

Informe Técnico N° A6624

Segundo Reporte de Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geo-hidrológicos en la Región Apurímac



POR:
SANDRA VILLACORTA
ESTBENE VÁSQUEZ
PATRICIO VALDERRAMA
MARIBEL MADUEÑO



MARZO 2013

CONTENIDO

| | | |
|------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1.1 | ANTECEDENTES | 3 |
| 1.2 | METODOLOGÍA | 3 |
| 1.3 | GENERALIDADES..... | 4 |
| 1.4 | HIDROGRAFÍA..... | 5 |
| 1.5 | GEOLOGIA..... | 5 |
| II. | PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN APURÍMAC..... | 7 |
| 2.1 | CAIDA..... | 7 |
| 2.2 | DESLIZAMIENTOS | 11 |
| 2.3 | FLUJOS | 16 |
| 2.4 | MOVIMIENTOS COMPLEJOS..... | 19 |
| 2.5 | REPTACIÓN DE SUELOS..... | 20 |
| 2.6 | EROSIÓN | 22 |
| 2.7 | INUNDACIONES | 24 |
| 2.8 | SISMOS | 26 |
| III. | ZONAS CRÍTICAS | 27 |
| IV. | MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN..... | 39 |
| 4.1 | PARA ZONAS CON CAÍDA DE ROCAS..... | 39 |
| 4.2 | PARA ZONA CON DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS..... | 40 |
| 4.3 | PARA EROSIÓN DE LADERAS | 41 |
| 4.4 | PARA FLUJOS (HUAYCOS)..... | 41 |
| 4.5 | PARA INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL..... | 42 |
| V. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 43 |
| VI. | AGRADECIMIENTOS..... | 44 |
| VII. | REFERENCIAS | 45 |

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como parte de su Programa Nacional de Riesgos Geológicos inició en el año 2011 el proyecto GA25B: “Peligros Geológicos en la región Apurímac” con el objetivo de contribuir en la prevención de desastres y ordenamiento territorial en dicha región.

Este proyecto comprendió el cartografiado e inventario de peligros geológicos, trabajo realizado en coordinación con el Gobierno Regional (GORE) de Apurímac. Gracias a este trabajo se ha podido identificar las áreas con mayor posibilidad de ser afectadas por diferentes peligros geológicos y geohidrológicos.

El objetivo de este reporte es dar a conocer las zonas críticas por estos procesos, identificadas durante los trabajos del proyecto para que las autoridades y población organizada de la región puedan actuar adecuadamente en la prevención y mitigación de desastres.

Actualmente el proyecto GA25B se encuentra en una etapa final de desarrollo, efectuándose el procesamiento de la información colectada en campo para obtener productos que se constituyan en un aporte para la gestión de riesgos, la planificación y la toma de decisiones ante desastres de origen geológico que puedan ocurrir en la región Apurímac.

1.1 ANTECEDENTES

En los estudios de Riesgos Geológicos del Perú Franjas N°2 y N°3 (INGEMMET, 2002 y 2003) se analizó a escala regional la problemática de los peligros geológicos y se señalaron 10 zonas críticas por este peligros geológicos y geo-hidrológicos para la región Apurímac. También son importantes los informes como resultado de las evaluaciones técnicas realizadas por la Dirección de Geotecnia del INGEMMET (Dávila, S. & Herrera, I. 1997; Dávila, S. & Zavala, B. 1997; Dávila, S. 2000).

Otros estudios anteriores que mencionan la temática de la prevención de desastres en la región Apurímac son: el Plan regional de prevención y atención de desastres - Apurímac (Comité regional de Defensa Civil Apurímac, 2011) y el “Manual para la prevención de desastres y respuestas a emergencias la experiencia de Apurímac y Ayacucho” (Santillán et al, 2005).

En el año 2011 inició el proyecto: “GA25B: Peligros Geológicos en la región Apurímac” con el objetivo de contribuir en la prevención de desastres y ordenamiento territorial en la región. Como dos de los primeros resultados del proyecto, en marzo del 2012 se presentó a las autoridades apurimeñas el “primer reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Apurímac” (Villacorta, Valderrama y Roa, 2012) en el cual se señalan 22 zonas críticas por este tipo de procesos y el reporte de la inspección de campo de la zona del Ampay (Tamburco) por las lluvias de febrero del 2012: “Evaluación del flujo de detritos de Tamburco” (Villacorta & Valderrama, 2012).

1.2 METODOLOGÍA

La metodología seguida para el reporte ha consistido de 3 etapas:

Etapa de gabinete. En ésta parte se realizó el compilado de toda la información base a cerca de la zona de estudio. Incluye la interpretación de fotografías aéreas,

imágenes satelitales, mapas preliminares e información bibliográfica de boletines y artículos correspondientes al tema.

Trabajos de campo. Se efectuaron en cuatro campañas de campo donde se realizó el inventario y cartografiado de procesos geológicos y geohidrológicos, inspección de pasivos ambientales y trabajos de comunicación con comunidades. Estos trabajos se desarrollaron en viajes de 25 a 30 días en la región Apurímac realizados en mayo y octubre del 2011; y en abril y agosto del 2012.

Procesamiento y análisis de la información obtenida en gabinete y campo. La clasificación utilizada para el caso de movimientos en masa es la señalada en el documento "Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas" (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

1.3 GENERALIDADES

El departamento de Apurímac se encuentra situado en los Andes centrales del sur del Perú. Limita por el norte, este y oeste por las regiones Ayacucho y Cusco; y por el sur con Arequipa (figura 1). Esta región cuenta con siete (07) Provincias: Abancay, Aymaraes, Chincheros, Grau, Andahuaylas, Cotabambas y Antabamba; siendo la capital la ciudad de Abancay (2378 msnm).

Posee una accidentada geografía con altitudes que varían entre 700 y 5600 msnm. Está ubicado entre cumbres nevadas como el Mallmanya a 5,115 m y el Ampay a 5,223 msnm y valles abismales. Posee una extensión aproximada de 20,900 kilómetros cuadrados donde viven alrededor de 452,000 (INEI, 2008).

Las condiciones climáticas de la región varían acorde con los pisos altitudinales, observándose clima cálido y húmedo en el fondo de los cañones profundos, templado y seco en las altitudes medias, frío y con acentuada sequedad atmosférica en la alta montaña; y muy frío en las cumbres nevadas. La variación de la temperatura es muy significativa y disminuye con la altitud desde los 25°C en el día hasta los 3°C por las noches (Antabamba a 3636 msnm en el mes de Octubre), las precipitaciones son abundantes de Diciembre a Abril y el periodo seco con lluvias escasas de Mayo a Noviembre.



Figura 1. Mapa de ubicación de la región Apurímac

1.4 HIDROGRAFÍA

El drenaje en el área de estudio tiene una orientación general de sur a norte y todos sus ríos pertenecen a la cuenca del río Apurímac, al que llegan sus aguas por la margen izquierda.

Los principales ríos en la región se originan en la Cordillera Occidental, siendo los más importantes: el río Apurímac, que sirve de límite con el Departamento del Cusco; el río Pampas, que delimita el departamento de Ayacucho; y el río Pachachaca, en la parte céntrica de los dos ríos mencionados anteriormente. Los tres ríos de mayor importancia forman las cuencas principales, que a su vez constan de sub-cuencas (figura 2) detalladas de la siguiente forma: la cuenca del río Apurímac, posee dos, la sub-cuenca del río Santo Tomas y la sub-cuenca del río Vilcabamba; La cuenca del río Pampas consta de dos, la sub-cuenca del río Chumbao y la sub-cuenca del río Chicha; y por último la cuenca del río Pachachaca que se encuentra en la parte central, entre las dos cuencas anteriormente mencionadas, consta de dos sub-cuencas denominadas sub-cuenca del río Chalhuanca y la sub-cuenca del río Antabamba.

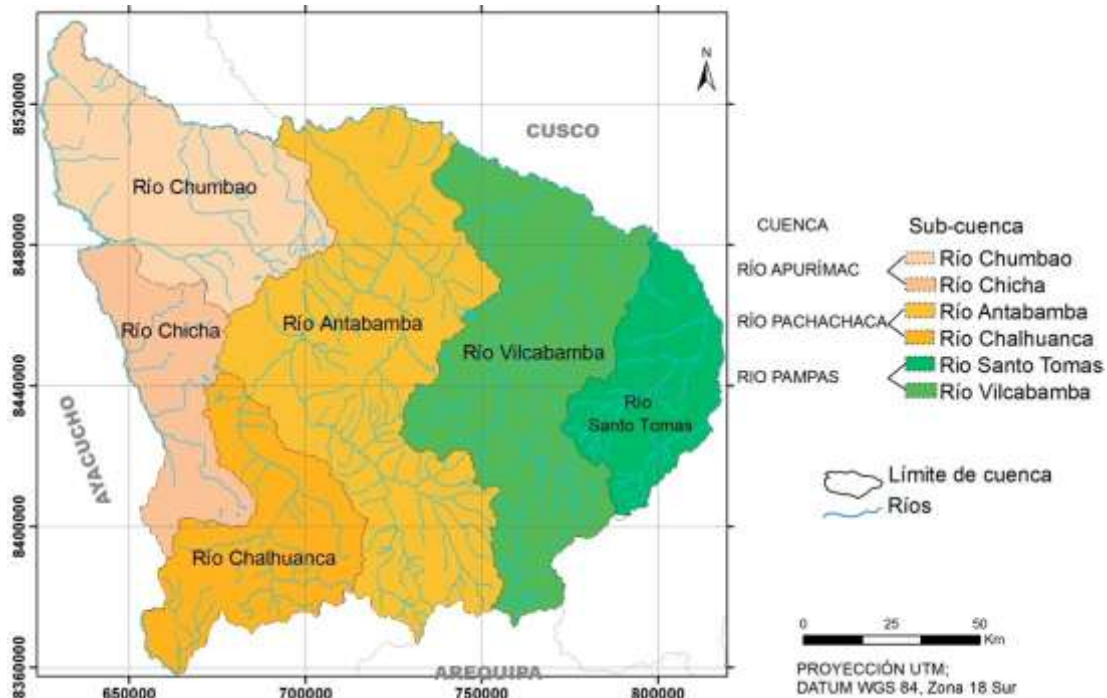


Figura 2. Mapa de las principales cuencas y sub-cuencas de la región Apurímac

1.5 GEOLOGÍA

La región Apurímac posee una gran variedad de tipos de rocas, de origen ígneo, sedimentario y metamórfico cuyas edades se encuentran entre más de 600 millones de años hasta la era reciente (figura 3). Estas unidades están dispuestas de manera compleja debido a que el área de estudio forma parte de la Cordillera de los Andes, la cual pasó por una evolución tectónica con fuertes eventos de deformación y posterior erosión ocurridos en distintos periodos geológicos

