

**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA
AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

INFORME TÉCNICO N° A 6727

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS SECTOR PUCUTO – PUCUTO CENTRO (ANTA) - PALERMO

(Distrito El Carmen, Provincia Churcampa, Región Huancavelica)

Por:

Segundo Núñez Juárez

Octubre 2016

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

© 2016 Google
Image © 2016 CNES / Astrium

811 m

Google earth

mágen19703/21/2014 18 L 552962.60 m E 8594951.09 m S elevación 3531 m alt. ojo 6.11 km

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 ÁREA DE ESTUDIO Y ACCESIBILIDAD | 1 |
| 1.3 OBJETIVOS | 3 |
| 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS | 3 |
| 2.1 Geología..... | 3 |
| 2.2 Geomorfología. | 4 |
| 3. PELIGROS GEOLÓGICOS | 9 |
| 3.1 PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA. | 9 |
| a) DESLIZAMIENTOS..... | 9 |
| b) FLUJOS (HUAICOS)..... | 13 |
| c) AVALANCHAS DE DETRITOS | 21 |
| d) AVALANCHAS DE ROCAS | 22 |
| e) CAÍDA DE ROCAS (Rock Fall) | 24 |
| f) REPTACIÓN DE SUELOS..... | 25 |
| g) EROSIÓN DE LADERA..... | 25 |
| 3.2 EROSIÓN FLUVIAL | 26 |
| 4. ANALISIS GEODINÁMICO | 26 |
| 5. EVALUACIÓN DE LA ZONA DE REUBICACIÓN..... | 29 |
| 5.1 Características del terreno | 29 |
| 5.2 Consideraciones para zona de reubicación | 31 |
| 6. MEDIDAS CORRECTIVAS GENERALES | 31 |
| 6.1 MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA DESLIZAMIENTOS Y CÁRCAVAS | 32 |
| 6.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA EROSIÓN DE LADERA Y FLUJO (HUAYCO)..... | 33 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 36 |
| BIBLIOGRAFÍA | 37 |

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS
SECTOR PUCUTO-PUCUTO CENTRO (ANTA) – PALERMO.
(Distrito El Carmen, Provincia Churcampa, Región Huancavelica)

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET realiza trabajos para identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar las zonas, urbanas o rurales que podrían verse afectadas por procesos geológicos de diversa índole y magnitud. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo para la planificación territorial y la gestión de riesgo, son publicados en boletines e informes técnicos.

1.1 ANTECEDENTES

Mediante el oficio N° 258-2015/MDEC/A, la municipalidad distrital El Carmen solicitó a la Presidente del Consejo Directivo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET, un estudio técnico científico en la localidad de Pucuto. El Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), designó al suscrito, para la elaboración del informe del mencionado lugar.

Los trabajos de campo se realizaron los días 16 y 17 de febrero del 2016, fueron coordinados con el alcalde de la Municipalidad de El Carmen, para la inspección se contó con representantes de la comunidad de Pucuto Centro (Anta) y ediles.

El presente informe contiene documentación obtenida de la revisión de información geológica (boletines, informes técnicos, topografía, fotos aéreas e imágenes satelitales) y cartográfica realizada para el proyecto GA25C-Riesgo Geológico en la Región Huancavelica del año 2012; así como de los trabajos de campo y comentarios de los moradores. Este documento se pone a consideración de las autoridades de la Municipalidad distrital de El Carmen y pertinentes, para sus fines oportunos.

1.2 ÁREA DE ESTUDIO Y ACCESIBILIDAD

El sector políticamente se encuentra en la región Huancavelica, provincia Churcampa, distrito El Carmen (figura 1), entre las coordenadas UTM (WGS-84).

- 552000 E, 556000E
 - 8593000 N, 8596000N.
- Cota de 3100 msnm.

Desde Lima se accede a la zona de interés tomando la carretera Central, tramo Lima-La Oroya-Huancayo, para luego tomar la vía asfaltada Huancayo-Ayacucho hasta llegar al sector de Ccumpi (km 291), donde se accede por medio de una trocha afirmada, al sector El Carmen; de este último lugar se toma la trocha afirmada en un tramo de 20 km, hasta llegar al poblado de Pucuto.

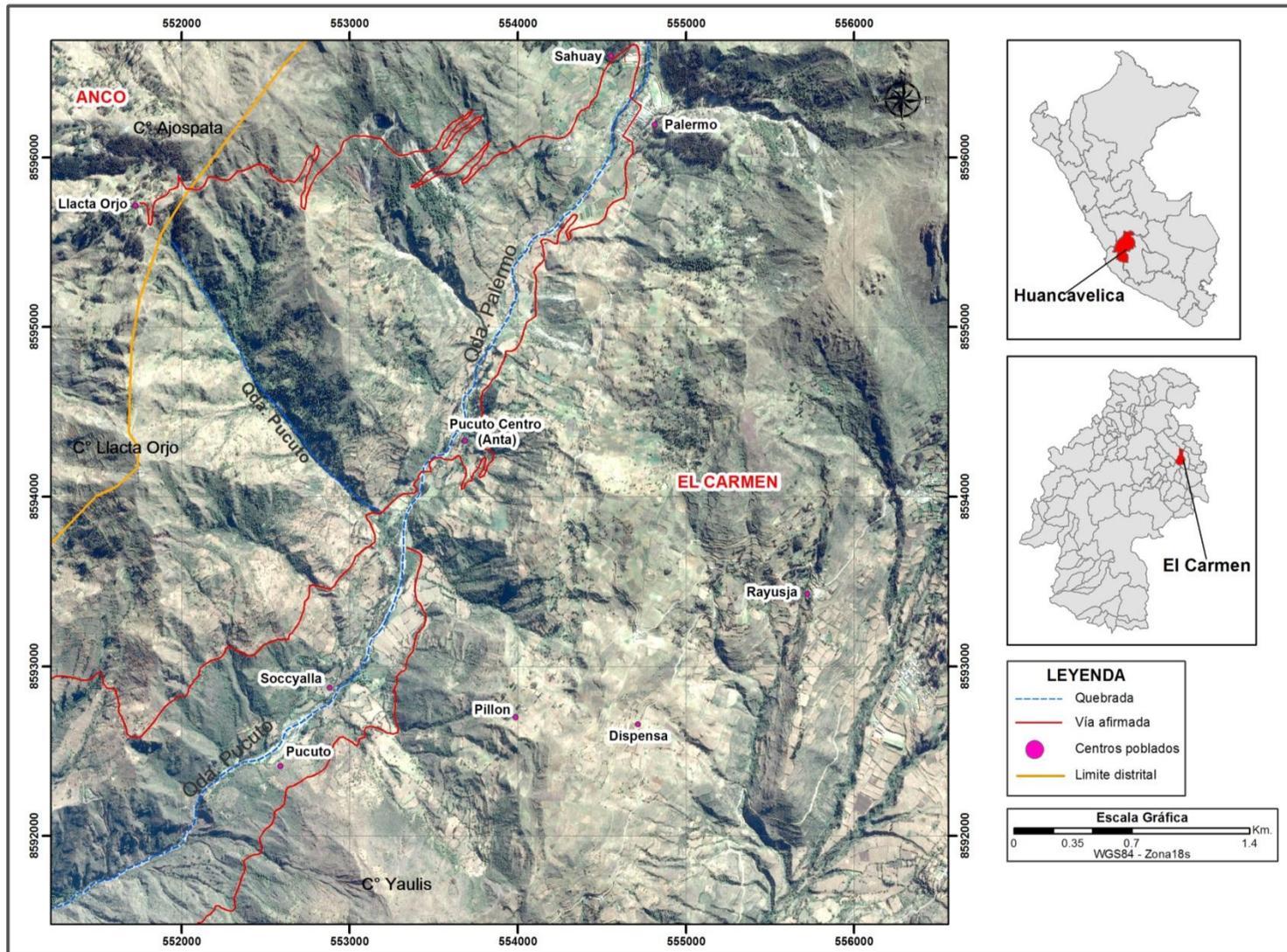


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

1.3 OBJETIVOS

Evaluar los peligros geológicos que afectan al sector Pucuto Centro (Anta), determinar las causas de su ocurrencia.

Las medidas correctivas propuestas servirán para que las autoridades puedan actuar apropiadamente en la prevención y mitigación de los peligros geológicos que puedan afectar al sector evaluado.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

2.1 Geología

De acuerdo al mapa geológico realizado por Morche y Larico (1997), en este sector afloran secuencias sedimentarias de edades paleozoicas (Grupo Mitu) y mesozoicas (Grupo Pucará), así como depósitos recientes (figura 2).

a) Grupo Mitu

Está constituido por secuencias de Capas Rojas, intercalaciones de areniscas y limolitas, de coloraciones rojizas. Estas rocas se encuentran moderadamente a altamente meteorizadas. Originan suelos con tonalidades rojizas (foto 1).

b) Grupo Pucará

Conformado por secuencias calcáreas plegadas y masivas, poco a medianamente fracturadas, por ello originan bloques sueltos hasta de 3 m.

Las secuencias en su conjunto se encuentran plegadas, con presencia de anticlinales y sinclinales con dirección NE-SO, los lineamientos estructurales también, tienen esta dirección.



Foto 1.- Secuencia del Grupo Mitu, con coloraciones rojizas.

c) **Depósitos recientes.** Entre los depósitos recientes, se han distinguido aluviales y proluviales, coluvio-deluviales y coluvial.

- **Aluvial.** Se encuentra relacionados al cauce de la quebrada Palermo/Pucuto, se caracteriza por presentar material suelto como gravas, bolos de forma subangulosa a subredondeada, distribuidos en forma caótica a lo largo de la quebrada.
- **Proluvial.** Se encuentran relacionados con los depósitos dejados por los flujos de detritos (huaicos) canalizados, son los depósitos que se encuentran en las desembocaduras de las quebradas.
- **Coluvio-deluvial.** Son los depósitos dejados por los deslizamientos, se encuentran distribuidos en ambas márgenes de la quebrada Palermo/Pucuto, caracterizados por estar conformados por material suelto, de granulometría variable, desde bloques hasta material muy fino (arcillas); se distribuyen en forma caótica.
- **Coluvial.** Se encuentran esporádicamente en las laderas, se caracterizan por tener material de diferente granulometría, con escasa matriz.

2.2 Geomorfología.

Se distinguen unidades de montañas y de piedemonte (figura 3), se describen a continuación:

- a) **Montañas en rocas sedimentarias**, conformadas por calizas (Grupo Pucara) y secuencias de limolitas con areniscas (Grupo Mitu).
- b) Presentan cerros con elevaciones hasta de 900 m, con laderas de pendiente hasta 30° (foto 2), las cimas son de formas suaves y uniformes (foto 3).



