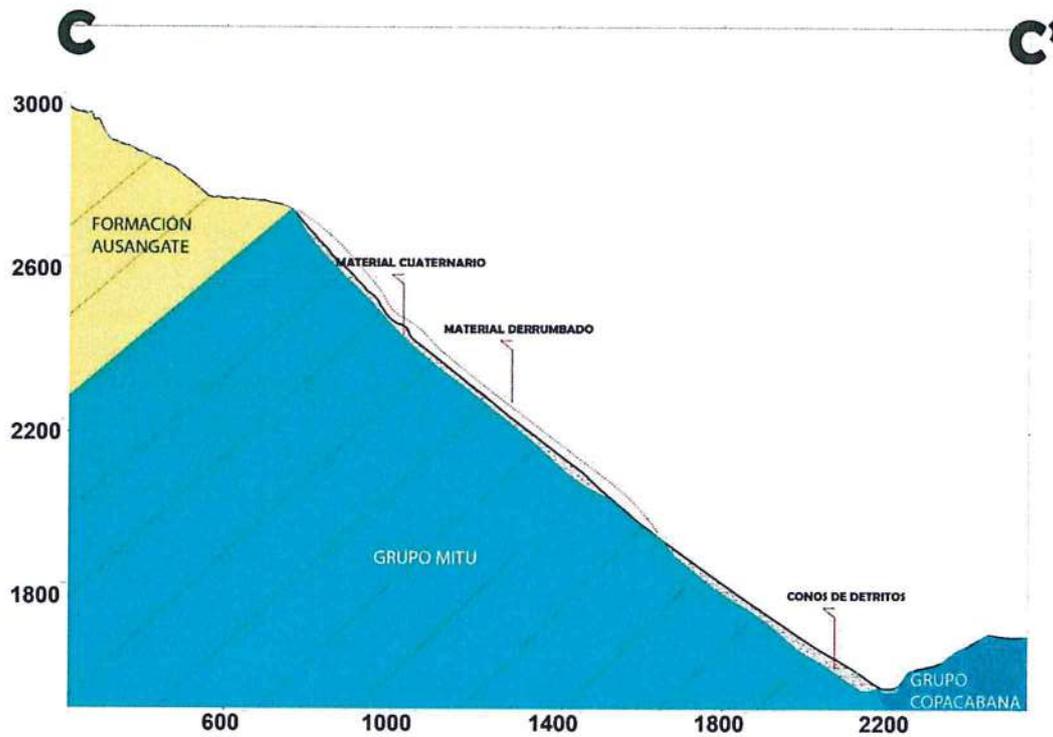


Figura 19. Perfil C - C' cortando el material movido y depositado ladera abajo

Así mismo, los trabajos realizados con el sobrevuelo drone, han sido de gran ayuda para la caracterización e interpretación geomorfológica, a través de los diferentes insumos que ha sido posible generar a partir de la secuencialidad del registro fotográfico. Siendo las principales herramientas el DEM de alta resolución y la ortofoto con un óptimo detalle, con ello ha sido posible la elaboración de mapas y modelos.

El DEM ha permitido estimar el volumen total de material detrítico y roca que se encuentra en la ladera, siendo aproximadamente 363,000 m³ que en un eventual desplazamiento ladera abajo podría represar el río Pachachaca. El material depositado en el fondo del valle puede llegar a sobrepasar los 10 m de altura, esto podría obstruir la corriente de agua dependiendo del periodo en que sucediese el fenómeno.

Un factor importante, es el caudal del río, que según el Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) dieron a conocer en la última reunión de plataforma convocada por el INDECI el viernes 23 de agosto mediante Informe Técnico N° 098-2019 -ANA-AAA.PA-AT/MARV.

El registro de aforos de la estación automática Santa Rosa proporciona data horaria desde el 01-01-2019 al 20-08-2019 se muestra que el caudal del río Pachachaca es de 30.04 m³/s y descenderá hasta el mes de setiembre hasta un caudal base de 25.56 m³/s para luego incrementarse por las lluvias estacionales.