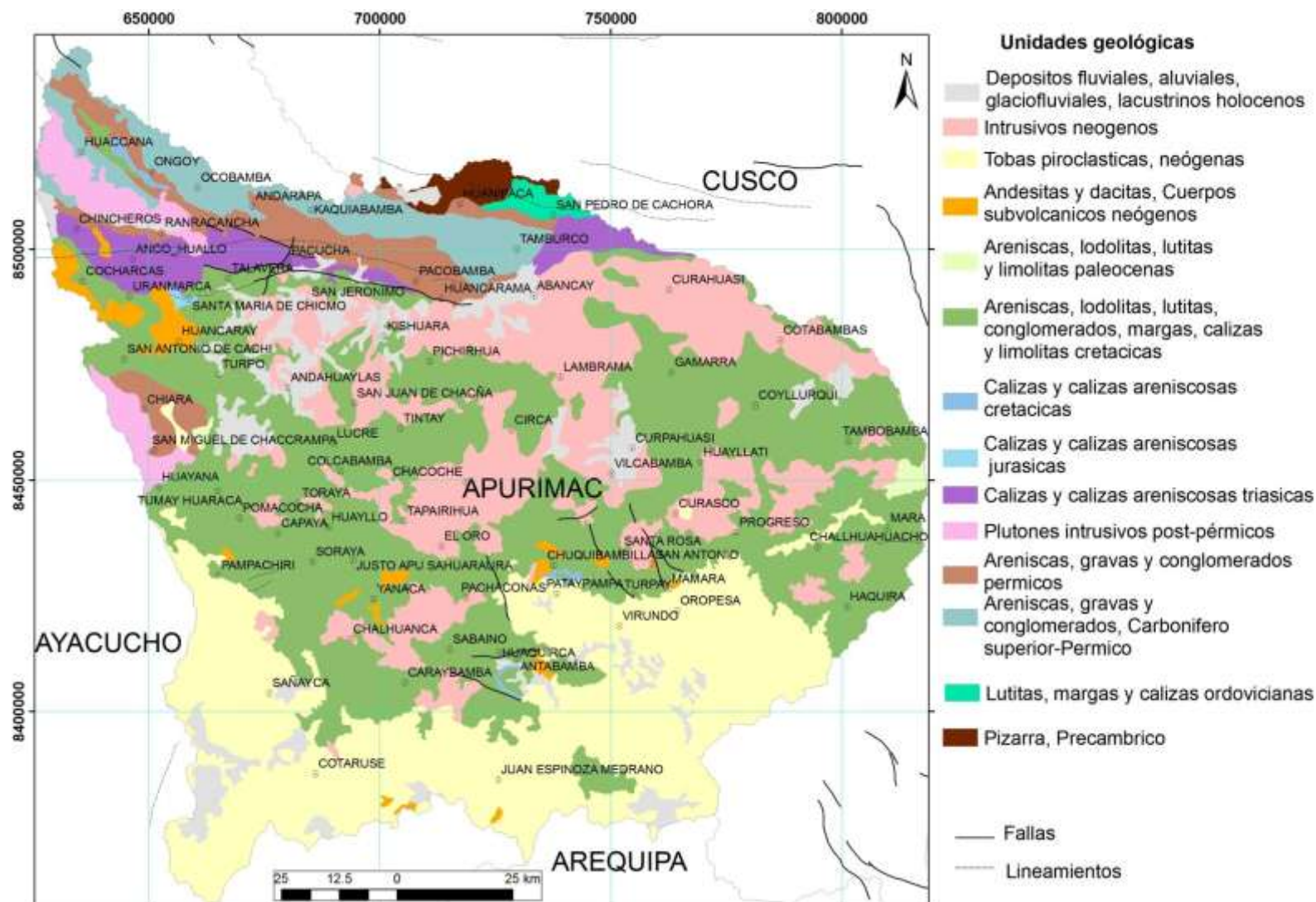


Figura 3. Mapa geológico de la región Apurímac. Tomado de: Marocco, 1975; Pecho, 1981; Valdivia & La Torre, 2003).

Estructuralmente, en la región se observan zonas de fallas de orientación E-O en la parte septentrional representadas por el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Chincheros y NE-SO constituidas por el sistema de fallas Patacancha-Tamburco (Carlotto et al, 2006). También se presentan pliegues con una orientación (E-W) coincidiendo con las fallas, la mayor parte de las estructuras de la zona de estudio pertenecen al ciclo orogénico andino. (Marocco, 1975; Pecho, 1981; Valdivia & La Torre, 2003).

II. PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN APURÍMAC

En base a los trabajos de gabinete como la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite y las investigaciones de campo como el cartografiado e inventario sistemático de peligros geológicos (figura 5) a escala 1:50 000 en la región Apurímac se ha registrado un total de 849 procesos que pueden causar desastres. Del inventario se obtuvo la estadística resumida en la figura 4, en la cual se establece que en esta región son más frecuentes los eventos de caídas de rocas, los flujos (huaycos), los deslizamientos y la erosión de laderas. En menor cantidad pero no menos importante, por los daños asociados, se encuentran los fenómenos de inundación, erosión fluvial, movimientos complejos y reptación de suelos.

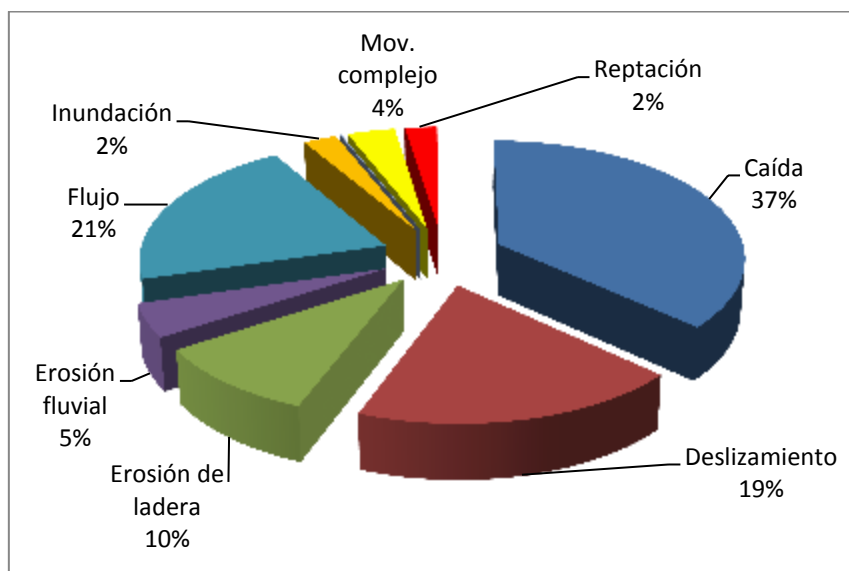


Figura 4. Porcentaje de Peligros geológicos inventariados en la región Apurímac

A continuación una descripción de los principales procesos registrados en la región.

2.1 CAIDA

La caída de rocas es un fenómeno que ocurre principalmente por gravedad y al producirse la pérdida de equilibrio en el macizo rocoso. Los bloques de roca y/o suelo se desprenden de una ladera, donde no hay un desplazamiento cortante apreciable en superficie (figura 6). Cuando el material se desprende, el desplazamiento ocurre generalmente por el aire efectuando golpes, rebotes y en algunos casos rodamiento. Generalmente el movimiento de estos procesos es rápido a extremadamente rápido con velocidades que superan los 5 m/s (Cruden y Varnes 1996; cuadro 1). Una variedad de las caídas son los derrumbes, que se producen de manera violenta.

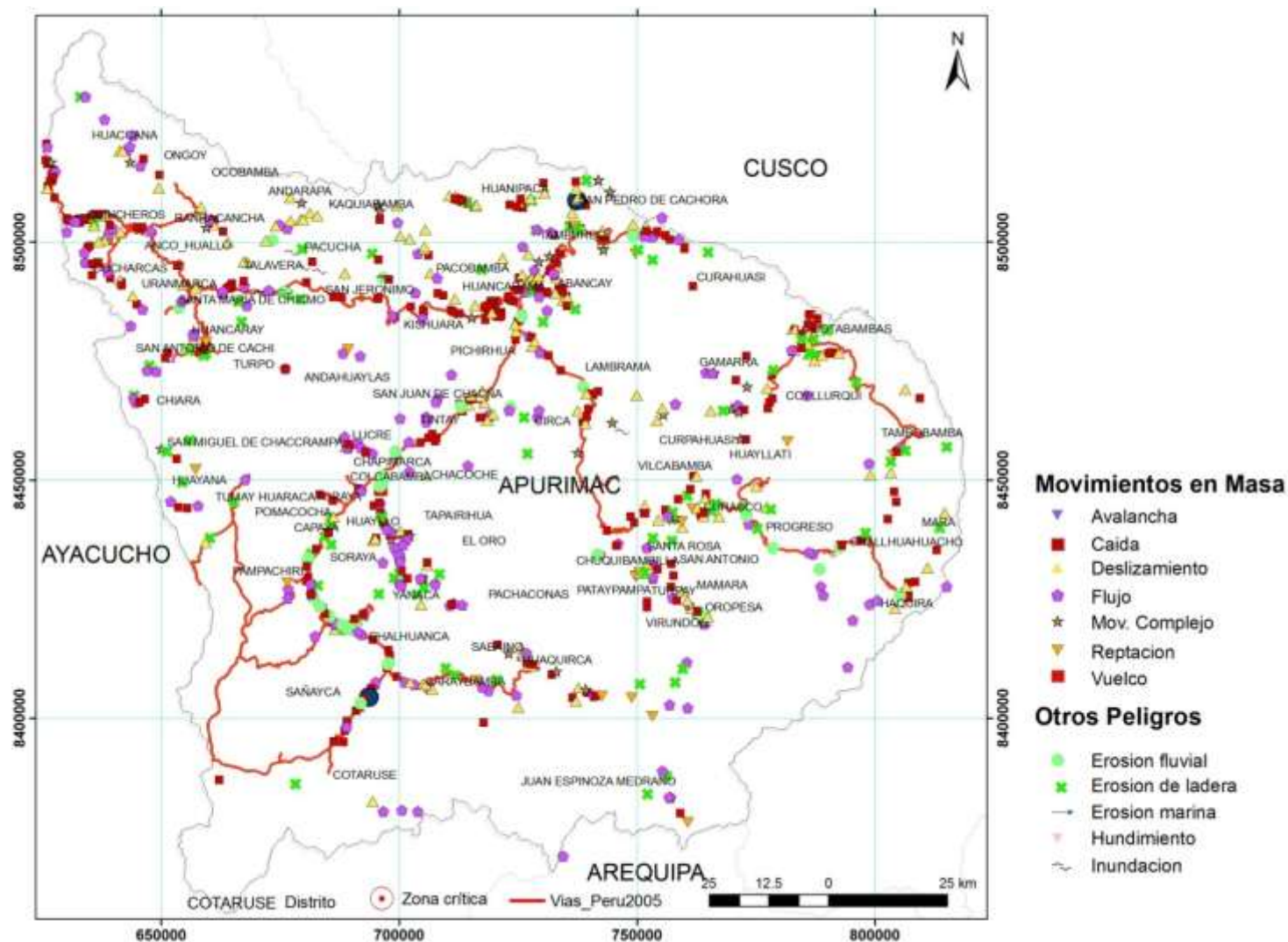


Figura 5. Inventario de peligros geológicos y geo-hidrológicos en la región Apurímac (Modificado de: Villacorta, Valderrama y Roa; 2012).