Foto 2. Pendiente del terreno

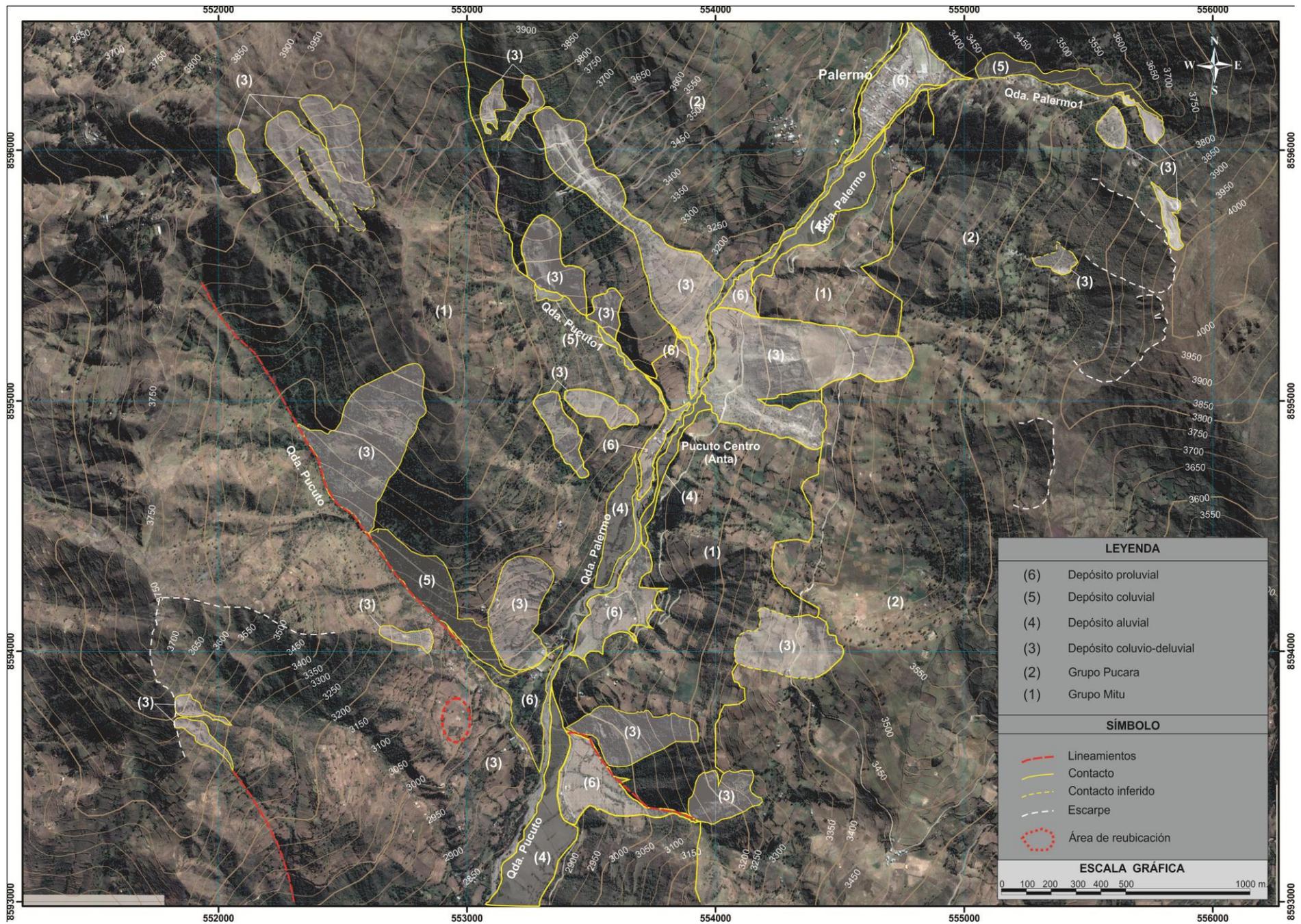


Figura 2. Unidades geológicas diferenciadas en el sector Palermo-Pucuto Centro (Anta)-Pucuto, en una imagen satelital



Foto 3. Cimas de los cerros de formas suaves.

- c) **Piedemonte Proluvial.** Esta unidad se encuentra relacionada a la desembocadura de las quebradas, son materiales provenientes de antiguos flujos de detritos (foto 4) y generalmente forman abanicos.



Foto 4. Material proveniente de un antiguo flujo de detritos.

- d) **Piedemonte coluvio-deluvial.** La unidad está relacionada con los depósitos generados por los antiguos y recientes movimientos en masa (deslizamientos y avalanchas de rocas). Se caracterizan por presentar bloques, gravas, arenas y limos (foto 5), el material se dispone en forma caótica. Su morfología es irregular, escalonada hasta convexa; pueden generar formas de abanicos y también pequeñas colinas o lomadas alargadas, en el caso de avalanchas.

Se encuentran ubicados en las laderas de los cerros, presenta pendientes variables entre 10° a 30°.



Foto 5. Deposito coluvio-deluvial, generado por una avalancha de rocas.

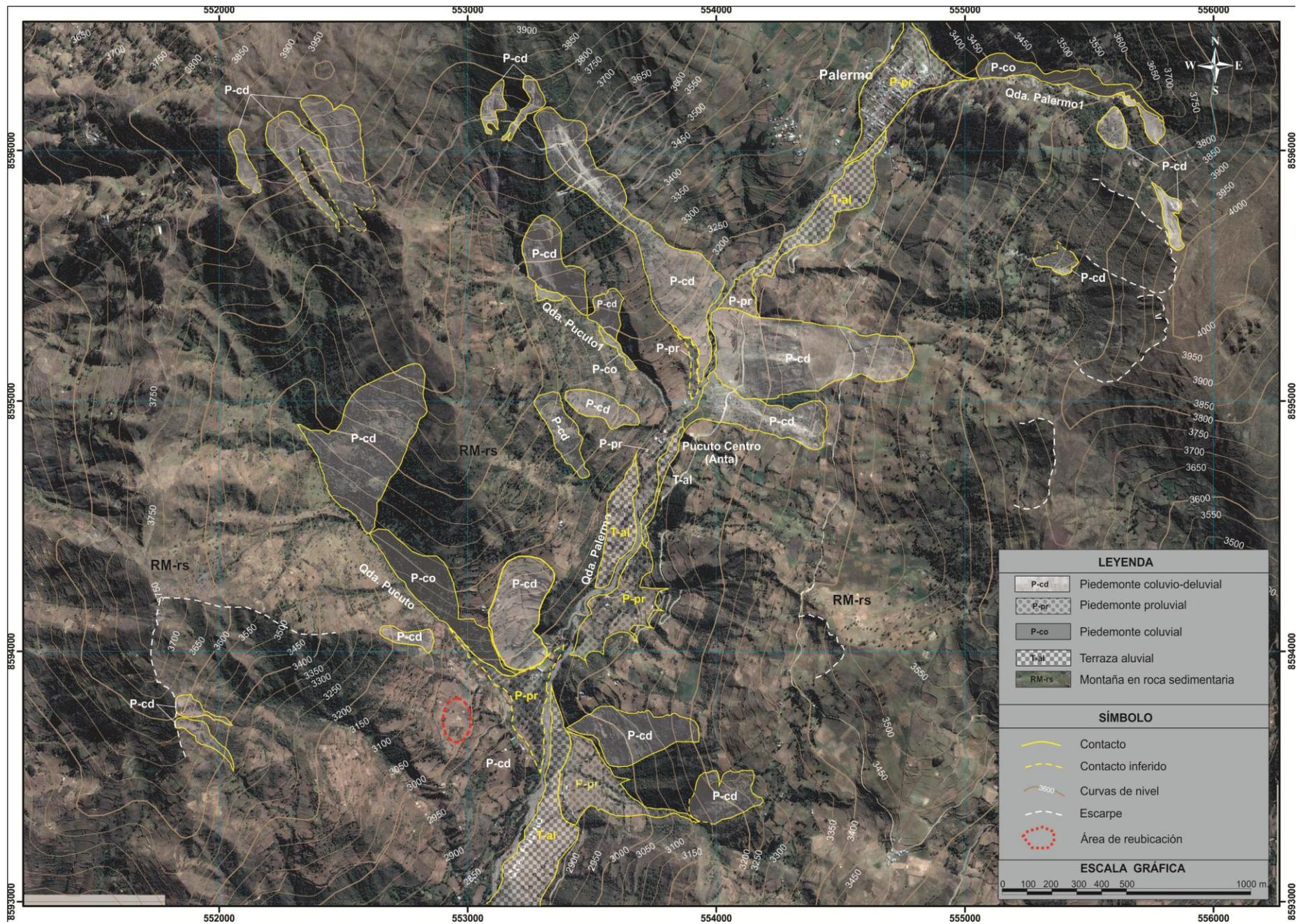


Figura 3. Representación esquemática de la geomorfología de la zona comprendida entre Palermo y Pucuto.

3. PELIGROS GEOLÓGICOS

En los trabajos para el “Estudio de Riesgo Geológico de la Región Huancavelica (Vilchez *et al.*, 2016), se identificaron movimientos en masa antiguos y activos. Los principales peligros geológicos inventariados son deslizamientos, flujos de detritos; además indica que el sector evaluado se encuentra en una zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa.

En los trabajos de campo se identificó procesos de movimientos en masa como deslizamientos avalanchas de rocas, flujos de detritos y derrumbes, además se identificó procesos de erosiones de ladera y erosiones fluviales (figura 4).

3.1 PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA.

a) DESLIZAMIENTOS

Son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca, desplazándose a lo largo de una superficie. Según la clasificación de Varnes (1978), se puede clasificar a los deslizamientos por la forma de la superficie de la escarpa, por la cual 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). En la figura 5, se representa las partes principales de un deslizamiento.

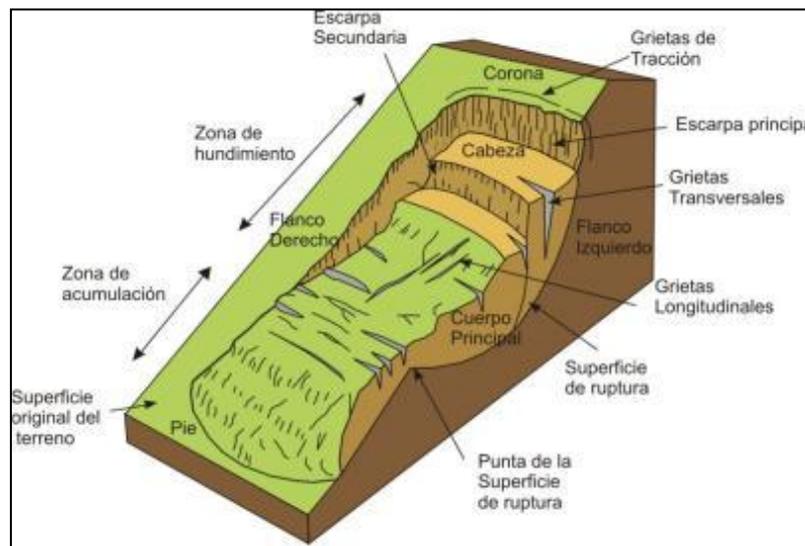


Figura 5. Esquema de un deslizamiento con sus partes principales. (Cruden y Varnes, 1996).

Las causas para la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno, presencia de agua entre otros. Es frecuente que deslizamientos antiguos aparentemente ya estabilizados, se vuelvan a reactivar ya sea por factores naturales o antrópicos.