En un eventual represamiento, dependerá del caudal, si el caudal es fuerte, la corriente de agua del río Pachachaca tendrá la suficiente energía para romper el dique natural y arrastrar el material valle abajo. Caso contrario, si el caudal es débil, la energía no será suficiente para

romper el dique, generándose así un temporal represamiento. Es así que el represamiento del río, dependerá en gran medida de la temporada en que se suscite el derrumbe.

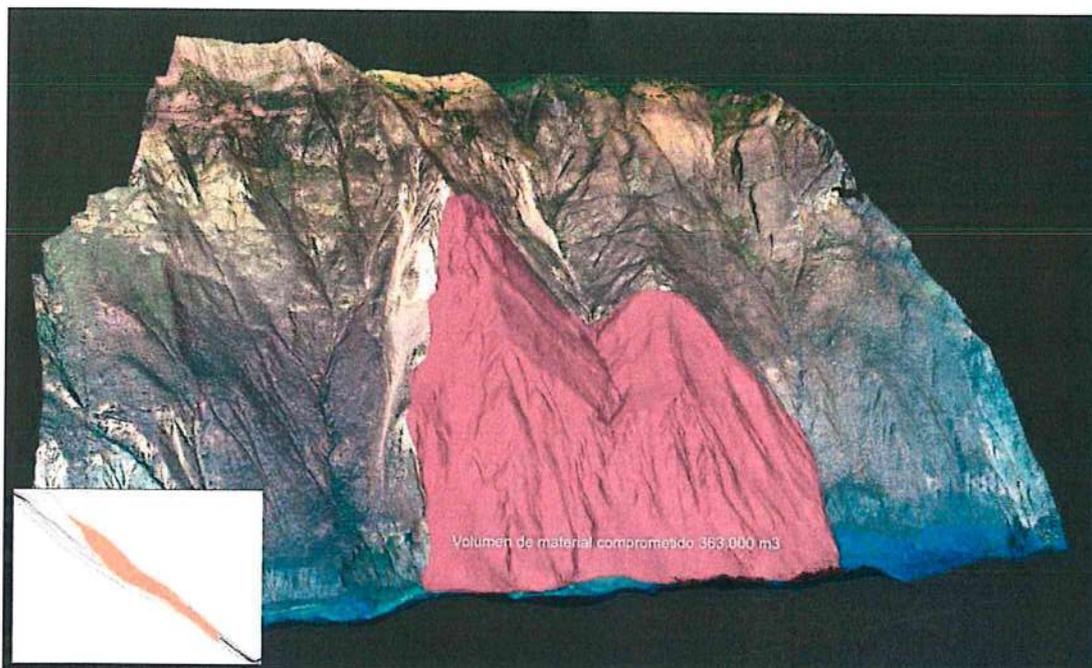


Figura 20. Estimación del volumen del material en el área de estudio (ladera del cerro Chamanayoc)

Es importante considerar que los niveles de peligrosidad por movimientos en masa, no alcanza de manera directa a los poblados más cercanos (Llactabamba y Soccoro), es decir que se encuentran fuera de la zona de influencia.

Las zonas de mayor peligro se encuentran delimitadas en diferente gama de colores que va desde el rojo que indica una peligrosidad muy alta, evidentemente este es el área de mayor actividad de geodinámica externa por ende es la más peligrosa. Las zonas de color marrón, indican una peligrosidad alta, en esta área se infiere la ocurrencia de futuros derrumbes por causa de grandes grietas. Los escarpes de los deslizamientos antiguos delimitan las zonas con una peligrosidad media que en el tiempo pueden o no ocurrir reactivaciones de derrumbes, dentro de esta área se encuentran los poblados de Pacchacpata y Callamarca hacia el margen derecho del río Pachachaca. Finalmente, el área pintada de color verde claro, da a conocer que es una zona de peligrosidad baja, precisamente es donde se encuentra los poblados de Llactabamba y Soccoro (Figura 21).