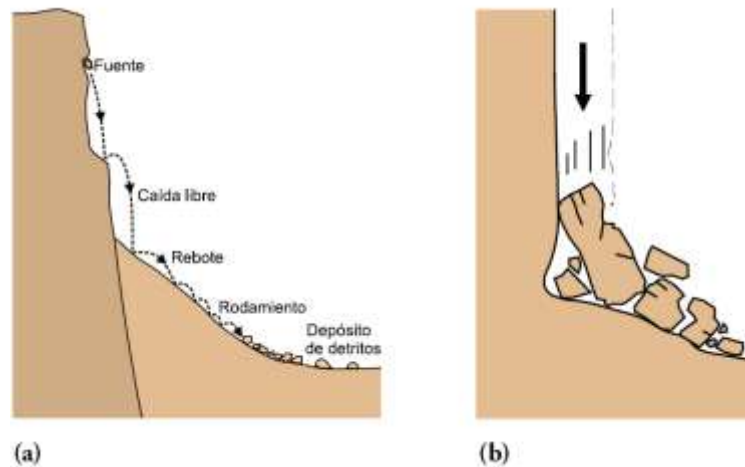


Figura 6. a) Esquema representativo de una caída de rocas (b) Derrumbe (Cruden y Varnes, 1996)

Cuadro 1. Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996).

| Clases de velocidad | Descripción | Velocidad (mm/s) | Velocidad típica |
|---------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| 7 | Extremadamente rápido | 5×10^3 | 5 m/s |
| 6 | Muy rápido | 5×10^1 | 3 m/min |
| 5 | Rápido | 5×10^{-1} | 1,8 m/h |
| 4 | Moderada | 5×10^{-3} | 13 m/mes |
| 3 | Lenta | 5×10^{-5} | 1,6 m/año |
| 2 | Muy lenta | 5×10^{-7} | 16 mm/año |
| 1 | Extremadamente lenta | | |

Algunos de estos procesos se producen por la actividad antrópica (cortes en el pie de talud de carretera, sobrecargas para el terraplén de la carretera, muros de viviendas, etc). En la región Apurímac así como en otras regiones del Perú muchos de los cortes de carretera se han efectuado de forma inadecuada, es decir sin tomar en consideración la estabilidad del afloramiento rocoso, la meteorización de las rocas, la pendiente de equilibrio o la presencia de depósitos de remoción (Fidel et al, 2006). En la foto 1 se observa un afloramiento de roca en la margen derecha del río Huiriquilla (distrito de Curasco provincia de Grau) que muestra un intenso fracturamiento del afloramiento rocoso.



Foto 1. Caída de rocas en la margen derecha del río Huiriquilla, en el distrito de Curasco, provincia de Grau. Se observan los fragmentos suspendidos en el talud sobre la carretera.

Muchos ejemplos de este tipo de procesos se pueden ver en la carretera Cusco-Abancay, donde se ha registrado derrumbes por las intensas precipitaciones pluviales, la crecida de los ríos y cortes de carretera. Por ejemplo a la altura del puente Calicanto (distrito de Haqira, provincia de Cotabambas) se produjo un derrumbe (foto 2) que inhabilitó en el 2012 este tramo de la vía, el cual se encuentra actualmente en reconstrucción.



Foto 2. Derrumbe que originó la ruptura de la base de la carretera Cusco-Abancay a la altura del puente Calicanto (distrito de Haqira, provincia de Cotabambas).

Otro ejemplo de caída de rocas se observó en la margen izquierda de la quebrada Huañuni (distrito de Oropesa, provincia de Antabamba). El material que compone la ladera son rocas volcánicas fracturadas que producen bloques sub-angulosos a sub-redondeados. Al parecer este sector también estaría dominado por una falla regional. En la parte baja de la ladera se encuentran viviendas y muy cerca material desplazado por una avalancha de detritos (foto 3)



Foto 3 Caídas de rocas y avalancha de detritos originadas en las cabeceras de la quebrada Huañuni, en el distrito de Oropesa, provincia de Antabamba.

Otro claro ejemplo se observa en el sector de Mitanay en la margen izquierda de la quebrada Cusillo (provincia de Abancay, distrito de Huanipaca). Los derrumbes (foto 4), han sido activados por los sucesivos cortes de carretera. Las dos escarpas tienden a juntarse en una sola convirtiéndose en un cuerpo con mayor volumen y dimensiones.



Foto 4. Dos derrumbes sucesivos en el sector Mitanay, que pueden dar origen a un deslizamiento.

Otras carreteras afectadas constantemente en épocas de lluvias por derrumbes y caídas de rocas son la vía Chincheros-Ocobamba en la provincia de Chincheros y la vía asfaltada que une a la ciudad de Abancay con Chalhuanca, ambas afectadas en diciembre del 2012. Asimismo, ha sido afectado en ese mismo periodo el sector de Promesa (distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes) por un derrumbe que dejó aproximadamente 18 casas destruidas y 20 familias damnificadas.

2.2 DESLIZAMIENTOS

Son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca, desplazándose por lo general a lo largo de una superficie de falla, o en el trayecto de una delgada zona en la que ocurre una gran deformación cortante. La saturación de agua de los depósitos inconsolidados que conforman una ladera es una de las principales causas que

provocan derrumbes y deslizamientos. Según la clasificación de Varnes (1978), se puede clasificar a los deslizamientos según la forma de la superficie de la escarpa por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. A su vez los deslizamientos traslacionales pueden ser planares o en cuña. Es clásico encontrar en un deslizamiento saltos de escarpas centimétricos a métricos. Los deslizamientos pueden encontrarse en un estado de constante desplazamiento activo, lo cual involucra una amenaza latente para las poblaciones ubicadas en el área de influencia.

En la figura 7 se representa las partes principales de un deslizamiento.

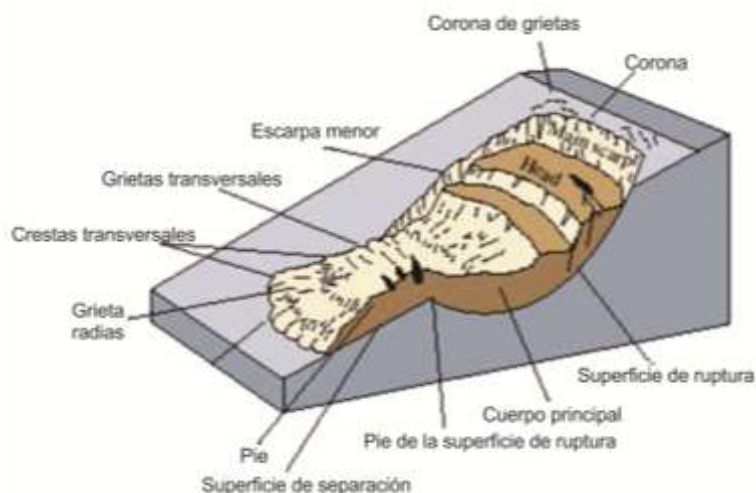


Figura 7. Esquema de un deslizamiento con sus partes principales. (Cruden y Varnes, 1996)

Existen en la región Apurímac ciertas zonas con alta probabilidad de ocurrencia de este tipo de procesos. A continuación la descripción de algunos de esos sectores.

Uno de los deslizamientos más notorios de la temporada de lluvias de marzo del 2012, ha sido el de la comunidad de Cconchayoc (anexo Ccayao, distrito de Haquira, provincia de Cotabambas, foto 5). Según la inspección de campo se ha determinado que las principales causas para la ocurrencia de este proceso ha sido la saturación con agua del material del substrato (capas rojas), que condujo al debilitamiento de los suelos.



Foto 5. Deslizamiento de tipo rotacional ocurrido en la provincia de Cotabambas distrito de Haquira, Anexo Ccayao situado en la comunidad de Cconchayoc producido en marzo del 2012

Según la clasificación de Varnes (1976) el deslizamiento de Cconchayoc es de tipo rotacional dejando escarpas de diferentes alturas en forma progresiva. La longitud de la escarpa principal es de aproximadamente 150 m, el desnivel entre la escarpa y pie es de alrededor de 180 m. En este caso, el salto principal ha sido de 4 m y los secundarios de 1 a 2 m. El movimiento ha sido lento, aproximadamente de 1.6 m/año (cuadro 1). Muestra agrietamientos de forma transversal y longitudinal con longitudes entre 10 y 15 m, y profundidades de 1.5 m y aberturas de hasta 1m. En las fotos 6 y 7 se observa las condiciones in situ luego de ocurrido el deslizamiento.



Fotos 6 y 7. Se observa un canal de agua roto en el cuerpo del deslizamiento de Cconchayoc (Anexo Ccayao, distrito de Haquira).

Otro de los procesos más notables en el 2012 en la región ha sido el deslizamiento en Choquepuquio (Chincheros) ocurrido en marzo de ese año. Es un característico deslizamiento en capas rojas (por la presencia de minerales de hierro), las cuales son altamente susceptibles a erosión y remoción. Fueron arrasadas a causa de este proceso 64 viviendas y algunos animales de granja ubicadas en el cuerpo del deslizamiento. Afortunadamente la población pudo ser instada a dejar el lugar unas horas antes del desencadenamiento de este proceso, debido a una rápida acción de las autoridades y la Dirección de Defensa Nacional y Defensa Civil del GORE Apurímac. (foto 8)



Foto 8. Deslizamiento que arrasó 64 viviendas del poblado de Choquepuquio (distrito de Ocobamba, provincia de Chincheros).

Es frecuente que deslizamientos antiguos aparentemente ya estabilizados, se vuelvan a reactivar ya sea por factores naturales o antrópicos. En diferentes lugares de la región se ha podido identificar deslizamientos antiguos que pueden reactivarse. Es el caso del deslizamiento ubicado en el cerro Japahuacho cerca del poblado de Nuñunya en el distrito de Caraybamba. En este sector el desplazamiento del material es antiguo, alrededor de 500 años según las observaciones de campo (cuadro 2) solo observándose la huella del material removido (foto 9). Sin embargo no se puede descartar su eventual reactivación dado que está limitado por dos quebradas en confluencia. El grado de actividad de este evento influenciado por la actividad de los flujos de detritos de las quebradas que lo circundan.

Cuadro 2: Edad de los deslizamientos (Modificado de: McCalpin, 1984)

| RASGOS DEL DESLIZAMIENTO | EDAD | | | |
|--------------------------------------|--|--|---|---|
| | ACTIVO | INACTIVO JOVEN) | INACTIVO MADURO | VIEJO |
| ESCARPA PRINCIPAL | Abrupto, sin vegetación. | Abrupto, en parte con vegetación. | Suave, con vegetación. | Disectado, con vegetación |
| ESCARPAS LATERALES Y DRENAJE | Abrupto, sin vegetación, quebradas en el borde. | Abrupto, en parte con vegetación, pequeños tributarios con quebradas laterales. | Suave, con vegetación, tributarios sobre el cuerpo hacia el deslizamiento | Márgenes laterales muy vagos, sin drenaje lateral. |
| MORFOLOGIA INTERNA Y DRENAJE | Depresiones sin drenaje, lagunas, topografía con montículos, bloques internos angulares separados por grietas sin vegetación. | Sin drenaje, depresiones de drenaje, estanques y pantanos, topografía con montículos, grietas internas con vegetación. | Sin depresiones de drenaje, pero suaves, topografía ondulada, red de drenaje anárquico. | Sin depresiones de drenaje, cicatriz del depósito cortado por canales dendríticos normales. |
| VEGETACIÓN | Ausente o esparcido en las escarpas laterales e internas, es común ver árboles volcados. | Vegetación más joven que el terreno adyacente o de diferente tipo o densidad. | Vegetación con la misma edad del terreno adyacente, pero puede ser de diferente tipo o densidad. | Vegetación con la misma edad, tipo o densidad del terreno que lo rodea. |
| RELACIONES DEL PIE DEL DESLIZAMIENTO | El eje del drenaje forzado al lado opuesto del valle donde ocurren los deslizamientos activos. Represamiento. Cobertura moderna sobre la llanura aluvial, no modificada por las quebradas. | Lo mismo en cuanto a su actividad, pero, el pie del deslizamiento puede modificarse por el eje de un cauce moderno. | Cubierto por formaciones modernas, pero cortado por una moderna llanura aluvial de meandros; quebrada no estrecha pero ensanchado por el llano aluvial. | Truncado y recubierto por formaciones modernas o morrenas modernas o terrazas. |
| EDAD ABSOLUTA | Su actividad dentro del tiempo histórico implica menos de aproximadamente 140 años. | Entre 140 a 5000 años. | Entre 5 000 a 10 000 años. | Más de 10 000 años |



Foto 9. Deslizamiento antiguo en el cerro Japahuacho cerca del poblado de Nuñunya en el distrito de Caraybamba

En el caso del sector Trujahuasi distrito de Kaquiabamba y provincia de Andahuaylas se han identificado en sus alrededores varios movimientos en masa antiguos (figura 8), uno de los cuales ha mostrado una reactivación en marzo del 2012 (foto 10) debido a las fuertes precipitaciones pluviales, modificación de la humedad y saturación del material que conforma la ladera. La zona reactivada afectó en el 2012 al colegio del poblado que se encuentra en la parte inferior de la ladera y podría afectar a 14 viviendas ubicadas en la zona de influencia (foto 10 y 11).