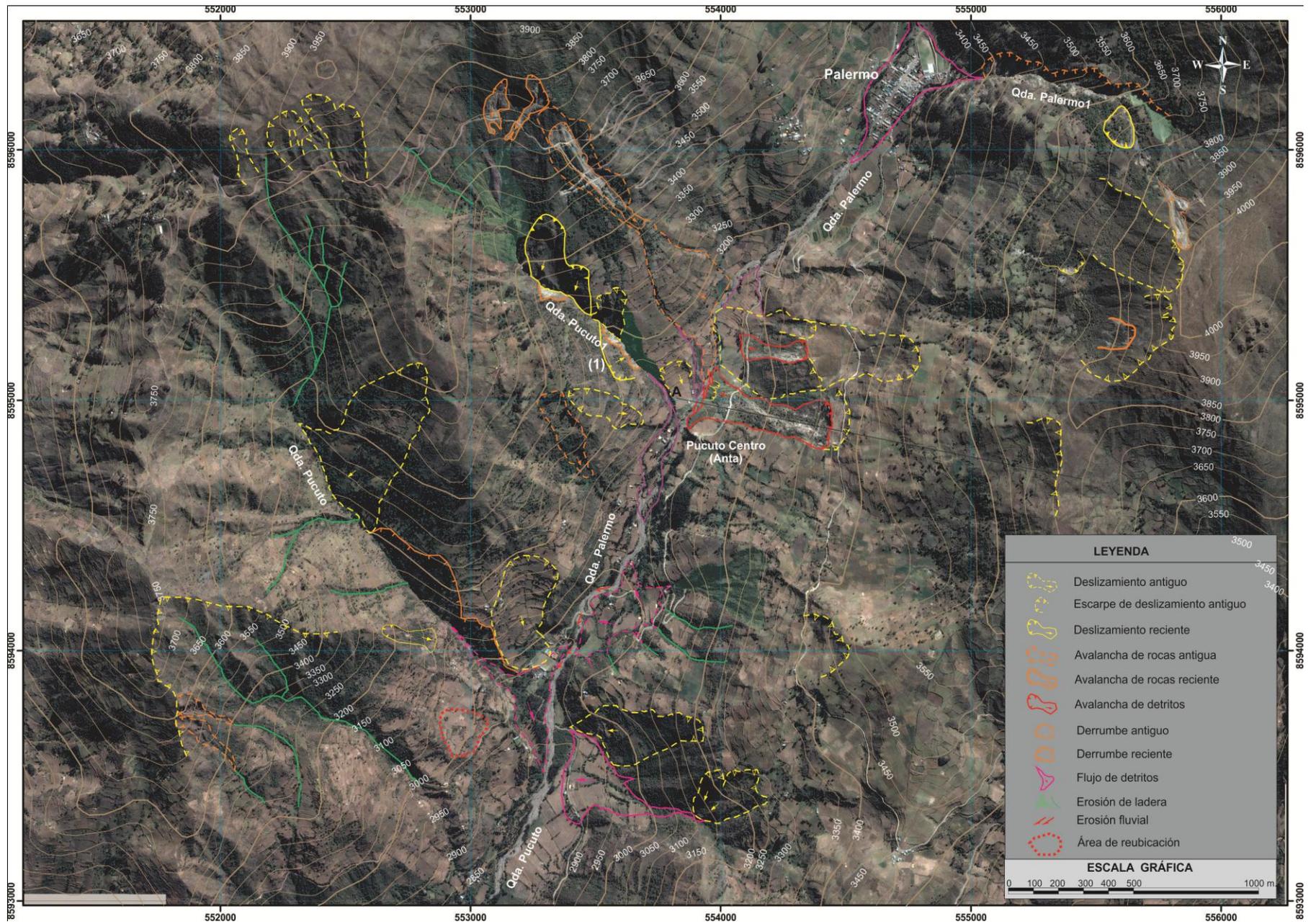


Figura 4. Cartografiado de peligros geológicos entre los sectores de Palermo y Pucuto (representación esquemática)

- **Deslizamientos antiguos**

Estos se encuentran en ambos márgenes de las quebradas Pucuto y Palermo; por las características geomorfológicas observadas estos procesos antiguos llegaron a ocasionar represamientos en las quebradas mencionadas. Como evidencia de ellos tenemos las variaciones del cauce y la presencia de terrazas aluviales formadas aguas arriba de cada cierre de valle. También se aprecian lomeríos en el cuerpo de los deslizamientos.

Estos deslizamientos antiguos son de tipo rotacional, las escarpas principales están erosionadas, presentan longitudes variables entre 100 m a 900 m, en algunos casos disectados por erosiones de ladera.

En gran parte estos deslizamientos se encuentran estabilizados.

Las causas de estos deslizamientos fueron:

- Pendiente del terreno, mayor de 20°.
- Calizas (Grupo Pucara), rocas fracturadas por estar plegadas.
- Areniscas y limolitas, limoarcillitas (Grupo Mitu), están plegadas y además se encuentran altamente meteorizadas. En estas secuencias las areniscas permiten la filtración de agua y las limolitas con las limoarcillitas la retienen, por lo tanto el sustrato va perdiendo cohesión y fallar.
- Planos de fracturamiento de la roca, espaciados entre 3 a 5 cm (fracturamiento abierto), esto contribuye a que la roca se sature de agua.

El factor detonante fueron lluvias intensas o sismos de gran intensidad.

El terreno por estar sobre una roca de mala calidad, saturado de agua, presentar pendiente mayor de 20°; son factores que contribuyen a la generación de movimientos en masa. Con ello la masa inestable que se encuentra sobre la ladera, va a tender a fallar, generando así el deslizamiento.

- **Deslizamiento reciente (1)**

Se ubica en el margen derecho de la quebrada Pucuto¹, en su cuenca media.

Por lo observado en el terreno, se tiene evidencias para afirmar que se está generando un deslizamiento rotacional (foto 6). En el momento de la inspección la escarpa principal tenía una longitud de 50 m, con un salto variable entre 1,70 a 0,50 m, de forma semicircular, no se apreciaron grietas por detrás de la escarpa principal, pero se están generando agrietamientos en el terreno por debajo de la escarpa principal.

También se apreció, en la parte inferior de donde se encuentra el evento mencionado, derrumbes¹ generados por la erosión fluvial que se activan en el periodo lluvioso. Al parecer esta sería la causa principal del deslizamiento,

¹ El derrumbe, presenta una zona de arranque de 110 m, con altura hasta de 20 m, en su cuerpo se muestra material suelto como gravas, bloques, arenas y limos, que puede ceder fácilmente. Está afectando secuencias del Grupo Mitu.

porque al presentarse el derrumbe se genera una cara libre, y por el avance retrogresivo, la ladera pierde estabilidad.



Foto 6. Parte de la escarpa principal del deslizamiento en formación.

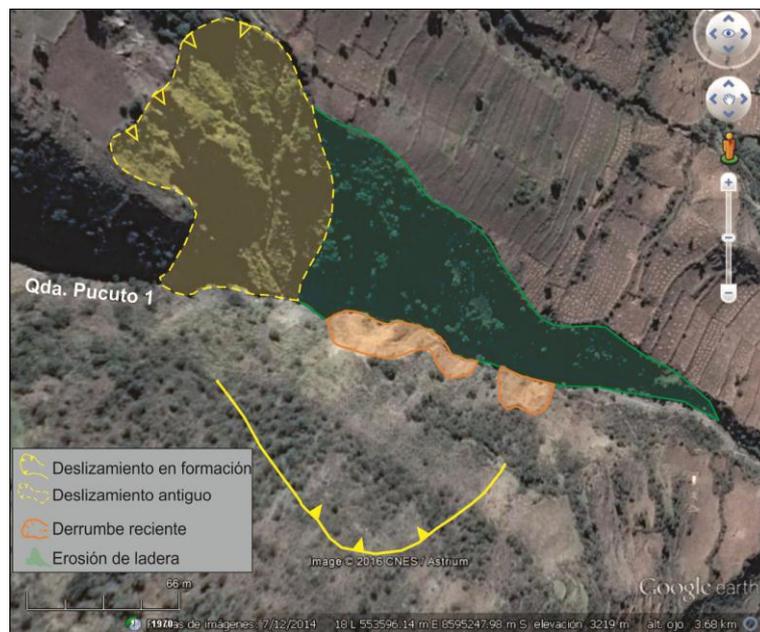


Figura 5. Imagen satelital, parte media de la quebrada Pucuto1.

Otra de las causas es, pendiente del terreno de 25° (foto 7), ello genera que el material suelto de la ladera se desestabilice.



Foto 7. Muestra la pendiente del terreno, en la margen derecha de la naciente de la quebrada Pucuto.

También influye la roca de mala calidad, conformada por areniscas, limolitas y limoarcillitas, como se mencionó anteriormente, las primeras permiten la filtración del agua, las segundas y terceras la retienen, ello contribuye con la pérdida de estabilidad en la ladera.

De generarse el deslizamiento, llegaría a represar la quebrada, lo cual formaría un embalse, el desembalse de laguna formada, sería catastrófico para las poblaciones que se encuentran aguas abajo.

b) FLUJOS (HUAICOS)

Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Existen casos en que se originan a partir de otros tipos de procesos, como deslizamientos o desprendimientos de rocas (Varnes, 1978). Pueden transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños. Alcanzan grandes extensiones de recorrido, más aun si la pendiente es más elevada.

Según Hungr & Evans (2004) tomado de PMA:GCA (2007), 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, figura 6) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Por ejemplo se tienen flujos de detritos (huaicos), de lodo, avalanchas de detritos, de roca, etc. Las avalanchas de detritos son flujos de grandes dimensiones. Sus depósitos están usualmente compuestos por bloques grandes (métricos), aun cuando se puede encontrar en su matriz material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria (Hungr et al, 2004).

El potencial destructivo de los flujos está dominado por su velocidad y la altura alcanzada por el material arrastrado (Rickerman, 2005) siendo muy importante una caracterización detallada de los eventos, dato importante que nos dará una idea del grado de peligro al que está expuesta un área determinada (Villacorta *et al* 2013).

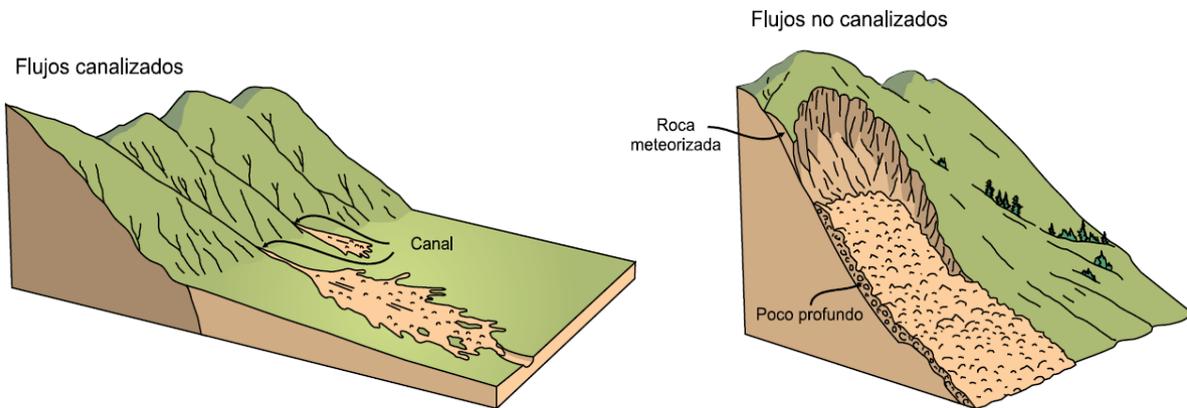


Figura 6. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden y Varnes, 1996).

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 deposición en abanico como se muestra en la figura 7 (Bateman y otros, 2006).

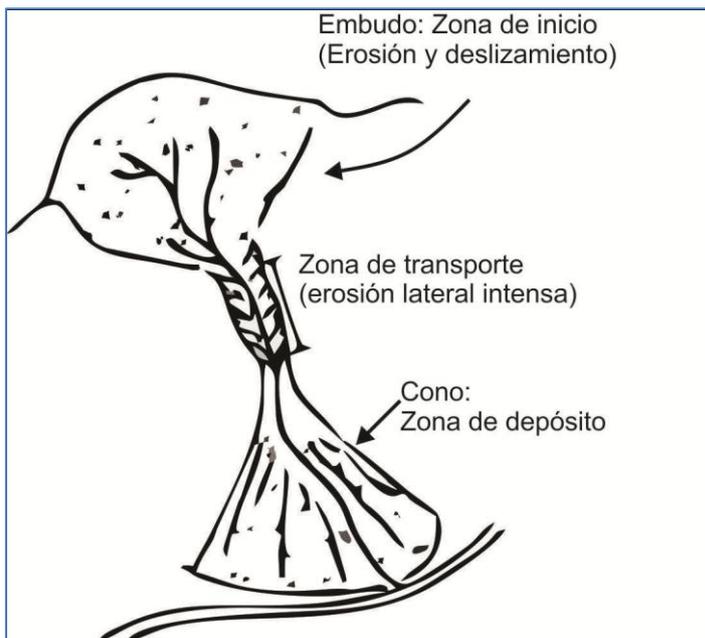


Figura 7. Esquema de generación de un flujo (Modificado de: Bateman y otros, 2006).