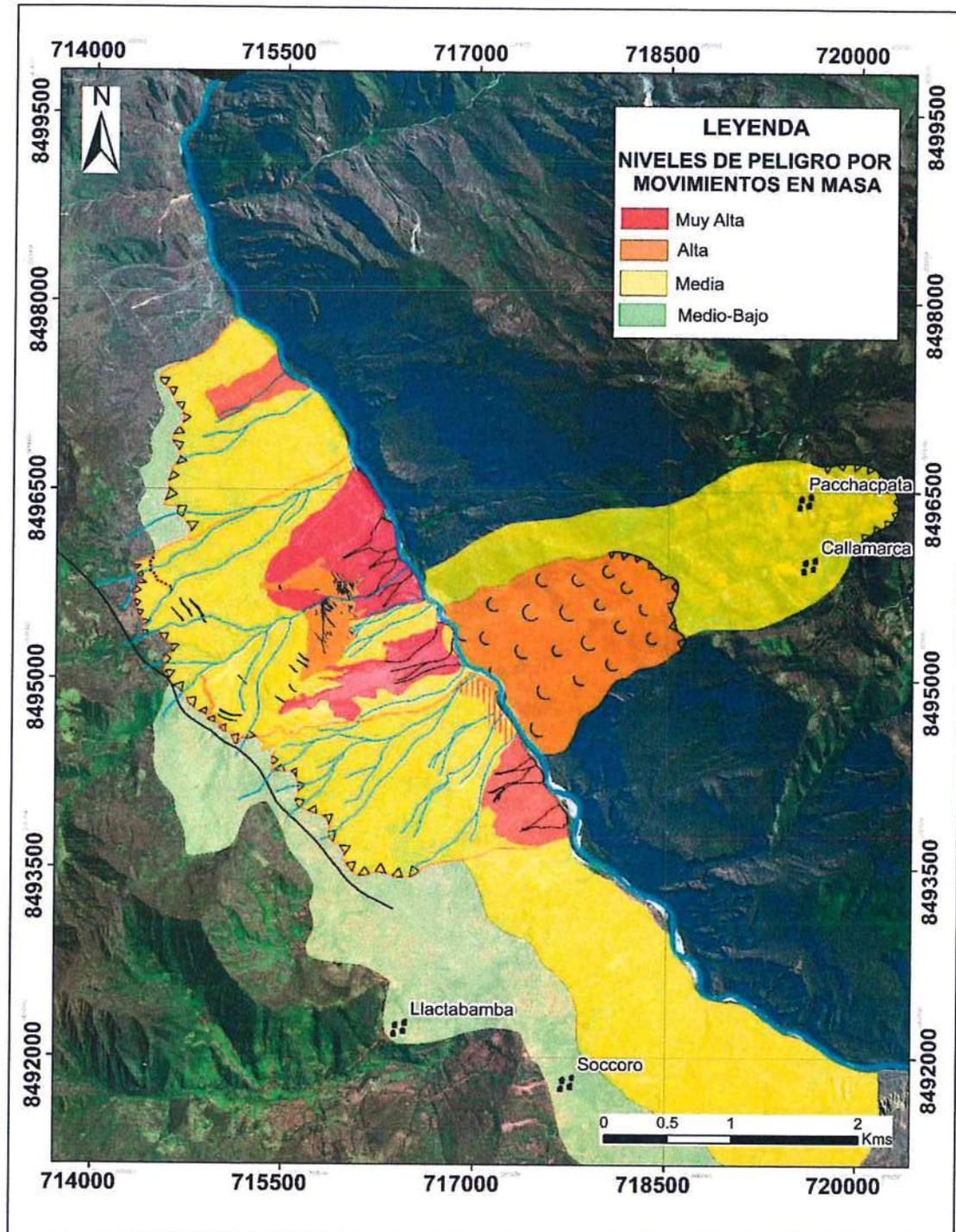


Figura 21. Niveles de peligrosidad por movimientos en masa

5.3. Inundaciones

Se ha realizado un modelo de simulación para la susceptibilidad a inundaciones en el río Pachachaca, clasificando un posible evento de inundación en tres zonas, la primera de color rojo, la cual indica que es la zona más alta, seguidamente, las zonas de color amarillo resaltan las zonas de moderada susceptibilidad y finalmente la susceptibilidad baja se encuentra de color verde. Así mismo en el mapa de susceptibilidad se han considerado las grietas (líneas de color negro) cerca de la zona activa, también el área más susceptible a

producirse derrumbes en el futuro (color amarillo) y el cuerpo de derrumbes generalizado representado de color rosado (figura 22).