Figura 8. Movimientos en masa reconocidos en Trujahuasi (distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas) y alrededores sobre imagen de Google Earth.



Foto 10. Se observan las escarpas recientes situadas en la parte baja del centro poblado de Trujahuasi (distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas).



Foto 11. Viviendas localizadas en el cuerpo del antiguo deslizamiento de Trujahuasi (en el distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas). La reactivación afectaría 14 viviendas.

Otros sectores críticos afectados por deslizamientos son: Ccsechupata (distrito y provincia de Chincheros) donde fueron afectadas cerca de 55 viviendas; Esmeralda (distrito de Ocobamba, provincia de chincheros) sector ya notificado por las autoridades para su reubicación.

La Merced, Umaca, Santa Rosa, Pueblo libre y Rayuska en el distrito de Andarapa (provincia de Andahuaylas son otros sectores donde hay deslizamientos en capas rojas.

2.3 FLUJOS

Son un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o

secos. Existen casos en que estos procesos se originan a partir de otro tipo de movimiento, como por ejemplo deslizamientos o caídas (Varnes, 1978).

Según Hungr & Evans (2004) los flujos se pueden clasificar de acuerdo al tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que puedan hacerlos distinguibles. En la figura 9 se muestra las partes principales que componen a un flujo no canalizado.

Se caracterizan por transportar grandes volúmenes de diferente tipo de material que va de grueso a fino, provocado por las precipitaciones pluviales altas en épocas de lluvia, pueden hacer que alcancen grandes extensiones de recorrido, más aun si la pendiente es favorable.

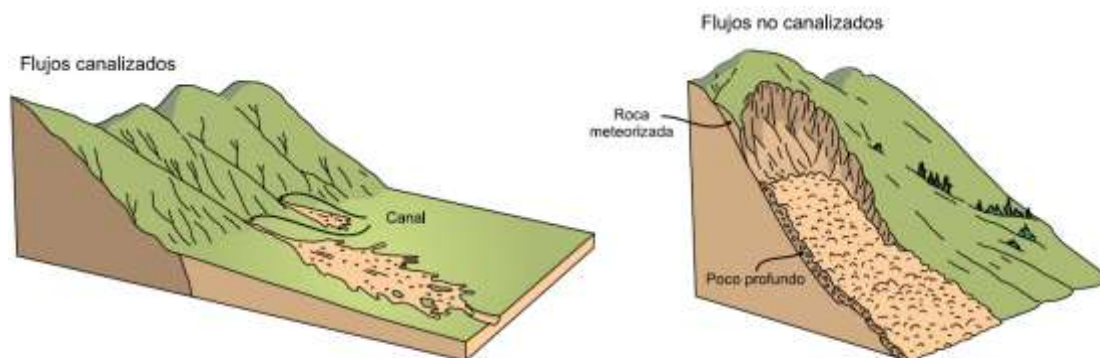


Figura 9. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden y Varnes, 1996)

Debido a que el potencial destructivo, está dominado por la velocidad del proceso y la altura alcanzada por el material arrastrado (Rickerman, 2005) es importante durante la caracterización de los eventos distinguir entre las diferentes tipologías de flujos, dato importante que nos dará una idea del grado amenaza a la que está expuesta un área determinada.

Durante los trabajos de campo del proyecto GA25B se pudo identificar diversos tipos de flujos asociados a la variedad en relieve y condiciones geológicas de la región Apurímac. A continuación se puntualizarán los más importantes flujos ocurridos en los últimos años en la región.

El sector de Paccayura (fotos 12 y 13), situado en el distrito de Progreso en la provincia de Grau, es una de las zonas críticas por flujos debido a la vulnerabilidad de las poblaciones ubicadas aguas debajo de la quebrada del mismo nombre. Según la escala de velocidades propuesta por Cruden y Varnes en 1996 (cuadro 1), este flujo alcanzaría velocidades rápidas a muy rápidas, considerando la pronunciada pendiente que presenta la ladera por donde discurre. Además la quebrada recibe aporte en sus cabeceras de deslizamientos superficiales. Actualmente el material acumulado en el cauce de la quebrada se encuentra vulnerable a la reactivación en época de lluvias.



Fotos 12 y 13. El flujo de Paccayura (distrito de Progreso, provincia de Grau) impactó con varias viviendas ubicadas en su cauce.

Otro sector afectado por flujos es la quebrada Uramayo, (distrito de Haqira, provincia de Cotabambas), rellena de arenas, gravas y cantos rodados de hasta 50 cm con formas redondeadas a bien redondeadas, este material suelto se encuentra estable o sin movimiento alguno en épocas de estiaje. Debido a la pluviosidad alta en temporadas de lluvia en la región, satura el material del cauce y lo arrastra por la fuerza del agua hacia la menor pendiente. En la foto 14 se puede ver que la estructura de un puente artesanal construido con el mismo material transportado ha sido afectada por la fuerza de impacto de los materiales rocosos traídos por el flujo de detritos.



Foto 14. Flujo de detritos de la quebrada Uramayo, en el distrito de Haqira, provincia de Cotabambas, cuyo trayecto es marcado por una quebrada ya canalizada.

Otro caso de flujos de detritos se observa en la quebrada Caracpampa, ubicada también en el distrito de Haqira. A diferencia del caso anterior, el material que conforma el flujo son principalmente arenas, gravas y cantos rodados, con escasos bloques de hasta 1.5 m. El flujo entra en actividad con la temporada de lluvias. La fuerza del evento afectó severamente la estructura del puente (foto 15) que cruza la quebrada y sirve de acceso al poblado de Haqira.



Foto 15. Flujo de detritos, conformado por materia de gran dimensión que deteriora la estructura de un puente, Caracpampa, distrito de Haquira.

2.4 MOVIMIENTOS COMPLEJOS

Posterior y seguidamente al desprendimiento del material que conforma una ladera, los detritos o bloques movilizados pueden desplazarse como un flujo o causar un desplazamiento de mayor dimensión y recorrido como una avalancha. A la ocurrencia sucesiva de uno o más movimientos en masa, se le denomina movimiento complejo.

Un ejemplo de este proceso se observa en el poblado de Huayllati ubicado en la provincia de Grau. El movimiento en masa empezó como una avalancha de detritos y en el trayecto pasó a ser un flujo no canalizado, que atravesó por el margen izquierdo al poblado (fotos 16 y 17), con una velocidad extremadamente rápida (cuadro 1), la pendiente es pronunciada, lo cual facilita la velocidad con la que se desplaza el material suelto creando mayor intensidad de impacto en las viviendas y obras de infraestructura.



Fotos 16 y 17. Movimiento complejo; avalancha antigua sobre la cual nace un flujo de detritos. Se observa la dirección del flujo y como esta impacta con las viviendas (poblado del distrito de Huayllati, provincia de Grau).

Otro ejemplo notable, por la conmoción que causó entre los pobladores de Abancay ha sido Avalancha-flujo-inundación de detritos del Cerro Chuyllurpata (distrito de Tamburco, provincia de Abancay; foto 18) La presencia de la zona urbana de

Abancay, la cual se ha cimentado sobre el cauce de la quebrada Sahuanay (fotos 19 y 20) incrementan la vulnerabilidad del área, considerándosele como zona crítica.



Foto 18. Avalancha-flujo de detritos en Cerro Chuyllurpata (Tamburco, Abancay) a causa de lluvias de marzo del 2012.



Fotos 19 y 20. Dos fotos de la afectación producto de la Avalancha-flujo de detritos del cerro Chuyllurpata. Destrozo de pared de vivienda y vehículo "inundado" el material de la avalancha.

2.5 REPTACIÓN DE SUELOS

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno superficial en donde no se distingue una superficie de falla. Este fenómeno se da generalmente en valles glaciares y en altitudes elevadas, a causa de las bajas temperaturas que originan el proceso de geliflucción. El congelamiento y descongelamiento donde la pluviosidad es estacional se asocia a cambios en la humedad del suelo y producen ligeros desplazamientos en esos materiales. La figura 10 muestra las características del terreno expuesto a un proceso de reptación de suelos.



Figura 10. Esquema de reptación de suelos. (Cruden y Varnes, 1996)

Las partes altas de la región Apurímac son propensas a sufrir este tipo de fenómenos. Muchas de las áreas afectadas por este tipo de fenómenos suelen formar extensos bofedales que puede dar indicios de la presencia de zonas de reptación. Un claro ejemplo se tiene en el sector de Sabaino (foto 21), ubicado a una altura de 4239 msnm de altitud, cerca de la comunidad de Ccasccane en la provincia de Antabamba. En el lugar se observa el fenómeno de reptación en la naciente de una quebrada, la dirección de desplazamiento de la reptación coincide con la dirección de flujo en la quebrada.

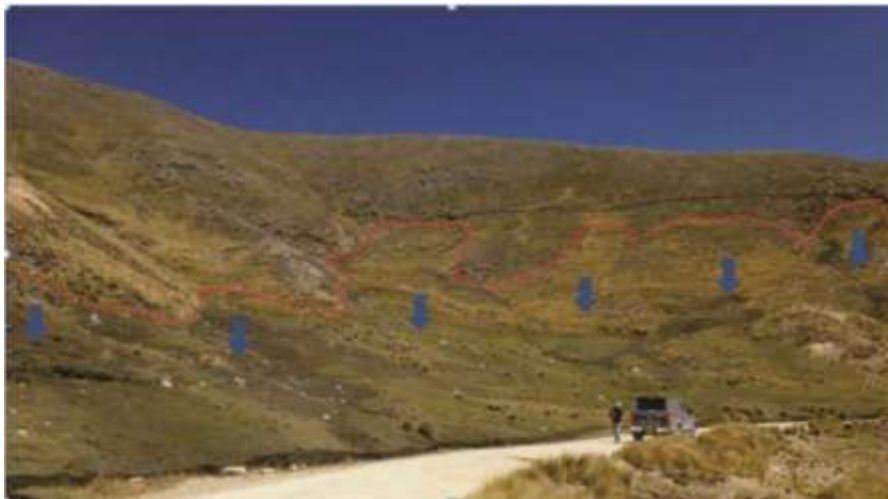


Foto 21. Reptación del sector de Sabaino en la provincia de Antabamba. La flecha azul señala la dirección de desplazamiento.

Otro ejemplo que se puede mencionar es la reptación de suelos observada en el distrito de Huaccana, provincia de Andahuaylas. En la foto 22 se puede ver el sector afectado, donde el suelo se ha desplazado lentamente ladera abajo por las rápidas variaciones de temperatura en el suelo. En este caso, la zona ha sido aprovechada para el pastoreo de animales.