En el área se han identificado antiguos flujos de detritos que llegaron a represar las quebradas Pucuto y Palermo.

MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE LAS QUEBRADA PRINCIPALES

Quebrada Pucuto1

La microcuenca de la quebrada Pucuto1, desemboca en la quebrada Palermo por la margen derecha.

El punto más alto de la quebrada se encuentra a una altitud de 4 120 m.s.n.m. y su desembocadura en 3 110 msnm, haciendo un desnivel de 1 010 m².

La cuenca de recepción tiene forma alargada, con varios ramales. Presenta un cauce principal, en la cuenca media-alta tiene dirección hacia el norte, en la parte media a baja cambia hacia el NO-SE (figura 8). Los afluentes se disponen en forma paralela y dendrítica, controlados por el fracturamiento de la roca. Sobre ellos se encuentra material suelto de antiguos movimientos en masa, fáciles de remover.

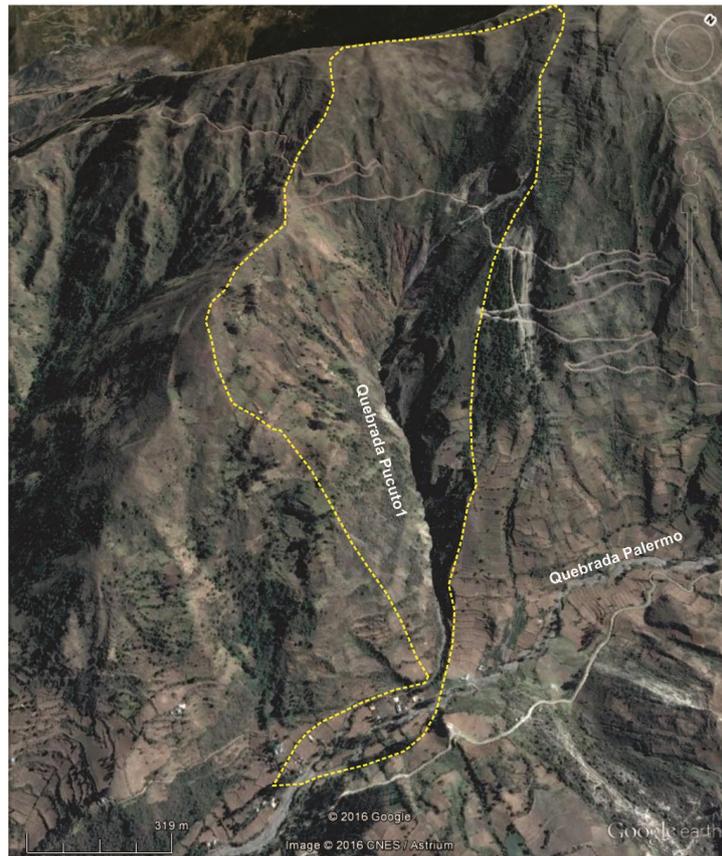


Figura 8: Se muestra la forma de la cuenca que tiene la quebrada Pucuto1. En la desembocadura el ancho de cauce varía entre 10 y 15 m.

El cauce de esta quebrada tiene un recorrido de 2 250 m, sus pendientes varían, en la cabecera con 30° disminuyendo bruscamente hacia la parte media, entre 15 a 10° y llegando hasta la desembocadura con pendientes menores a 2°.

En la desembocadura de la quebrada, se apreció un abanico, producto del depósito de un flujo de detritos, que llegó represar la quebrada Palermo, posteriormente fue erosionado por las quebradas Pucuto1³ y Palermo. Como evidencia del represamiento tenemos las terrazas inmediatas al represamiento que se muestran aguas arriba y el desvío del cauce natural en la quebrada Palermo hacia la margen izquierda.

² Datos obtenidos de las imágenes del Google Earth 2014.

³ El nombre de la quebrada se ha dado para fines explicativos, más no es verdadero nombre de la quebrada.

Se apreció que en ambos márgenes de la quebrada se encuentran una serie de movimientos en masa antiguos y recientes (deslizamientos, derrumbes y avalanchas de rocas) y procesos de erosiones de ladera, que alimentan con material suelto al cauce de la quebrada, incluso podrían llegar a represarla.

En la parte media de esta quebrada, hacia la margen derecha se está generando un deslizamiento⁴, que de seguir su movimiento podría represar a la quebrada, el desembalse violento de la quebrada, afectaría a la población que se encuentra en la parte baja.

En la margen izquierda se encuentran afloramientos de la Formación Pucará, conformados por secuencias de calizas, se tienen avalanchas de rocas.

En la margen derecha se hallan afloramientos del Grupo Mitu, conformado por secuencias de limolitas y areniscas de muy mala calidad. Se aprecian deslizamientos y flujos de detritos.

Quebrada Pucuto

Esta se encuentra aguas abajo de la quebrada Pucuto1, desemboca en la quebrada Palermo por la margen derecha.

El punto más alto de la quebrada se encuentra a una altitud de 3970 m.s.n.m. y su desembocadura en 2940 m.s.n.m., haciendo un desnivel de 1030 m⁵. El cauce principal tiene un recorrido de 2750 m, sus pendientes varían, en la cabecera hasta 30°, disminuyendo conforme llega aguas abajo, en la desembocadura cambia bruscamente de 10° a 2°.

La cuenca de recepción tiene forma cónica, con varios ramales, presenta un drenaje dendrítico y paralelo (figura 9). En la cuenca media, el lado derecho, tiene un ensanche mayor que el lado izquierdo, esto puede deberse por la disposición litológica.

En la cuenca alta presenta dos cauces principales, uno con dirección ligeramente hacia el noroeste y el otro hacia el noreste, desde el punto de unión de estos cauces hacia agua bajo, hasta su desembocadura, se aprecia un solo canal con dirección ligeramente al noroeste (figura 9). Los afluentes secundarios se disponen en forma paralela y dendrítica, controlados por el fracturamiento de la roca. Sobre ellos se encuentra material suelto de antiguos movimientos en masa, fáciles de transportar.

⁴Evento descrito anteriormente (Deslizamiento en la quebrada Pucuto1).

⁵Datos obtenidos de las imágenes del Google Earth año 2014.

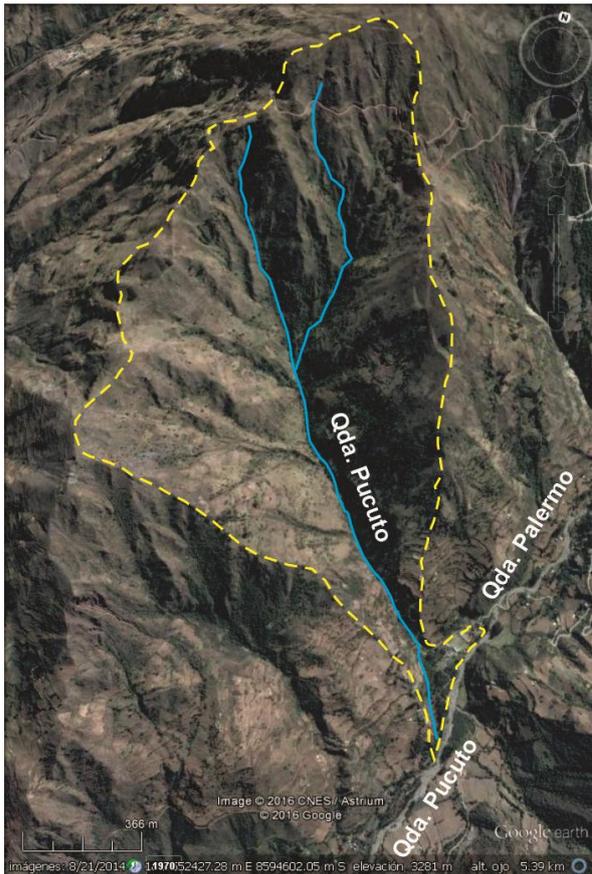


Figura 9. Quebrada Pucuto. Muestra una forma cónica.

En la desembocadura de la quebrada se formó un abanico, producto de un depósito de flujo de detritos, llegando a represar la quebrada Pucuto, posteriormente erosionado.

Como evidencia del represamiento tenemos la migración del cauce del río hacia la margen derecha, también se aprecia hacia aguas arriba de la quebrada principal colindante al depósito, una terraza formada post represamiento.

En ambas márgenes de la quebrada se encuentran una serie de movimientos en masa antiguos y recientes (deslizamientos y derrumbes), como también procesos de erosiones de ladera que alimentan con material suelto al cauce de la quebrada, que podrían llegar a represarla.

De generarse un flujo en este sector, por la pendiente que tiene el cauce de la quebrada, sería muy violento, con arrastre de grandes volúmenes de material, que llegaría a represar la quebrada Palermo-Pucuto.

Quebrada Palermo⁶

Esta quebrada se encuentra en la margen izquierda de la quebrada Palermo. En líneas generales es de forma alargada (figura 10). La cuenca alta ligeramente ovalada, la cuenca media en el lado izquierdo ligeramente alargada. El cauce principal desde la parte baja a alta tiene dirección este-oeste, en la desembocadura cambia de dirección

⁶ Nombre dado por el autor, para fines explicativos

al sur-oeste, esto último se debe por represamiento antiguo que sufrió la quebrada Palermo.

La desembocadura de la quebrada tiene forma de un abanico, que posteriormente fue erosionado por las quebradas Palermo y Palermo1.

Las rocas que afloran en el sector son calizas, del Grupo Pucara, se encuentran fracturadas y meteorizadas, por ello generan derrumbes y avalanchas de rocas y deslizamientos.

El punto más alto de la quebrada se encuentra a una altitud de 4 270 m.s.n.m. y su desembocadura en 2 940 msnm, haciendo un desnivel de 2 270 m (Datos obtenidos de las imágenes del Google Earth). El cauce principal tiene un recorrido de 2 020 m, sus pendientes en la cabecera es hasta de 30°, disminuyendo conforme se llega aguas abajo, en la desembocadura cambia bruscamente de 10° a 2°.

Sobre el depósito generado por el antiguo flujo de detritos, se encuentra asentada la población de Palermo.

Como evidencias del represamiento de la quebrada Palermo tenemos:

- Cambio de dirección del cauce de la quebrada Palermo hacia la margen derecha, donde toma una forma ligeramente ovalada.
- Al generarse el represamiento de la quebrada Palermo, la quebrada Palermo1, no tenía desfogue, entonces las aguas erosionan las zonas más fáciles, siendo la zona de contacto entre el material del flujo y la roca, por ello el cauce de la quebrada toma un cambio brusco.
- Aguas arriba, inéditamente después del depósito se formó una terraza.

En ambas márgenes de la quebrada se aprecian avalanchas de rocas, derrumbes, procesos de erosiones de ladera, que alimentan con material suelto al cauce de la quebrada.