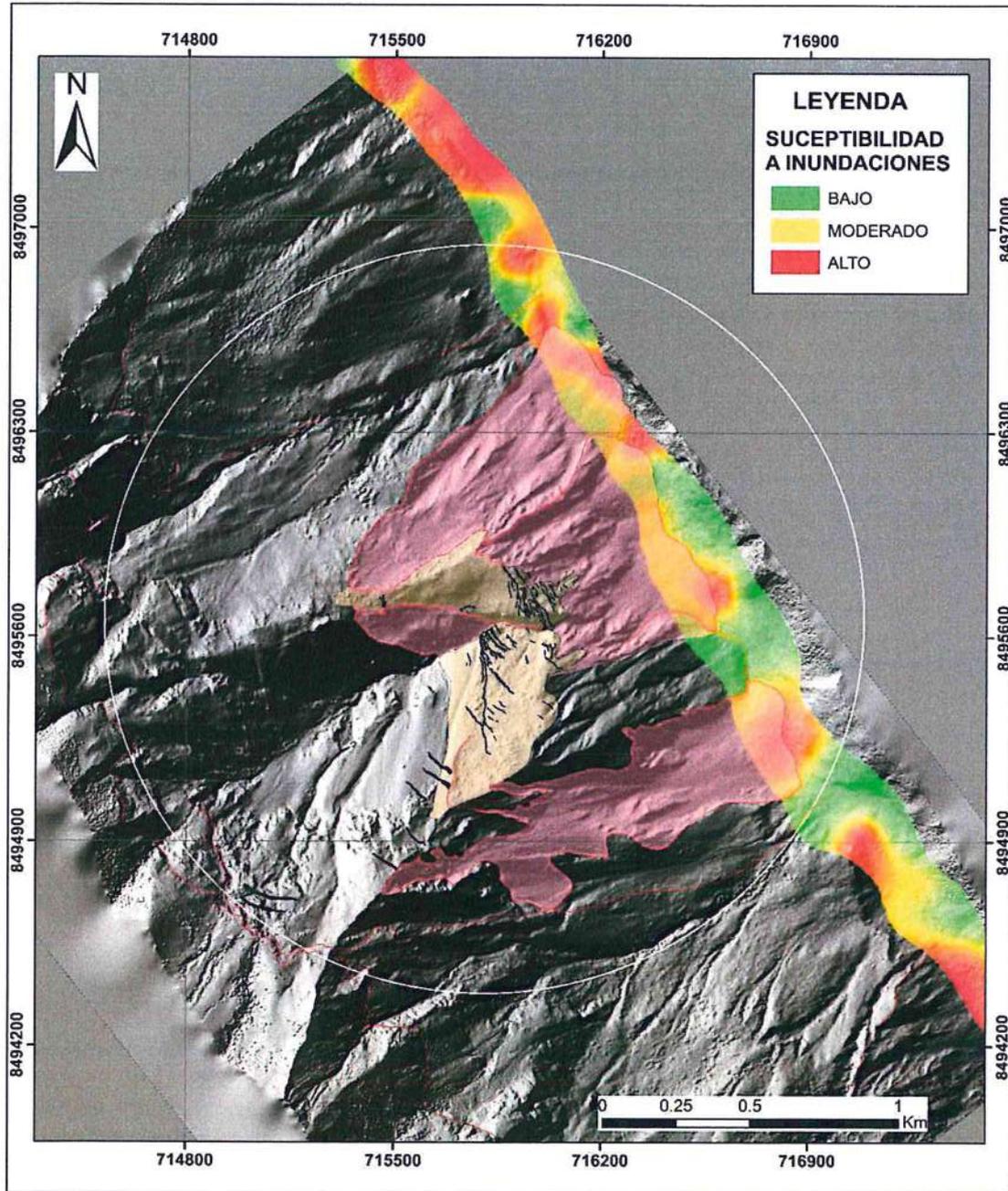


Figura 22. Mapa de inundaciones en el río Pachachaca

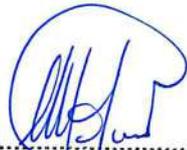
CONCLUSIONES

Por lo observado en campo y lo detallado en los ítems anteriores se puede concluir que:

- a) El substrato rocoso conformado por rocas volcánicas y sedimentarias del Grupo Mitu se encuentran altamente fracturados y con intensa meteorización. A esto se le suma la influencia del clima en el valle dando lugar a que las rocas sean susceptibles a los fenómenos de movimientos en masa.
- b) El relieve y la pendiente de la ladera favorece el desplazamiento ladera abajo y en dirección al río produciendo una secuencia de derrumbes, que forman conoides de deyección al pie de la ladera, que han invadido el cauce del río.
- c) Se identificó el escarpe de un deslizamiento antiguo, donde actualmente en varios sectores del cuerpo del deslizamiento se están generando reactivaciones como derrumbes.
- d) En la parte posterior entre el escarpe reciente y el antiguo, se han identificado agrietamiento del terreno que tienen dirección paralela a los dos escarpes, esto nos indica que es una zona altamente activa que podría generar nuevos eventos.
- e) La erosión lateral del río Pachachaca ha contribuido en la desestabilización del material que se encuentra en la ladera, a causa de la erosión lateral en la margen izquierda del río originándose así un proceso de socavamiento natural.
- f) De continuar la dinámica de la ladera, puede desencadenar derrumbes a lo largo de las zonas más inestables de la ladera del margen izquierdo del río Pachachaca.
- g) Debido al material fino que se deposita en la ladera (mezcla de limos y arenas) producto de los constantes derrumbes y la elevada intensidad de los vientos provoca una densa humareda de polvo por todo el valle. Este fenómeno afecta de gran manera a los poblados más cercanos como Llactabamba y Soccoro.
- h) El volumen total de material de los derrumbes en el área identificada y cartografiada, es estimada asciende hasta los 363000 m³, dato calculado a partir de un Modelo de Elevación Digital de alta resolución.

RECOMENDACIONES

- a) Implementar un monitoreo permanente a través de imágenes de satélite de la zona inestable en la ladera del cerro Chamanayoc. Este monitoreo permitirá controlar y alertar la evolución en el tiempo de los derrumbes actuales, deslizamiento y otros que podrían suscitarse en el futuro.
- b) Conformar un equipo técnico multidisciplinario e interinstitucional para determinar la posible evacuación temporal de los centros poblados de Llactabamba y Socoro del distrito de Huancarama, Provincia de Andahuaylas en caso que se generen nuevos derrumbes que emanen una polvareda de manera incontrolable.
- c) Monitorear el caudal del río Pachachaca de manera constante, ya que de suscitarse un gran derrumbe podría represar el río, esto dependerá del volumen de material colapsado y la cantidad de energía del río.
- d) En caso se genere un derrumbe con tal capacidad que represe el río con un dique natural mayor a 10 m de altura (dato estimado por INGEMMET), las autoridades competentes deberán contar con planes de contingencia para sobrellevar y mitigar cualquier riesgo que involucre vidas humanas.
- e) Dejar libre las zonas de pastoreo y evitar la construcción de viviendas encima o alrededores de la ladera activa del cerro Chamanayoc, ya que son áreas susceptibles a la reactivación de fenómenos por movimientos en masa.



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



Ing. ESTIBENE POOL VÁSQUEZ CHOQUE
Jefe de Proyecto: Geomorfología Glacial y
Cambio Climático
INGEMMET

REFERENCIAS

- 1) CRUDEN, D.M., & VARNES, D.J. (1996). Landslide Types and Processes. En: "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.
- 2) INGEMMET, 2003. Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3, INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 28, Dirección de Geología Ambiental, 373 p., 21 figs., 159 fotos., 17 mapas, Lima.
- 3) PMA: GCA. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. 2007. Movimientos en masa en la región Andina: Una Guía para la evaluación de Amenazas. Publicación geológica multinacional N° 4, 404 p., Canadá.
- 4) SÁNCHEZ, A. y HERRERA, I, (1998). Geología de los Cuadrángulos de Moyobamba, Saposoa y Juanjui. INGEMMET, Lima – Perú, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 269, 200 p., 03 mapas.
- 5) VARNES, D.J. (1978) - Slope movement types and processes. En: Schuster, R.L.& Krizek, R.J., eds., Landslides, analysis, and control. Washington, DC: National Research Council, Transportation Research Special Report 176, p. 11- 33.