Foto 22. Reptación en la ladera de un valle glaciar observada en el distrito de Huaccana (provincia de Andahuaylas).

2.6 EROSIÓN

La erosión de materiales superficiales se manifiesta como erosión fluvial y erosión de laderas. A continuación se muestran algunos ejemplos en la región.

2.6.1 EROSIÓN DE LADERAS

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en laderas de valle y altiplanicies. Comienza con canales muy delgados que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros (figura 11). 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 ese momento las partículas se movilizan en el sentido de la máxima pendiente y por tanto el flujo comienza una excavación que tiende a aumentar con la velocidad de la erosión.

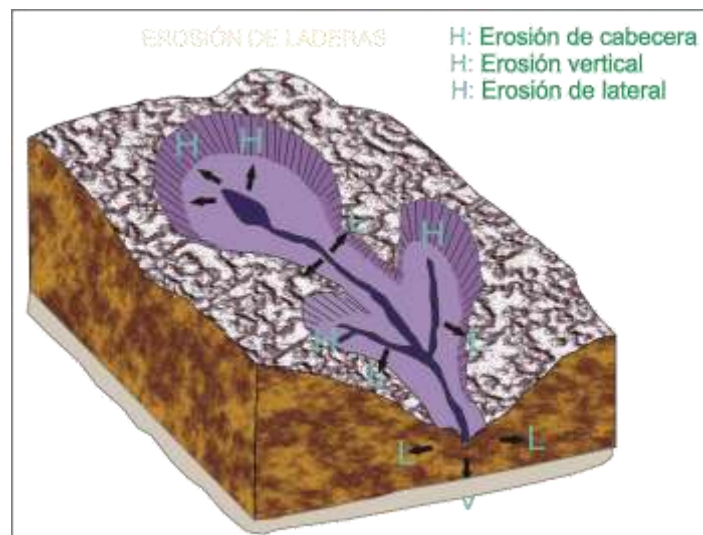


Figura 11. Forma como se manifiesta la erosión de laderas en una ladera de montaña. (Tomado de: <http://cidta.usal.es>)

Las laderas de las montañas se encuentran sometidas también a otros procesos químicos y mecánicos que ayudan a que se formen cárcavas. El desgaste que se produce tiene un avance lento mostrando diferentes etapas de evolución. En esta evolución las cárcavas pueden ir juntándose unas con otras dando origen a escarpas que pueden ocasionar deslizamientos y otros peligros geológicos. En la foto 23 se

observa la erosión de laderas del cerro Leclecocha (distrito de Lambrama, provincia de Abancay).



Foto 23. Erosión de cárcavas que se encuentran paralelas e intersectadas uniéndose a los valles, Cerro Leclecocha, distrito de Lambrama provincia de Abancay).

En ciertos sectores se puede observar que la erosión de laderas no se da en forma de cárcavas sino en forma masiva, de tal forma que el suelo se va desplazando superficialmente laderas sin mostrar alguna forma definida. Un claro ejemplo se puede ver en el cerro Chipana, localidad de Huaijoerosi en el distrito de Huaccana (provincia de Andahuaylas). Allí ha contribuido a la erosión el corte del talud de la carretera y se observa además un control litológico por rocas sedimentarias (foto 24).



Foto 24. Erosión de laderas del cerro Chipana a la altura de Huaijerosi (distrito de Huaccana, provincia de Andahuaylas).

2.6.2 EROSIÓN FLUVIAL

Proceso frecuente ocasionado por acción de las corrientes fluviales sobre las márgenes y/o cauces de ríos y quebradas. Se desarrolla siguiendo los patrones de drenaje, los cuales son controlados por la dureza de los materiales, la carga fluvial, entre otros factores. Ejemplos de este proceso se pueden observar en los centros poblados de Chalhuanca y Totora-Oropesa.

El centro poblado de Chalhuanca, capital del distrito del mismo nombre es afectado frecuentemente por erosión fluvial del río Chalhuanca durante la época de lluvias.

Otro sector crítico por inundaciones es Totora – Oropesa, donde muchas de las viviendas están ubicadas sobre terrazas fluviales en ambas márgenes del río Oropesa (foto 25).



Foto 25 Pobladores de Totora-Oropesa tratando de reforzar defensas ribereñas en la margen derecha del río Oropesa (foto por cortesía del GORE Apurímac, enero del 2004).

2.7 INUNDACIONES

Proceso geo-hidrológico provocado por la variación del régimen de descargas de un curso hídrico, donde los volúmenes de agua sobrepasan la capacidad de ríos o quebradas. Las zonas más afectadas son las terrazas fluviales y/o aluviales que no son lo suficientemente altas para encauzar las aguas. Las inundaciones se dan generalmente en periodos de pluviosidad alta. Es necesario recordar que en la mayoría de los casos los peligros asociados a estos fenómenos se dan por causas antrópicas ya que la población se ubica en terrenos que corresponden al cauce natural de un curso. Por ello se recomienda reubicar a la población y a los terrenos de cultivo ubicados en terrazas fluviales y aluviales.

El sector de Yuraccacca (distrito de Pichirhua, provincia de Abancay), es una zona susceptible a estos procesos. Ya fue afectado con precipitaciones excepcionales del 2010, dañando terrenos de cultivo e incluso la zona urbana.

El centro poblado de Totora – Oropesa (distrito de Oropesa, provincia de Antabamba), constituye una zona crítica por inundación fluvial. De igual manera el anexo de Marceja (distrito de Chuquibambilla, provincia de Grau), es también un sector de alto riesgo por inundación fluvial, anexo que sido reubicado en el año 2011.

El puente Pampatama (distrito de Tintay, provincia de Aymaraes), constituye otro sector afectado por procesos de inundación y erosión fluvial. Las fuertes avenidas provocan que el río Pachachaca se desborde y erosione sus riberas, donde se ubica el poblado de Pampatama.

Son sectores críticos por inundaciones, los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera. En el 2002 a causa del desborde de este río murió una persona y fueron afectadas 20 viviendas. En época de lluvias es muy probable el desborde del río Chumbao por lo que las viviendas en su zona de influencia deben ser reubicadas (foto 26).



Foto 26. Río Chumbao a punto de desbordarse en febrero del 2012.
(Tomado de: <http://www.rpp.com>)

Otras zonas afectadas por inundación son los centros poblados de Chuyama y Pulkay (distrito de Huaccana, provincia de Chincheros) que en diciembre del 2012 fueron afectadas por el desborde del río Pulkay (foto 27) que inundó unas 15 viviendas y causando la muerte de decenas de animales y daños a campos de cultivo. Además la erosión fluvial asociada afectó al puente principal de acceso a los centros poblados.



Foto 27. Desborde del río Pulkay. Aisló en diciembre del 2012 los centros poblados de Chuyama y en febrero del 2012. (Tomado de: <http://www.rpp.com>)

Los sectores de Manzanahuaycco y Celeste (distrito de Pacucha, provincia de Andahuaylas) son otros de los afectados por desborde e inundación del río Tocsama, durante la temporada de lluvias del 2012 (foto 28).



Foto 28. Inundación por crecida del del río Tocsama a la altura de Manzanahuaycco y Celeste (distrito de Pacucha, provincia de Andahuaylas).

2.8 SISMOS

Según los estudios del IGP los sismos en la región Apurímac estarían relacionados a la actividad de las fallas regionales. Según el mapa de zonificación sísmica del Perú (figura 12). Se esperan para Apurímac Intensidades Máximas entre VI y VIII en la escala Mercalli. Los últimos sismos registrados en la región son los de Agosto del 2012 en Andahuaylas (magnitud en la escala de Richter 5.0, profundidad de 78 km) y Enero de 2013 en Antabamba (magnitud de 4.1 grados en la escala de Richter y profundidad de 22 km).

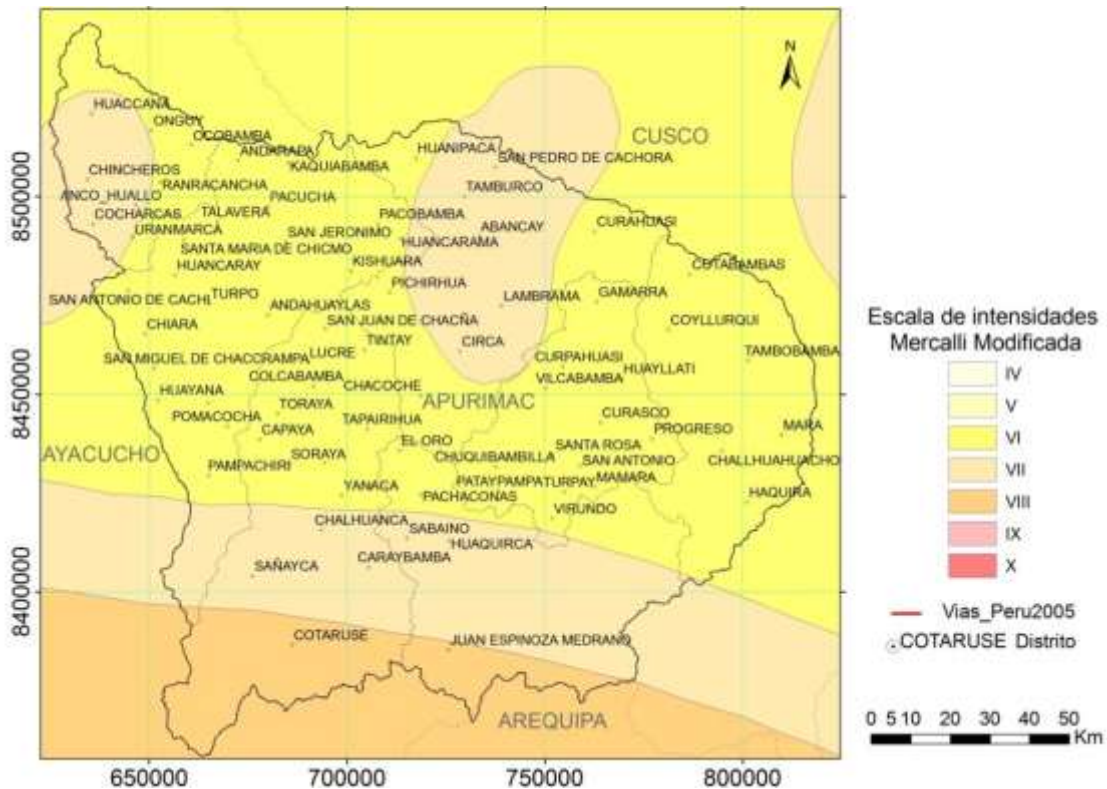


Figura 12. Mapa de distribución de intensidades sísmicas de la región Apurímac. Tomado de: Alva & Meneses (1984)

III. ZONAS CRÍTICAS

Las zonas críticas son áreas que luego del análisis los peligros geológicos identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestas obras de infraestructura y centros poblados; se consideran con peligro potencial de generar desastres, y necesitan que se ejecuten en ellas obras de prevención y/o mitigación; o en algunos casos las medidas adoptadas anteriormente necesitan ampliarse o mejorarse (Fidel y otros, 2006).