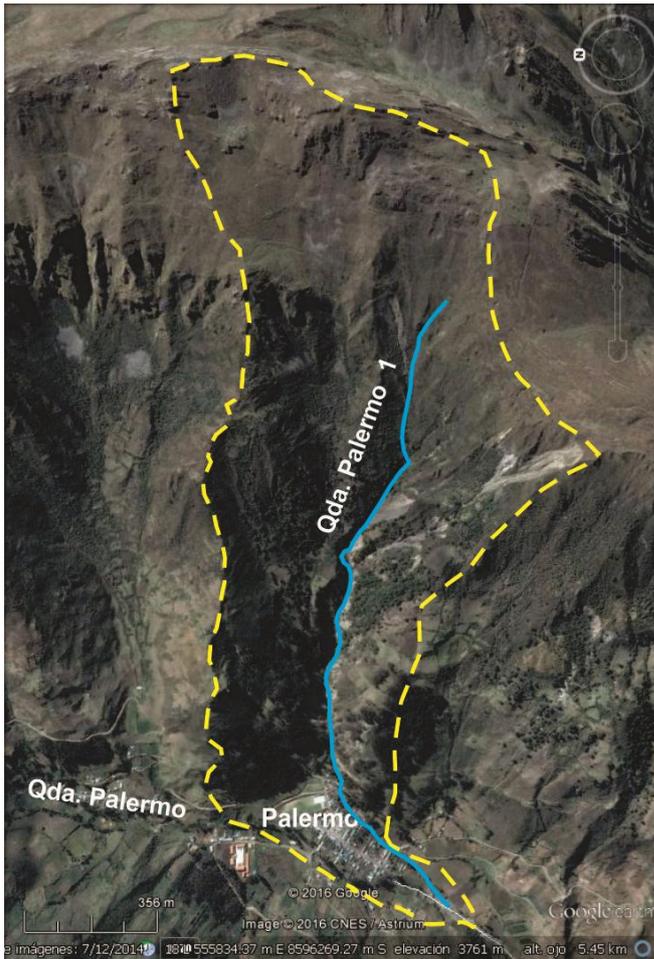


Figura 10. Quebrada Palermo1. Muestra la forma alargada que tiene en líneas generales.

Quebrada Palermo-Pucuto

Solamente se hace una descripción del tramo comprendido entre Palermo-Pucuto Centro (Anta)-Pucuto. La quebrada tiene una dirección noreste.

En este sector el cauce de la quebrada tiene una longitud de 3 400 m, en Palermo tiene una cota de 3 280 m.s.n.m. y en Pucuto 2 870 m.s.n.m. que hace una diferencia de cotas de 410 m ⁷. Con estos datos se calculó la pendiente del cauce de la quebrada, obteniendo como resultado 6°, lo que nos cataloga a la quebrada como muy tormentosa.

En este tramo la quebrada recibe aporte de varios afluentes ubicados en ambos márgenes, por la izquierda tenemos las quebradas Pucuto y Pucuto1; por la derecha la quebrada Palermo1 (figura 11).

En este sector, se ha apreciado varios cierres de cauce a consecuencia de antiguos movimientos en masa como deslizamientos y flujos de detritos, esto ha traído consigo que el cauce cambie de dirección y tenga formas cóncavas y convexas.

El cauce de la quebrada presenta una pendiente promedio de 6°, entonces de presentarse movimientos en masa que lleguen a represar a cualquiera de las quebradas afluentes o principal, el desembalse puede traer consecuencias

⁷ Datos obtenidos del Google Earth.

catastróficas para las viviendas que se encuentran en su cauce. El flujo sería muy violento y gran cantidad de arrastre de material.

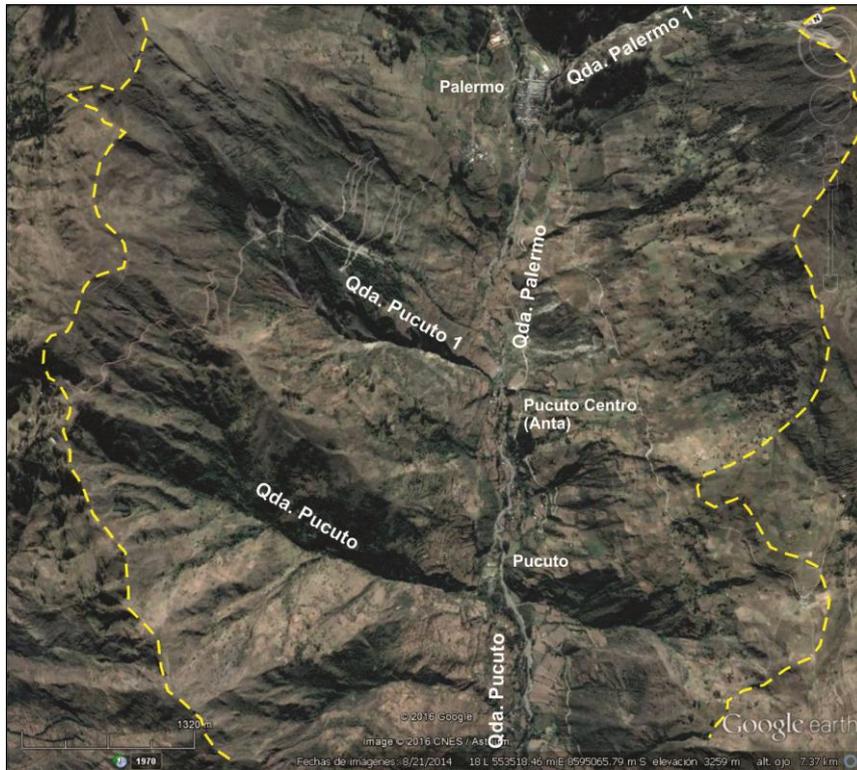


Figura 11. Se muestra el sector de Palermo-Pucuto Centro (Anata) –Pucuto.

Quebradas Sin Nombre:

Se tienen varias quebradas o torrenteras de menores dimensiones que las mencionadas anteriormente (figura 12).

Están controladas por procesos de erosiones laderas, como cárcavas, que alimentan con material suelto al cauce de la quebrada.

Estas quebradas en conjunto han formado un abanico, donde se encuentran asentadas algunas viviendas, que podrían ser afectadas en caso de en caso de una reactivación por lluvias intensas.

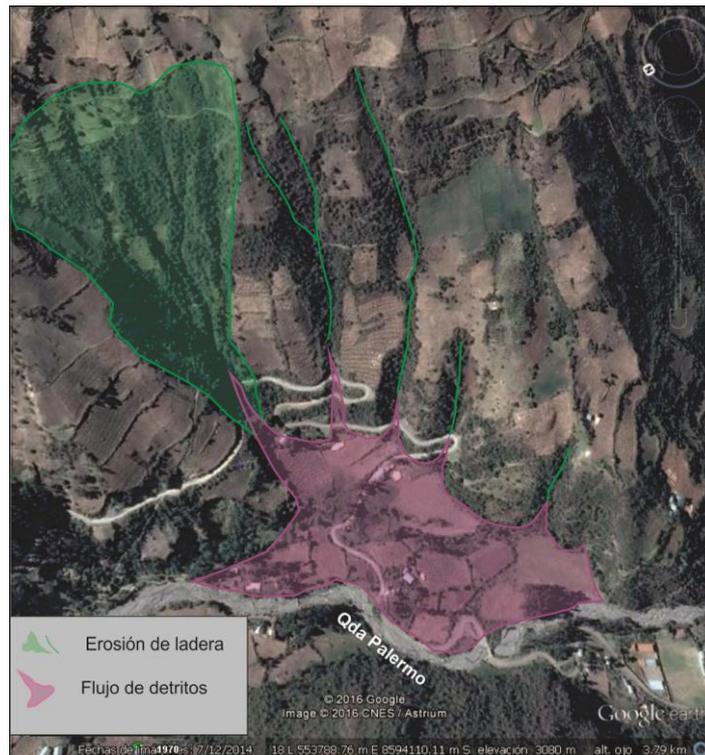


Figura 12. Se muestra varias quebradas con procesos de erosiones de ladera, y un piedemonte con ligera inclinación formado por depósitos de flujos de detritos. Sobre el depósito se encuentran asentadas viviendas.

c) AVALANCHAS DE DETRITOS

Son flujos no canalizados de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos, y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hungar *et al.*, 2001).

Las avalanchas, a diferencia de los deslizamientos, presentan un desarrollo más rápido de la rotura. Según el contenido de agua o por efecto de la pendiente, la totalidad de la masa puede licuarse, al menos en parte, fluir y depositarse mucho más allá del pie de la ladera (Varnes, 1978). Las avalanchas de detritos son morfológicamente similares a las avalanchas de rocas.

Frente a Pucuto Centro (Anta), en el año 1984, se presentaron dos avalanchas de detritos (foto 8), de los cuales una destruyó seis (06) viviendas y hubo 11 personas muertas.

Las avalanchas de detritos identificadas, se generaron dentro del cuerpo de deslizamiento antiguo. La composición del material que la conforma son arenas, limos, gravas y escasos bloques.

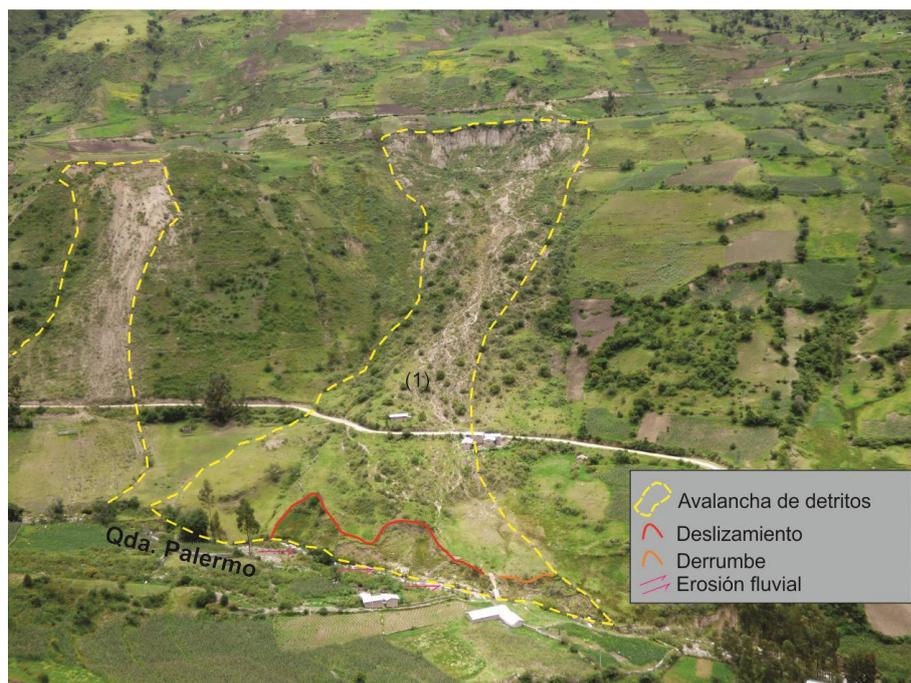


Foto 8. Se aprecia dos avalanchas de detritos. (1). Evento que destruyó 06 viviendas y donde murieron 11 personas.

El material que conforma este evento son bloques, gravas, arenas y limos. La masa desplazada de este evento, llegó hasta las inmediaciones del cauce de la quebrada Palermo. Según mencionan los moradores, este evento se generó en forma violenta, y se registró en la noche.

Causas:

- Roca altamente meteorizada.
- Pendiente del terreno mayor de 20°, que permite un rápido desplazamiento de la masa inestable.
- Material (suelo) que permite la rápida filtración de agua (arenisca), como también su retención (limolita), lo que hace que pierda estabilidad cuando se encuentra saturado.

El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales del año 1984.

En las inmediaciones de la quebrada Palermo, donde desembocó parte del material proveniente de la avalancha de detritos, se están formando deslizamientos y derrumbes, el primero con escarpa hasta de 150 m, el segundo con línea de arranque de 50 m. La causa principal de estos eventos es la erosión fluvial, material inconsolidado y pendiente del terreno.

d) AVALANCHAS DE ROCAS

Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hungry *et al.*, 2001). Pueden ser extremadamente móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado

parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria. Algunos depósitos de avalanchas pueden alcanzar volúmenes del orden de kilómetros cúbicos. Las avalanchas de rocas pueden ser muy peligrosas, pero afortunadamente no son muy frecuentes incluso en zonas de alta montaña. Las velocidades pico alcanzadas por las avalanchas de rocas son del orden de 100 m/s, y las velocidades medias pueden estar en el rango de 30-40 m/s. (PMA:GCA, 2007).

En el área se han identificado dos eventos importantes que afectaron la trocha carrozable Pucuto-Coyoc, en tramos con longitudes de 150m, 70m y 30m.

Se caracteriza por presentar bloques de roca, con tamaños hasta de 3 m, predominando los 0.50m a 1.00m, son de formas angulosas, los de mayor tamaño se asemejan a formas cúbicas (foto 9). El material que la conforma es de naturaleza calcárea.

Por el fracturamiento que presenta la roca, se le cataloga como maciza a poco fracturada⁸, por ello en el depósito de la avalancha se aprecian bloques con los tamaños mencionados anteriormente. También se observó que el fracturamiento de la roca se encuentra abierto, entre 5 a 20 cm.

Otra de las causas es la pendiente del terreno, entre 30° a 25°, ello contribuye a que el material suelto o inestable que se encuentre en la ladera, se desestabilice y se movilice cuesta abajo.

El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales que se presentaron en el año 2015.



Foto 9. Avalanchas de rocas que afectaron al tramo de trocha carrozable Pucuto-Coyoc.

⁸ La roca se encuentra fracturada, por estar en una zona de plegamiento.

e) CAÍDA DE ROCAS (Rock Fall)

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno 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 materia cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s (Figura 13 y 14).

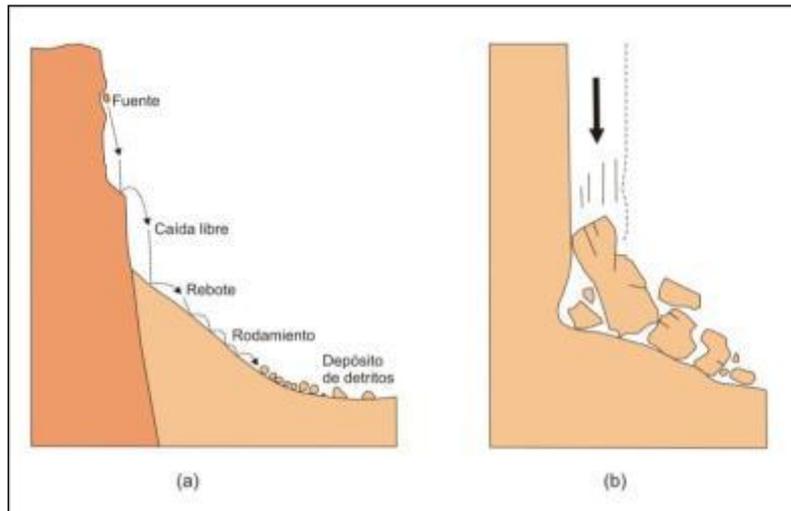


Figura 13. (a) esquema de la caída de rocas (b) Corominas y Yagué (1997) denominan a este movimiento como colapso.

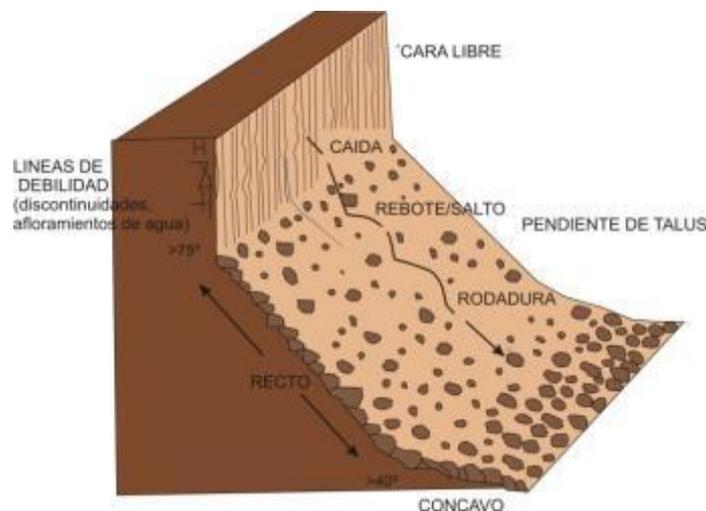


Figura 14. Esquema de una caída de rocas.

Derrumbe

Caída violenta de material, se puede dar tanto en macizos rocosos como depósitos de cobertura, son clasificados por: heterogeneidad litológica, meteorización fracturamiento, fuertes pendientes, humedad y/o precipitaciones, sismos, presión de las raíces de los árboles en las fracturas.

Estos fenómenos suelen producirse en taludes verticales en suelos inconsolidados a medianamente consolidados, rocas muy fracturadas y en el corte de carreteras, canteras, acantilados marinos, taludes de terraza, etc.

Los derrumbes identificados en el área se encuentran en la margen izquierda de la quebrada Pucuto, en la derecha de la quebrada Pucuto1 y en la margen derecha de la quebrada Palermo. Ambas alimentan con material suelto al cauce de las respectivas quebradas.

La causa principal es la erosión fluvial que ejerce la escorrentía de agua, en el periodo lluvioso.

f) REPTACIÓN DE SUELOS

En algunos sectores puntuales y algunos cuerpos de los deslizamientos antiguos se observa procesos de reptaciones de suelos, se caracteriza por presentar escarpas con longitudes menores a 2 m, y saltos entre 30 a 10 cm. Las escarpas son discontinuas.

Estos eventos, en un futuro pueden generar nuevos procesos de deslizamientos superficiales.



Foto 10. Procesos de reptación de suelos, margen derecha de la quebrada Pucuto1.

g) EROSIÓN DE LADERA

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en los terrenos. Comienza con canales muy delgados que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros (figura 15). La erosión está relacionada al proceso de escorrentía o arroyada. Normalmente la arroyada posee una profundidad pequeña, pocas veces superior a un centímetro. A partir de allí y con ayuda de la lluvia las partículas se

movilizan en el sentido de la máxima pendiente y producen una excavación que tiende a aumentar con la velocidad de la erosión.

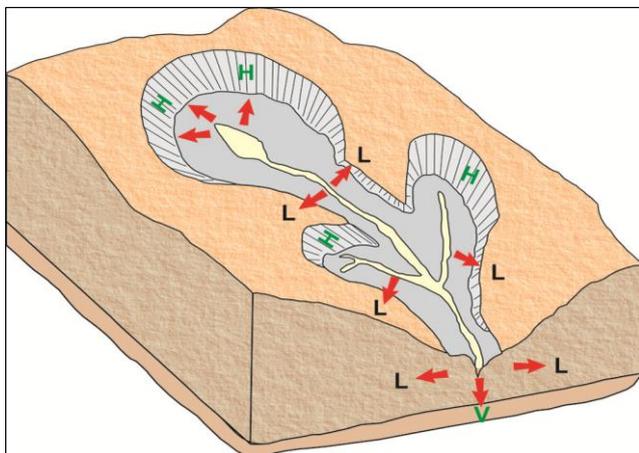


Figura 15. Forma como se manifiesta la erosión de laderas en una ladera de montaña. H: erosión de cabecera, L: erosión lateral y V: erosión vertical.

En el sector evaluado se han identificado procesos de erosión de laderas, tipo surcos y cárcavas. Tiene avance retrogresivo. Alimentan con material suelo al cauce de las quebradas, por ende contribuyen para la generación de flujos.

Causas de los procesos de erosión en cárcavas:

- Rocas de mala calidad, conformadas por areniscas y limolitas de fácil erosión.
- Pendiente de las laderas, entre 20° a 30°, genera inestabilidad.
Factor detonante las precipitaciones pluviales.

3.2 EROSIÓN FLUVIAL

Las quebradas Palermo, Pucuto1, Palermo1 y Pucuto se caracterizan por presentar un perfil típico en "V", se tiene una intensa erosión en sus paredes laterales, desestabilizándolas, generando deslizamientos y derrumbes.

Las quebradas al tener un caudal de alta energía y gran capacidad erosiva, van a tender a formar flujos de detritos o de lodo en épocas de intensas precipitaciones

Las erosiones importantes identificadas, se han dado en las quebradas Palermo y Pucuto1. La primera, que se da frente al depósito de la avalancha de detritos, en un tramo de 150m, en la cual se están formando deslizamientos y derrumbes.

La segunda incide principalmente, sobre la margen derecha, porque la roca es de mala calidad (limolitas con areniscas) es de fácil erosión.

4. ANALISIS GEODINÁMICO

En la quebrada Pucuto1, por su margen derecha, se está generando un deslizamiento (1) que podría represarla, de suceder lo mencionado, su desembalse podría generar un flujo de detritos (Huayco) mayor que llegaría a la quebrada Palermo. Este evento afectaría la población que se encuentra asentada en su desembocadura,

como también podría represar a la quebrada Palermo, afectaría a la población que se encuentra aguas abajo.

El deslizamiento reactivado como avalancha de detritos, tiene la probabilidad de sufrir una nueva reactivación, tal como muestra las condiciones inestables actuales del terreno. Se observó que sobre el cuerpo de la avalancha, se encuentran posicionadas viviendas, por lo tanto es necesario que estas viviendas se reubiquen.

En las quebradas S/N que se ubican agua arriba de la quebrada Palermo, después de la desembocadura de la quebrada Pucuto, por la margen izquierda, se observa procesos de erosiones de ladera, donde se ha formado un depósito de piedemonte originado por los diferentes flujos provenientes de la ladera en el tiempo. Sobre esta unidad se tiene asentadas algunas viviendas. En caso de lluvias extraordinarias, es muy probable que se reactiven las erosiones de ladera y aporten material suelto al cauce de las quebradas, y se generen flujos de lodo/detritos, que afectaría las viviendas que se encuentran en la planicie. Por lo tanto es necesario que se tomen algunas medidas correctivas con el fin de atenuar los efectos, o en todo caso proceder a la reubicación.

Ante una crecida extraordinaria de las aguas de la quebrada Palermo-Pucuto, generarían inundaciones y erosiones fluviales, ello afectaría las viviendas que se encuentran en la terraza baja. Por lo cual es necesario reubicar las viviendas que se encuentran en la terraza (Figura 16). Se puede realizar algunas medidas correctivas con el fin de atenuar sus efectos.

El centro poblado Palermo se encuentra asentado sobre un antiguo depósito proveniente de un antiguo flujo de detritos (huayco), según lo observado en las imágenes satelitales, en la microcuenca en las laderas se muestran derrumbes que deben estar alimentando con material suelto a la quebrada, en caso de lluvias excepcionales se van a formar flujos de detritos que afectarían a la población mencionada. Es necesario que se realicen algunas medidas correctivas en la cuenca, para atenuar los efectos.

La infraestructura ubicada en ambas márgenes de las quebradas Palermo-Pucuto, en caso de un represamiento de ellas, ya sea por flujo de detritos o deslizamiento, y se presentarse un desembalse violento afectaría la infraestructura que se encuentra sobre ellas. Por ello con fines preventivos las viviendas e infraestructura que se encuentra asentada sobre estas terrazas sean reubicadas.