En base a la evaluación de campo, validándose además su ubicación en el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la región Apurímac (figura 13) se ha identificado un total de 32 zonas críticas (figura 14). Dichas zonas se presentan en el cuadro 3 resaltando:

- Ubicación (provincia, distrito, paraje)
- Características del o los procesos identificados (pendiente, material involucrado, etc)
- Causas del o los fenómenos
- Daños

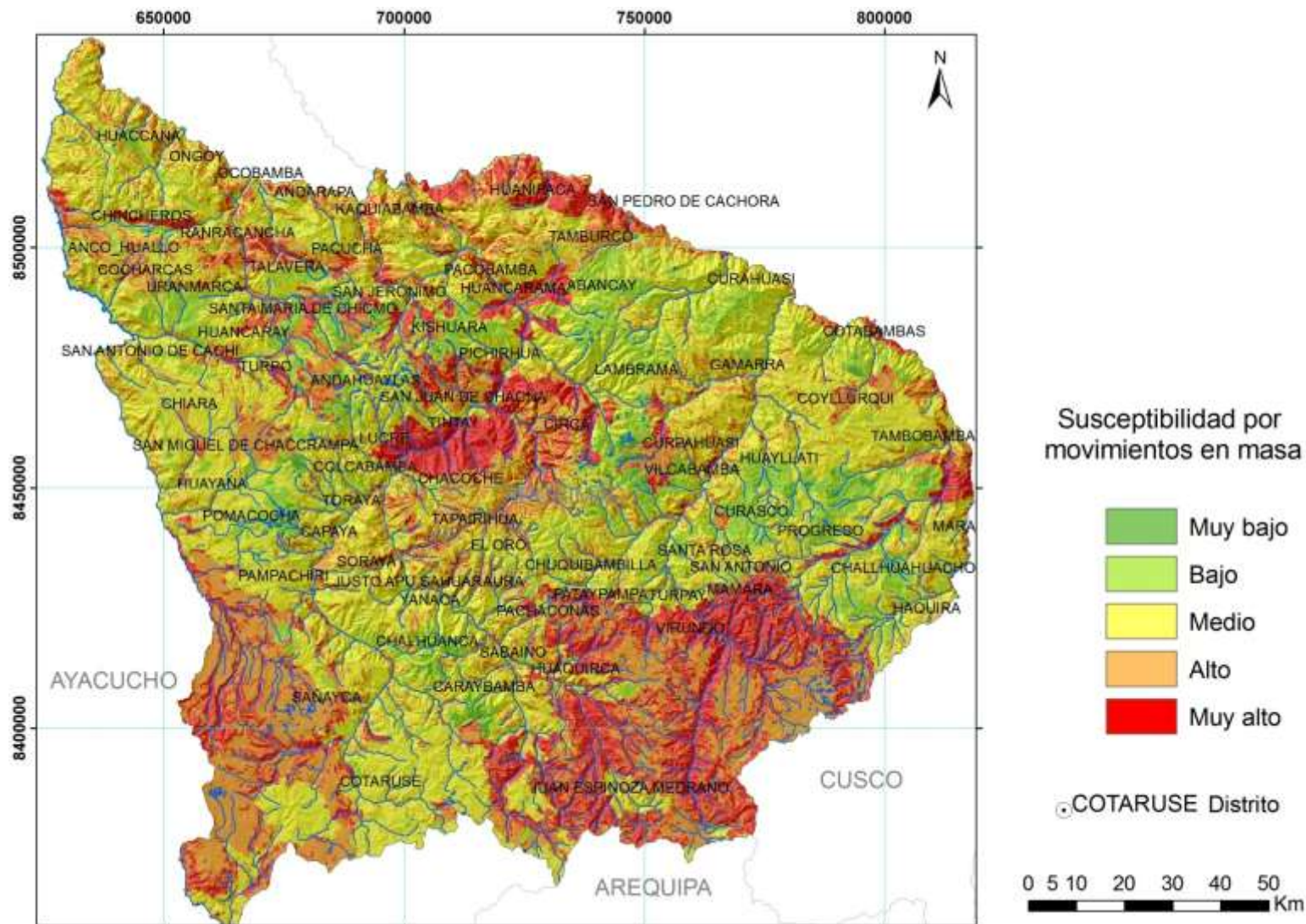


Figura 13. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en la región Apurímac. Extracto del mapa nacional (Villacorta, Fidel & Zavala; 2012)



Figura 14. Mapa de Zonas críticas en la región Apurímac (Modificado de: Villacorta, Valderrama y Roa; 2012).

Cuadro 3. ZONAS CRÍTICAS EN LA REGIÓN DE APURIMAC

| Nº | PROV. | DIST. | PARAJE | PELIGRO | CAUSAS | CARACTERÍSTICAS | DAÑOS Y ZONAS AFECTADAS | MEDIDAS RECOMENDADAS |
|----|----------|------------|------------------------------------|-----------------------------|--|--|---|--|
| 1 | Aymaraes | Tapairihua | Masopampa | Avalancha de detritos | Substrato de mala calidad, muy fracturado, naturaleza incompetente del suelo | Escarpa circular de 80 metros. Pendiente entre 20 y 35°. Salto principal: 2.2 m de altura. Se observan tres terrazas de nuevos depósitos de flujos | Afecto a 50 m de la carretera | Se recomienda replantar el trazo de la vía Abancay-Antabamba en ese sector. |
| 2 | Aymaraes | Tintay | Santa Rosa-Puente Pampatama | Inundación, erosión fluvial | Pendiente del terreno, las precipitaciones pluviales intensas, el socavamiento al pie del talud así como la ocupación inadecuada del suelo por el hombre | Inundación, erosión fluvial, presenta socavamiento al pie de la ladera 100 m de longitud, la zona afectada es urbana y agrícola. | Daños ocasionados a los estribos del puente | Reconstruir puente (ampliar la luz y longitud del puente, replantar el diseño de los estribos) con nuevas medidas considerando un estudio hidrológico del río Pachachaca y las máximas avenidas posibles. Se sugiere ubicar defensas ribereñas para proteger las viviendas del poblado de Pampatama. |
| 3 | Aymaraes | Chalhuanca | Chalhuanca | Inundación, erosión fluvial | Pendiente muy baja. Las precipitaciones pluviales intensas. El socavamiento al pie del talud. Ocupación inadecuada del terreno. | Zonas inundables en ambos márgenes del río Chalhuanca. El río se está encajonando peligrosamente. | Daños a viviendas asentadas en las riberas del río Chalhuanca | Se recomienda reubicar las viviendas ubicadas sobre terrazas fluviales inundables y prohibir la construcción de nuevas viviendas allí. Respetar cauce natural del río. |

| | | | | | | | | |
|---|----------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--|---|--|
| 4 | Aymaraes | Pocohuanca | Tiaparo | Deslizamiento | Substrato de mala calidad, muy fracturado, naturaleza incompetente del suelo | Deslizamiento reactivado. Pendiente fuerte (35-50°). Escarpa circular de 80 metros, superficie rotacional, retrogresivo. | daños probables 50 viviendas | Se recomienda realizar un estudio Geotécnico para la elaboración de muro de contención en la parte baja de la cancha así como canales de colección de aguas pluviales en la parte alta del deslizamiento y en la comunidad misma. Reubicar viviendas y terrenos de cultivo en el cuerpo del deslizamiento. |
| 5 | Aymaraes | Justo Apu Sahuaraura | cerro Ymaorjo, Checcasa | Deslizamiento | Substratos de mala calidad muy meteorizados, alternancia de rocas de diferente competencia, erosión fluvial del río Checcasa | Escarpa circular, superficie rotacional, agrietamientos longitudinales | 8 viviendas afectadas | Reubicar las viviendas en el área de influencia del deslizamiento. No utilizar como terrenos de cultivo los sectores aledaños al río Checcasa. |
| 6 | Aymaraes | Chapimarca | Pampallacta Viejo | Deslizamiento | Substrato de mala calidad muy meteorizado, rocas muy fracturadas, material de remoción antiguo susceptible, precipitaciones pluviales intensas, filtración de agua subterránea. | Escarpas múltiples, Escarpa principal semicircular, superficie principal rotacional, | En el año 2000 afectó a 50 viviendas y 100 metros de canal | Sector No habitable. Reubicar todas las viviendas. |
| 7 | Aymaraes | Lucre | Sicuna / Juta | Deslizamiento, erosión fluvial | Substrato de mala calidad muy meteorizado, rocas muy fracturadas, | Deslizamientos antiguos reactivados por regadío y corte del talud. Escarpas múltiples, Escarpa | Daños a terrenos de cultivos y viviendas de los poblados de | Remodelar el puente en la vía carrozable principal de acceso. Cambiar sistema de riego por inundación a aspersion e |

| | | | | | | | | |
|----|-------------|--------------|------------------|--|---|---|---|--|
| | | | | | material de remoción antiguo susceptible, precipitaciones pluviales intensas, filtración de agua subterránea | principal semicircular, superficie principal rotacional, | Sicuna y Juta | impermeabilizar los canales de riego y de agua para el consumo humano para evitar que se siga infiltrando agua en el cuerpo del deslizamiento. |
| 8 | Aymaraes | Cotaruse | Promesa | Avalancha de detritos, inundación, erosión fluvial | Substrato de mala calidad muy meteorizado, rocas muy fracturadas, material de remoción antiguo susceptible, precipitaciones pluviales intensas, filtración de agua subterránea. | Deslizamientos antiguos reactivados por regadío y corte del talud. Escarpas múltiples, Escarpa principal semicircular, superficie principal rotacional, | Daños a terrenos de cultivos, 18 viviendas destruidas y 20 familias damnificadas del poblado de Promesa | Reubicar las viviendas en la zona de influencia de la avalancha de detritos. |
| 9 | Andahuaylas | Pacobamba | Huascatay | Deslizamiento | Substrato de mala calidad muy meteorizado, rocas muy fracturadas, material de remoción antiguo susceptible, precipitaciones pluviales intensas, filtración de agua subterránea | Deslizamiento rotacional en capas rojas. | En el 2003 murieron 8 personas a causa del deslizamiento. | Reubicar las viviendas en la zona de influencia del deslizamiento. |
| 10 | Andahuaylas | San Jerónimo | Chumbao | Inundación fluvial | Lluvias, terreno inundable, pendiente muy baja | Los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera se ven afectados por la erosión fluvial y desborde del río Chumbao. | En el 2011 causo afectación a 20 viviendas y 1 muerto | Se necesita completar los gaviones en ambas márgenes del río Chumbao. |

| | | | | | | | | |
|----|-------------|-------------|---|-----------------------------|--|---|--|--|
| 11 | Andahuaylas | Kaquiabamba | Trujahuasi | Deslizamiento | substrato de mala calidad, material de remoción antiguo, naturaleza del suelo incompetente, rocas fracturadas | Presencia de pequeñas escarpas en la ladera | El poblado de Trujahuasi es el más afectado | una correcta distribución de una red drenaje en periodos de altas precipitaciones para su regadío |
| 12 | Andahuaylas | Pacucha | Manzanahuaycco | Inundación fluvial | Lluvias, terreno inundable | Viviendas y terrenos de cultivo en ambas márgenes del río Tocsama. | Los sectores de Manzanahuaycco y Celeste fueron afectados por inundación del río Tocsama (150 m a lo largo de la ribera del río) durante la temporada de lluvias del 2012. | Se recomienda reubicar a la población. |
| 13 | Antabamba | Oropesa | Totora-Oropesa | Inundación, erosión fluvial | Pendiente del terreno, las precipitaciones pluviales intensas, el socavamiento al pie del talud así como la ocupación inadecuada del suelo por el hombre | Viviendas ubicadas en terrazas fluviales en ambas márgenes del río Oropesa. | Terrenos de cultivo, viviendas y puentes del centro poblado de Totora-Oropesa. | Se recomienda cambiar las defensas ribereñas destruidas en el último evento de esta inundación y ampliarlas en los sectores donde no se han colocado, para proteger las áreas urbanas y terrenos de cultivo. |
| 14 | Cotabambas | Tambobamba | Barrio San Martín-Qda. Santa Lucía | flujo | Precipitaciones pluviales intensas y ocupación inadecuada del suelo por el hombre | Flujo en forma de cono canalizado | Daño probable 25 viviendas | Reubicar viviendas y terrenos de cultivo en el área de influencia del deslizamiento. |