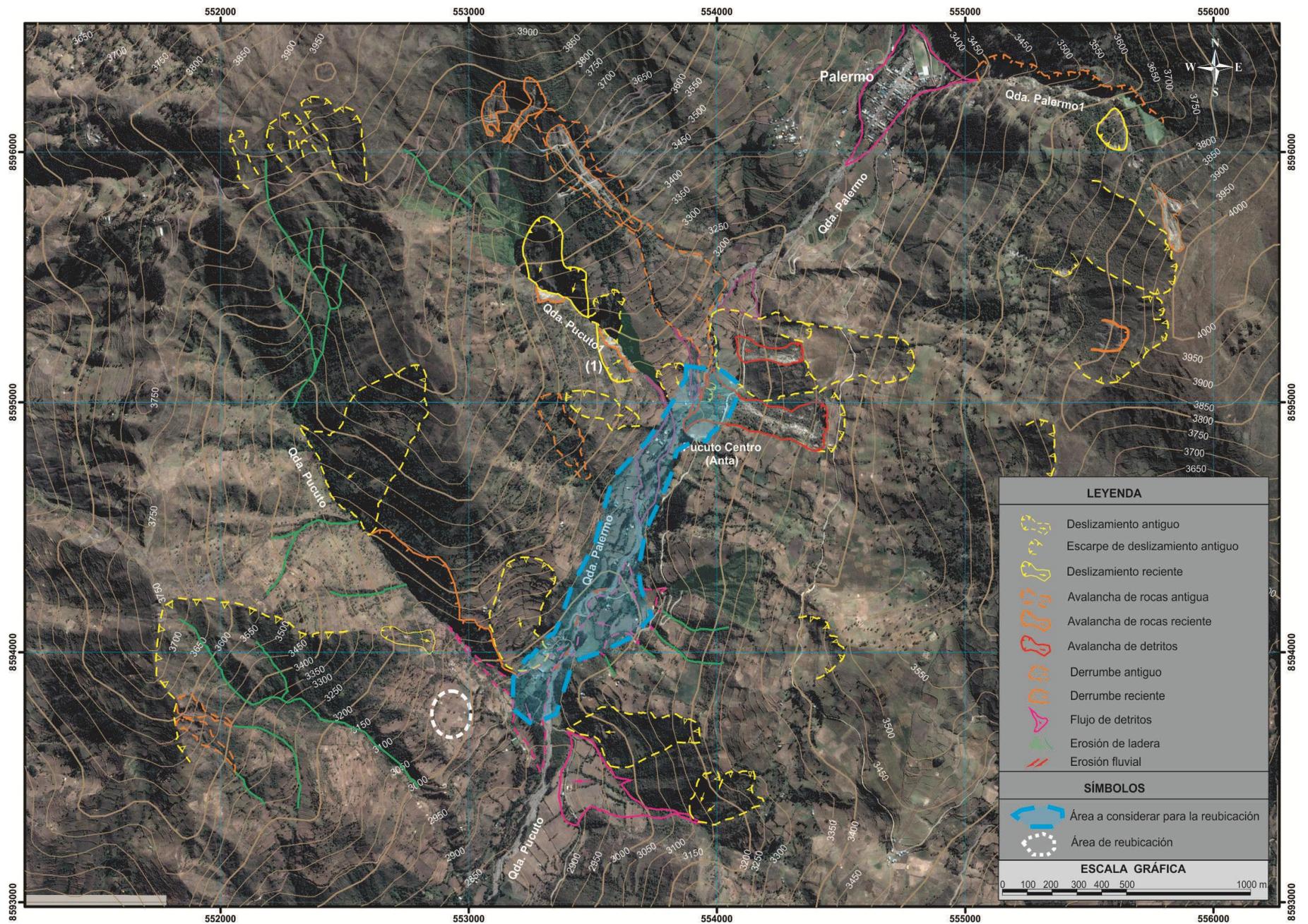


Figura 16. Se muestra el área afectada, para reubicación

5. EVALUACIÓN DE LA ZONA DE REUBICACIÓN.

La zona de reubicación se encuentra en la margen derecha de la quebrada Pucuto, aproximadamente en las siguientes coordenadas:

- 552933 E, 8593702 N

Altitud 3 035 msnm.

Abarca un área aproximada de 15,000 m². Actualmente se encuentra cubierta por terrenos de cultivo.

Hay que anotar que la zona de reubicación fue una propuesta de los moradores del área.

5.1 Características del terreno

Cercano al área de la zona de reubicación, en la parte superior de la montaña se identificó una escarpa de erosión.

Localmente el área propuesta para la reubicación se encuentra sobre una planicie, parte de la montaña sedimentaria erosionada (fotos 11 y 12).



Foto 11



Fotos 11 y 12 Vistas del terreno asignado para la reubicación.

Según el mapa geológico en el área se encuentra afloramientos de rocas del Grupo Mitu, la cuales se caracterizan por ser de mala calidad. Además el buzamiento de las capas es a favor de la pendiente.

Según lo encontrado en las excavaciones a cielo abierto (calicatas), la zona asignada para la reubicación, presenta suelo limo-arenoso con algo de gravas, color rojizo y marrón oscuro, medianamente compactado, producto del material proveniente de la descomposición de las rocas del Grupo Mitu (fotos 13 y 14).



Fotos 13 y 14. Calicatas, muestran suelos de color marrón con tonalidades rojizas.

En sector aledaño a la zona de reubicación, donde la ladera presenta pendiente menor a 20° , se identificó en un proceso de reptación de suelos, en forma puntual (foto 15). Es necesario que esta zona sea reforestada, y que no se tenga en cuenta para la expansión urbana.



Foto 15. Proceso de reptación de suelos.

5.2 Consideraciones para zona de reubicación

Tal como se ve el mapa de peligros geológicos, la zona comprendida entre Pucuto a Palermo, presenta una serie de peligros geológicos antiguos y recientes, que pueden afectar directamente la población ubicada en este tramo. Por lo cual es necesario su reubicación.

El área de reubicación por estar sobre secuencias muy susceptibles a procesos de movimiento de ladera, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **No usar los terrenos aledaños para agricultura**, de usarse deben ser con riego tecnificado por goteo, agricultura que necesite poca agua.
- **Reforestar la zona aledaña a la de reubicación**, con árboles autóctonos del área, con la finalidad de darle estabilidad.
- **Los accesos al poblado no se deben proyectar hacia la zona de pendiente**, con la finalidad de evitar corte de taludes y desestabilizar la ladera.
- **Realizar un drenaje pluvial**, a fin de evitar la filtración de agua al terreno.
- **Construir canal de coronación**, para evitar la infiltración de agua pluvial hacia el terreno.
- El antiguo canal de regadío ubicado en la parte superior de la zona de reubicación, en caso rehabilitarlo, debe ser revestido, con la finalidad de evitar la filtración de agua al subsuelo.
- **Los sistemas de abastecimiento de agua potable y de desagüe futuros, no deben tener averías**, para que los terrenos no se humedezcan.
- **Las vías de acceso**, se deben construir en lo posible, evitando cortes y rellenos del terreno, para impedir la formación de deslizamiento.
- **Realizar un estudio de suelos**, para determinar tipo de estructura a edificar.
- Las construcciones de viviendas deben ceñirse al “Manual para la Reducción del Riesgo Sísmico de Viviendas en el Perú” del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- **En lo posible realizar un estudio geofísico para determinar el espesor del suelo**, que involucre la zona asignada para la reubicación.
- **La población por ningún motivo no debe ubicarse en la ladera.**
- **En líneas generales evitar el humedecimiento del terreno**, para que no pierda cohesión y estabilidad.

6. MEDIDAS CORRECTIVAS GENERALES

El planteamiento del control de avenidas deberá hacerse combinando una serie de medidas dentro del marco de la planificación regional. Las obras de control deben contemplarse también dentro del contexto, y enfocarlas fundamentalmente a la disminución de daños. Los aspectos básicos a considerar dentro de esta planificación serán (IGME, 1985)

- 1° Ordenación de la cuenca de recepción: Los objetivos son favorecer al máximo la infiltración en esta zona y evitar la erosión, reduciendo así la escorrentía superficial y retardando el tiempo de concentración de las aguas. Para ello hay que favorecer el mantenimiento de la estructura del suelo mediante el mantenimiento o restauración de

la vegetación autóctona, la utilización de pastizales y prácticas de cultivo adecuadas (reforestación y utilización de especies nativas). Para impedir la erosión se empleará pequeñas estructuras o diques que favorezcan el depósito de sedimentos.

2° Regulación de las áreas de inundación y zonas afectadas por flujos de detritos:

Consiste en la zonificación de usos de suelo en función de determinados periodos de recurrencia de las inundaciones y flujos de detritos. Esto permite evitar al máximo en los daños y al mismo tiempo no poner limitaciones de desagüe al canal. Esta acción debe tomarse en base a un mapa de peligros geológicos y debe ir acompañada de propuestas para la gestión y desarrollo de medidas de protección en la zona (muros, gaviones, espigones, etc.).

3° Normas para la previsión y prevención de riesgos: La puesta en marcha y el éxito de un proyecto de planificación de gestión del riesgo, depende fundamentalmente en su mayor parte de la difusión y aceptación que tenga entre los usuarios del plan (las comunidades afectadas). Para llegar a esto es necesario establecer las bases para una labor paralela de información pública y desarrollo de medidas de prevención en que se aborden los siguientes puntos:

- Establecer sistemas de predicción meteorológica y de previsión de la magnitud de la avenida en función de las precipitaciones y del registro de caudales aguas arriba (estaciones hidrometeorológicas).
- Bases para el establecimiento de una normativa de medidas de seguridad y previsión de sistemas de alerta temprana (SAT) y evacuación de la población.
- Medidas de información y difusión pública entre la población sobre el riesgo existente y las medidas a tomar en caso de avenidas (Sensibilización sobre los peligros a que está expuesta la población e infraestructura).
- Potenciación de campañas de educación sobre peligros geológicos en todos los niveles educativos, divulgativos del problema, en este caso, de las inundaciones dentro del contexto ambiental y de control de erosión.

6.1 MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA DESLIZAMIENTOS Y CÁRCAVAS

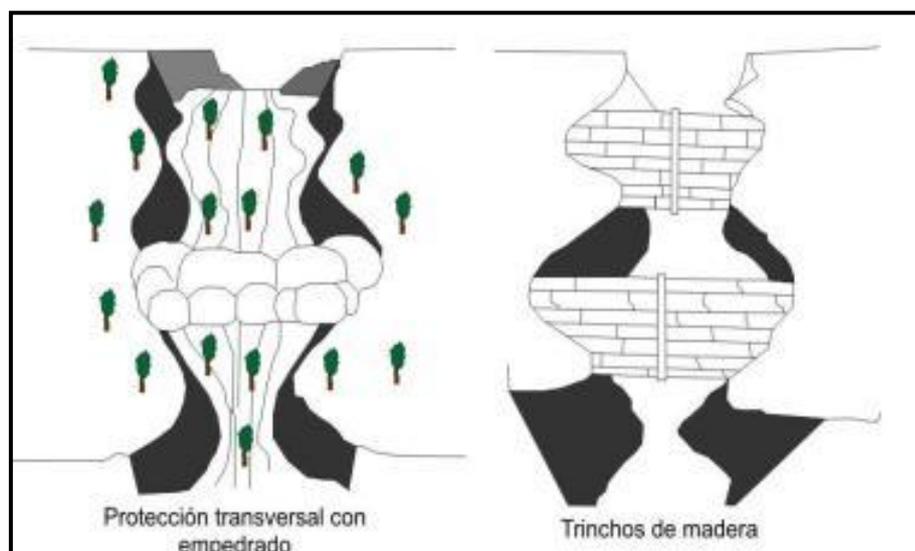
El proceso de deslizamientos y cárcavas ocurre esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso; asimismo por el socavamiento del río al pie de deslizamientos, la utilización de canales sin revestir, etc. Algunas, 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.
- Los canales deben ser revestidos para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- El sistema de cultivo debe ser por surcos en contorno y conectados al sistema de drenaje, para una evacuación rápida del agua.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece a la infiltración y saturación del terreno.