| | | | | | | | | |
|----|------------|----------------------|---|--------------------------|---|--|--|---|
| 15 | Cotabambas | Haqira | Comunidad Cconchayoc/Quebrada Sallajoran | Deslizamiento | presencia de aguas subterráneas, dinámica fluvial, precipitaciones pluviales | deslizamiento de tipo rotacional progresivo | daños directos a la Comunidad Cconchayoc | Reubicación de las viviendas afectadas, medidas de evacuación de agua por canalización impermeabilizada. |
| 16 | Cotabambas | Cotabambas | Anexo Tamburgo, comunidad campesina Huacchue | Deslizamiento | Substrato de mala calidad, muy meteorizado, rocas muy fracturadas | Escarpa de forma circular, escarpa principal de 20 a 36 cm de salto, presencia de agrietamientos longitudinales | 20 viviendas afectadas comunidad de Huacchue | Reubicar viviendas y terrenos de cultivo en el cuerpo y área de influencia del deslizamiento. |
| 17 | Abancay | Circa | Llactahue-comunidad de Antabamba | Deslizamiento | Substrato alterado, fracturado, intercalación de rocas de distinta competencia, pendiente fuerte, lluvias intensas. | El substrato corresponde a rocas sedimentarias intruídas por cuerpos volcánicos tabulares que han alterado el afloramiento | Ha afectado alrededor de 400 m del canal de agua potable de dicha comunidad. | Es recomendable replantear el trazo de este canal. |
| 18 | Abancay | San Pedro de Cachora | sector Cachora, camino a Choquequirao | Deslizamiento, derrumbes | Substrato de mala calidad, muy meteorizado, elevada pendiente (> 60 °). Precipitaciones pluviales. | Derrumbes y deslizamientos reactivados. Escarpas circulares de hasta 20 m de longitud y profundidades de 2 a 5 m. El corte para abrir el camino inestabilizó los terrenos. | Gran parte del trayecto se encuentra afectado por agrietamientos | Estudio geotécnico para rediseñar el camino hacia Choquequirao. No emplear este trayecto en temporada de lluvias. |
| 19 | Abancay | Abancay | Asillo | Deslizamiento | Substrato de mala calidad, naturaleza del suelo, pendiente, precipitaciones intensa, infiltraciones de agua | ocupación inadecuada, mal sistema de riego | Viviendas de la comunidad de Asillo probablemente sean afectadas, sobre todo el colegio. | canalización para evitar la infiltración de agua, deshabitar las zonas donde se ubican las escarpas |

| | | | | | | | | |
|----|---------|-----------|------------------------------|---------------------|---|--|---|---|
| 20 | Abancay | Tamburco | Cerro Chuyllurpata | Movimiento complejo | Rocas muy fracturadas, alternancia de capas a favor de la pendiente, material de remoción antiguo susceptible, precipitaciones pluviales intensas, filtración de agua subterránea | Avalancha-flujo | El 17-03-2012 afecto 33 viviendas y el estadio de Maucacalle. | Se recomienda construir aliviadores para el flujo, instalar una estación de monitoreo y establecer un sistema de alerta temprana. |
| 21 | Abancay | Pichirhua | Yuraccacca | Inundación | Pendiente del terreno, las precipitaciones pluviales intensas, el socavamiento al pie del talud así como la ocupación inadecuada del suelo por el hombre | Zona susceptible a inundación fluvial. | En febrero del 2010, fueron dañados terrenos de cultivo e incluso la zona urbana. | Ubicar defensas ribereñas en el sector de Yuraccacca para proteger la zona urbana y los terrenos de cultivo. |
| 22 | Grau | Progreso | Paccayura | Flujo de detritos | suelo inestable por precipitaciones fluviales, pendiente elevada, naturaleza incompetente del suelo | deslizamiento dentro de un flujo de detritos (Abanico), se construyó un pequeño muro de contención | Probablemente sean afectadas viviendas del poblado de Paccayura | Debido a la complejidad y vulnerabilidad del caso, es necesario la reubicación de la población entera |
| 23 | Grau | Huayllati | Distrito de Huayllati | Movimiento complejo | material de remoción antiguo, infiltraciones de agua | material arcilloso-limoso, el evento antiguo consta de bloques y el moderno de flujos | Probablemente sean afectadas viviendas del centro poblado | Construcción de un canal que sirva de vía para la circulación de un eventual flujo, desviando el material por fuera de la población |

| | | | | | | | | |
|----|------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|---|--|--|
| 24 | Grau | Huayllati | Chacapampa | Flujo de detritos | pendiente, naturaleza incompetente del suelo, infiltraciones de Agua | confluencia de dos quebradas, se observa deslizamiento en el margen izquierdo, viviendas cerca | Podrían ser afectadas viviendas del centro poblado | la vulnerabilidad es alta, por lo que se recomienda una reubicación urgente |
| 25 | Grau | Curpahuasi | Cerro Calvario-Curpahuasi | Deslizamiento | substrato de mala calidad muy meteorizado, rocas muy fracturadas, orientación desfavorable a las discontinuidades | Escarpa única circular con un desnivel entre la escarpa y pie de 250m, presenta agrietamientos longitudinales y transversales | 150 viviendas probablemente sean afectadas de reactivarse el deslizamiento | Estudio al detalle para diseñar drenaje pluvial. Reubicar las viviendas cercanas a la zona del deslizamiento activo. |
| 26 | Grau | Chuquibambilla | Marcceja-Ccochaypampa | Flujo | Alternancia de rocas de diferente competencia, rocas muy fracturadas | Flujo canalizado con gran porcentaje de bloques y pocas arcillas y Limos | Puente Marcceja y viviendas afectadas | Reconstruir puente con nuevas medidas considerando un estudio hidrológico del río Marjejamayo y sus máximas avenidas posibles. |
| 27 | Grau | Mariscal Gamarra | Paccaypata | Movimiento complejo, inundación | Substrato de mala calidad muy meteorizado, terrazas fluviales ocupadas por viviendas y terrenos de cultivo. | Deslizamiento-flujo; inundación | Daños a personas, viviendas, animales y terrenos de cultivo | Reubicar las viviendas ubicadas en la zona de influencia del movimiento complejo y en las terrazas fluviales. No emplear las terrazas fluviales como terrenos de cultivo en épocas de lluvias. |
| 28 | Grau | Micaela Bastidas | Vilcabamba | Flujo, inundación | Precipitaciones pluviales intensas y ocupación inadecuada del suelo por el hombre. | material arcilloso-limoso, el evento antiguo consta de bloques y el moderno de flujos | Probables daños a viviendas del poblado de Vilcabamba e interrupción de la carretera | Se recomienda canalizar flujo y reubicar viviendas en el cauce natural del río Vilcabamba. |

| | | | | | | | | |
|----|------------|----------|---|---|---|--|--|--|
| 29 | Chincheros | Ocobamba | Choquepuquio | Movimiento complejo | debilitamiento de suelos, pendiente del terreno, substrato alterado, pluviosidad alta | En un primer momento ocurre el deslizamiento seguido de un flujo | Provocó la destrucción de 64 viviendas, muerte de animales y arrasó terrenos de cultivo. | Se recomienda no volver a habitar la zona ni emplear como terrenos. Puede ser zona de recreación o reserva no visitada durante épocas de lluvias. |
| 30 | Chincheros | Ocobamba | Esmeralda | Deslizamiento | Precipitaciones pluviales intensas y ocupación inadecuada del suelo por el hombre | Deslizamiento rotacional en capas rojas. Sufrió reactivaciones en los años 2004, 2009, 2010 y 2011. . Pendiente del terreno entre 35 y 40". Presencia de filtraciones y oconales en los terrenos de cultivo. | Daños a 50 viviendas ubicadas en el cuerpo del deslizamiento. | Las familias han sido notificadas por las autoridades locales y provinciales que deben reubicarse. Se recomienda que ningún poblador permanezca en el área. No emplear como terrenos de cultivo sino como zona de recreación o reserva no visitada en épocas de lluvias. |
| 31 | Chincheros | Huaccana | Trocha carrozable Río Blanco-Chuyama | Movimiento complejo, derrumbes, erosión fluvial, inundación | Precipitaciones pluviales intensas y ocupación inadecuada del suelo por el hombre | Huaccana, Chuyama y Ahuairo se ven afectadas por deslizamientos, derrumbes, erosión fluvial, inundación en zonas con presencia de potente cobertura de material incoolidado. | Viviendas ubicadas en áreas de influencia de procesos identificados serían afectadas | Se recomienda reubicar las viviendas. No invadir el cauce natural del río. |

| | | | | | | | | |
|----|------------|------------|---------------------|---------------|--|--|--|---|
| 32 | Chincheros | Chincheros | Ccsechuapata | Deslizamiento | Precipitaciones pluviales intensas, substrato permeable y fracturado, y ocupación inadecuada del suelo por el hombre | Deslizamiento rotacional en material de remoción antiguo sobre calizas fracturadas | En febrero del 2012 afectó estructura de 55 viviendas. 15 viviendas destruidas | Se recomienda reubicar las viviendas ubicadas en la zona de influencia del deslizamiento. |
|----|------------|------------|---------------------|---------------|--|--|--|---|

IV. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN

En éste acápite se señalara algunas recomendaciones puntuales que serán útiles para la mitigación y/o prevención de los riesgos geológicos a las cuales se encuentran expuestos gran número de poblados que pueden ser afectados por los fenómenos naturales descritos en este reporte. Sin embargo se recomienda realizar evaluaciones al detalle de cada zona crítica para el correcto diseño de las obras de mitigación sugeridas.

4.1 PARA ZONAS CON CAÍDA DE ROCAS

Las medidas correctivas que se pueden aplicar a taludes inestables buscan encontrar una pendiente óptima para el talud. Las zonas donde las caídas de roca son constantes y ponen en riesgo vidas humanas deben ser analizadas mediante estudios geomecánicos para la determinación de la calidad del macizo rocoso (Bieniawski, 1989; Romana, 1985 y otros). A continuación se muestran dos posibles soluciones para taludes inestables que producen desprendimientos de rocas:

- Anclajes de roca tensionados (figura 15). Este método es aplicable hasta un cierto punto en el estado en que se encuentre el macizo rocoso.
- Remoción de la roca saliente mediante voladura (figura 16).