- 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.
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización, en la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzaran versus la pendiente y profundidad de los suelos, se recomienda que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración a curvas de nivel con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobre pastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal, se debe realizar un manejo de las zonas de pasturas mediante el repoblamiento de pasturas nativas, empleando sistemas de pastoreo rotativo, evitar la quema de pajonales.

6.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA EROSIÓN DE LADERA Y FLUJO (HUAYCO)

En este caso donde sea posible efectuar el “banqueamiento o banqueteo” en las laderas de las cabeceras de las quebradas o complementando a estas se podría efectuar la construcción de diques y muros de contención o disipadores de energía en el cauce de las quebradas (figura 17, 18 y 19).



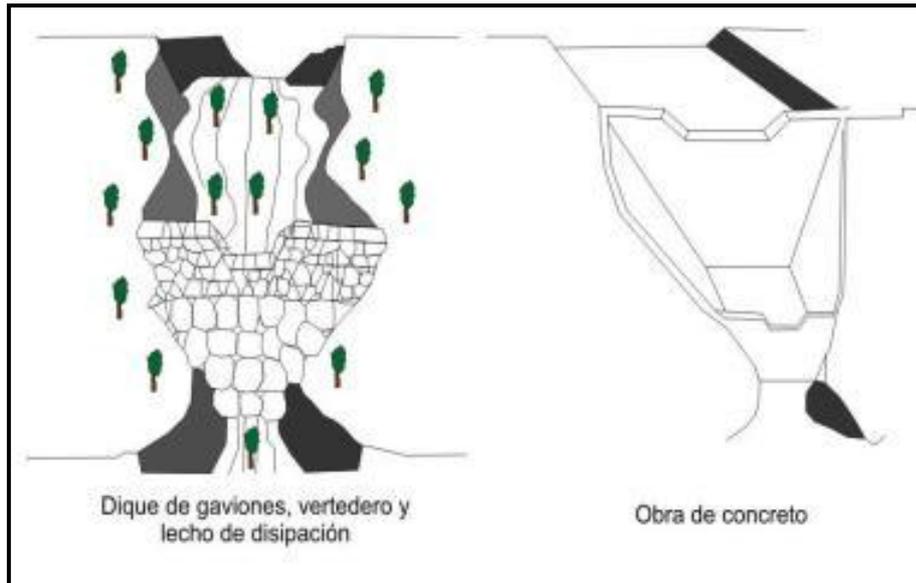


Figura 17. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas (CENICAFÉ, 1975).

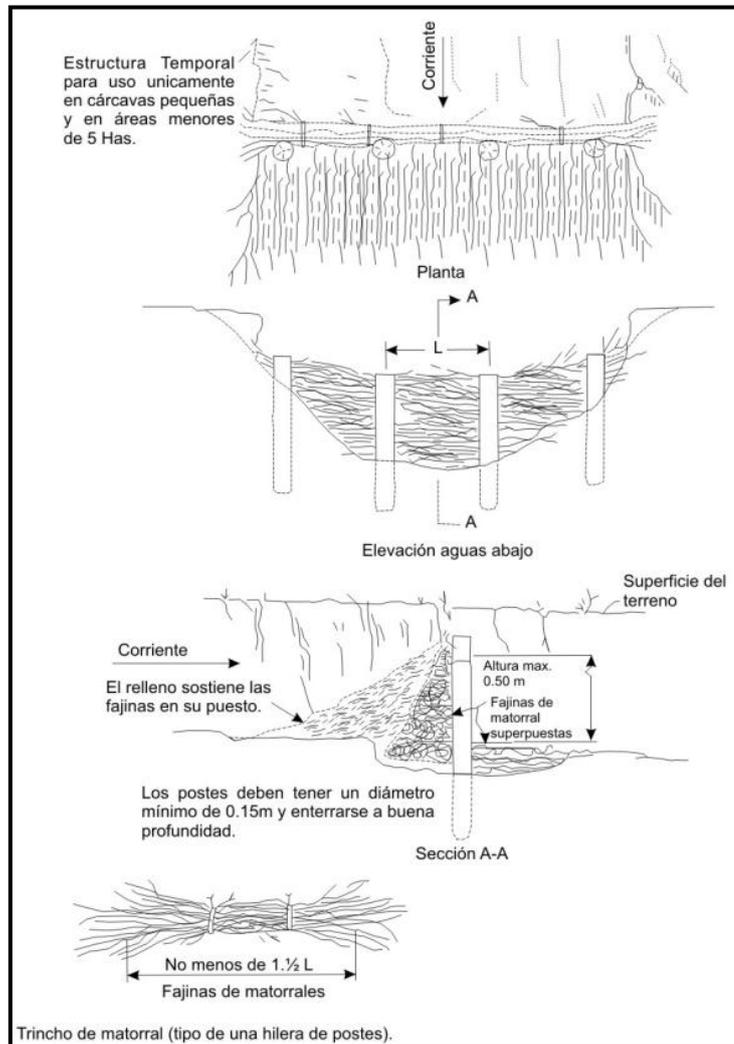


Figura 18. Medidas correctivas para flujos de detritos.

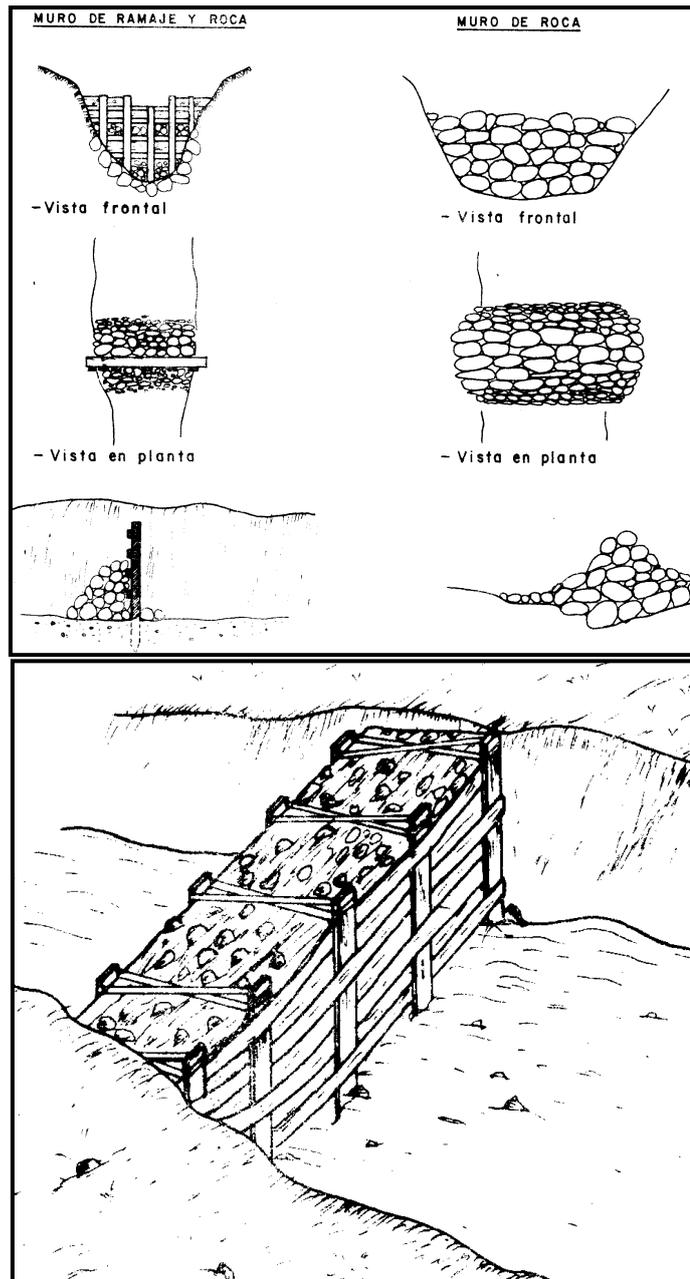


Figura 19. Tipos de presas escalonadas para la protección de fondo de cárcavas y huaycos incipiente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El área de estudio es considerada como de una geodinámica muy activa, porque se han identificado procesos de movimientos en masa recientes y antiguos, entre los recientes tenemos deslizamientos, avalanchas de rocas y de detritos.
2. Entre los deslizamientos recientes importantes, tenemos el que se está generando en la margen derecha de la quebrada Pucuto1, de seguir el evento podría represar la quebrada, el desembalse sería violento, esto afectaría las viviendas e infraestructura que se encuentran aguas abajo. Por lo tanto se considera como zona crítica, de **peligro inminente** ante la ocurrencia de lluvias intensas.
3. Recientemente se generó una avalancha de detritos, que destruyó seis viviendas y hubieron 11 personas muertas, actualmente se tienen algunas viviendas en el cuerpo del evento, es necesario reubicarlas.
4. De presentarse lluvias intensas e incrementarse el caudal de la quebrada Palermo, aumentaría el proceso erosivo, ello afectaría severamente la infraestructura que se encuentran en las terrazas aledañas.
5. Es necesario reubicar las viviendas que se encuentran comprendidas en el tramo Pucuto-Pucuto Centro (Anta) - desembocadura de la quebrada Pucuto sobre la quebrada Palermo, por ser un área inestable ante procesos de geodinámica.
6. La zona de reubicación asignada por los moradores, se encuentra sobre secuencias muy susceptibles a procesos de remoción en masa, es necesario que antes de ser habilitado el terreno se tomen en cuenta las consideraciones propuestas en el ítem 5.2.
7. Reforestar la zona para darle una mejor estabilidad.
8. Realizar un estudio de suelos, para fines de cimentación
9. Las construcciones de las viviendas se deben realizar de acuerdo al “Manual para la Reducción del Riesgo Sísmico de Viviendas en el Perú” del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (<http://sgrd.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/04/Manual-Reduccion-Riesgo-Sismico.pdf>)

BIBLIOGRAFÍA

Cruden, D., Varnes, D., (1996) Landslide types en processes, en Turner, K., y Schuster, R. L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, national Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36-75

Bateman, A., Medina, M, Steiner, F, Velasco, D. (2006). "Estudio Experimental sobre flujos granulares hiper-concentrados". XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela. pp. 1-10.

IGME – Instituto Geológico y Minero de España (1985), Geología y Prevención de daños por inundaciones. ISBN 84-7474-324-9. 421 p.

Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N. (2001), Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p. 22–238.

Morche, W y Larico, W. (1997). Geología del cuadrángulo de Huancavelica. INGEMMET. Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional, N°73. 172 p.

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO, Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA (2007) - **Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas**, 404p.

Rickenmann, D. (2005). **Debris flows and risk assessment**. Report for the Swiss Federal Office for Water and Geology. University of Natural Resources and Applied Life Sciences and Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL). Birmensdorf

VARNES, D. J. (1978). **Slope movement types and processes**. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

Vilchez, M., Ochoa, M. (2016). Estudio Riesgo Geológico en la Región Huancavelica. INGEMMET. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín en proceso de revisión.

Villacorta, S., Vásquez, E. Valderrama, P. (2013). Segundo Reporte de Zonas Críticas por peligro geológico y geo-hidrológicos en la región Apurímac. INGEMMET. Informe Técnico N° A6624. 46 p.