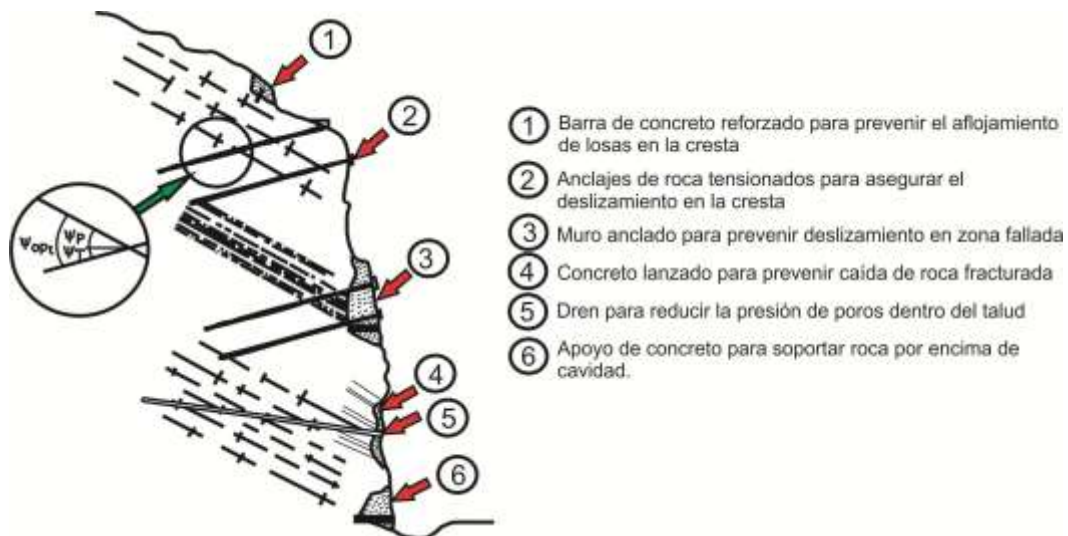


Figura 15. Métodos de refuerzos para taludes en roca, Turner, A & Schuster, R. (1996).

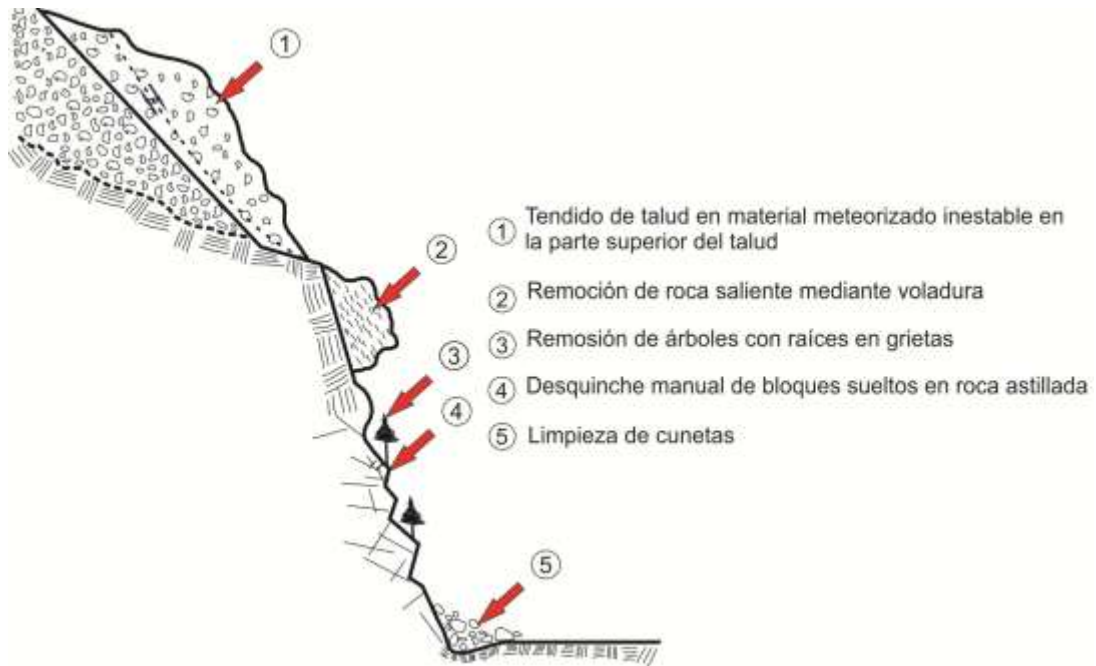


Figura 16. Métodos de remoción de rocas para estabilización de talud, Turner, A & Schuster, R. (1996).

4.2 PARA ZONA CON DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS

Según Turnbull y Hvorslev, los métodos más prácticos para la prevención y/o mitigación de desastres por derrumbes y deslizamientos son: excavación, drenaje y berma de relleno. La forma de desarrollarlos se muestra en la figura 17.

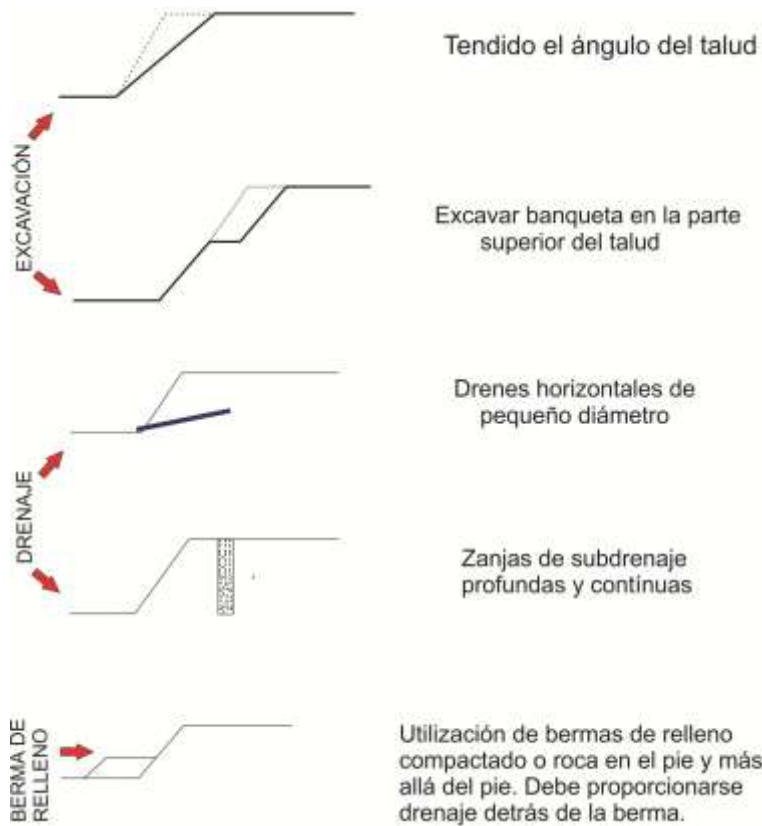


Figura 17 Esquemas de solución que son aplicables a la estabilización de taludes y deslizamientos (Turnbull y Hvorslev, 1967)

4.3 PARA EROSIÓN DE LADERAS

En zonas donde la erosión de laderas es aguda con presencia de cárcavas de gran amplitud, se debe aplicar prácticas como:

- Regeneración de la cobertura vegetal, de preferencia nativa a lo largo de la cárcava o arroyos pequeños y en las zonas circundantes a estos, para asegurar su estabilidad.
- Empleo de zanjas de infiltración y desviación
- Construcción de diques o trinchos transversales constituidos con materiales propios de la región como: troncos, ramas, etc.
- Zanjas de infiltración articuladas
- Realizar prácticas de conservación de la cobertura vegetal conformada por pastos, malezas y arbustos con fines de estabilizar el terreno y controlar la erosión. En la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcancen versus la pendiente y profundidad de los suelos. Se recomienda además que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración construidas paralelas a las curvas de nivel.

4.4 PARA FLUJOS (HUAYCOS)

Para prevenir los daños a causa de estos procesos es necesario recordar siempre que los lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional como el evento El NIÑO. Las obras de infraestructuras que atraviesen estos cauces secos deben construirse con diseño ingenieril que tome en cuenta las máximas crecidas registradas, es decir que la obra construida debe permitir el libre discurrir de crecidas violentas provenientes de la cuenca media y alta. Se pueden emplear técnicas como:

- Ensanchar el cauce principal de los lechos aluviales secos, retirando los bloques rocosos y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas.
- Construir presas transversales de sedimentación escalonada (figura 18) para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrear grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional.
- Para el caso de cauces estrechos (anchuras de hasta 15 metros y alturas de red de aprox. 6 metros). con forma de V pronunciada se recomienda el uso de mallas de retención de detritos (por ejemplo las mallas VX, figura 19). En pequeños arroyos tumultuosos, las barreras de retención de detritos se fijan sin apoyos en los flancos del canal mediante anclajes de cable espiral o bulones autoperforantes con cabeza flexible. Este sistema de retención ha sido probado en ensayos de

campo con el Instituto Federal Suizo de Investigación de Bosques, Nieve y Paisaje WSL.

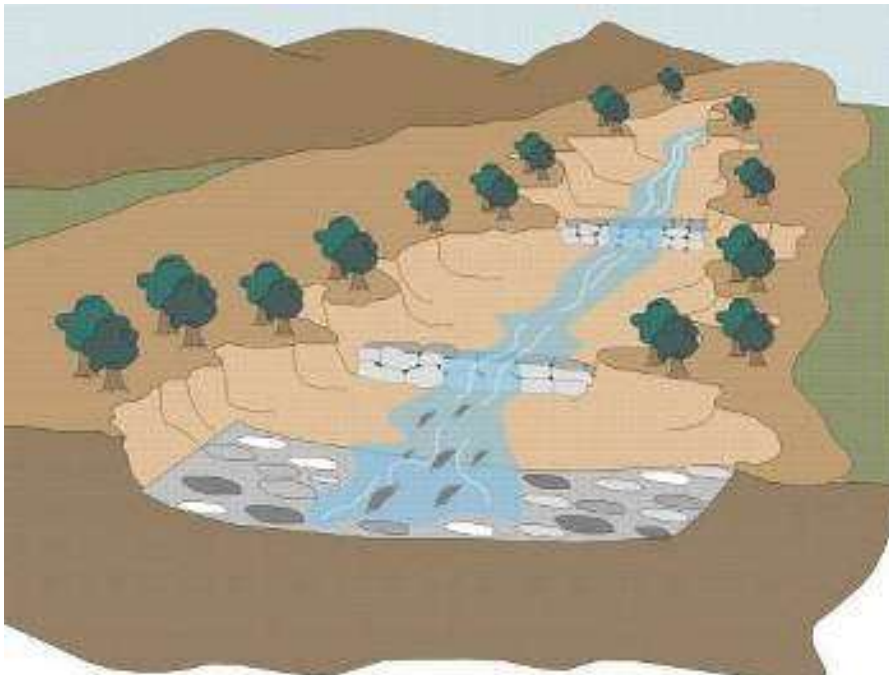


Figura 18. Presas de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaycos (Fuente: INGEMMET, 2003).

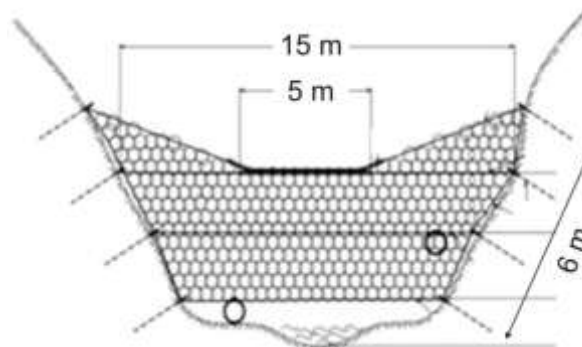


Figura 19. Malla de retención de detritos tipo VX (Tomado de: BGC Engineering, 2011)

4.5 PARA INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL

Para este tipo de procesos es necesario realizar trabajos de prevención como:

- Encauzamiento del lecho principal, ríos y quebradas afluentes, en zonas donde se produzcan socavamientos laterales de las terrazas aledañas. Para ello se debe construir espigones laterales, enrocado o gaviones (figura 20) para aumentar la capacidad de tránsito en el cauce de la carga sólida y líquida durante las crecidas y limpiar el cauce.

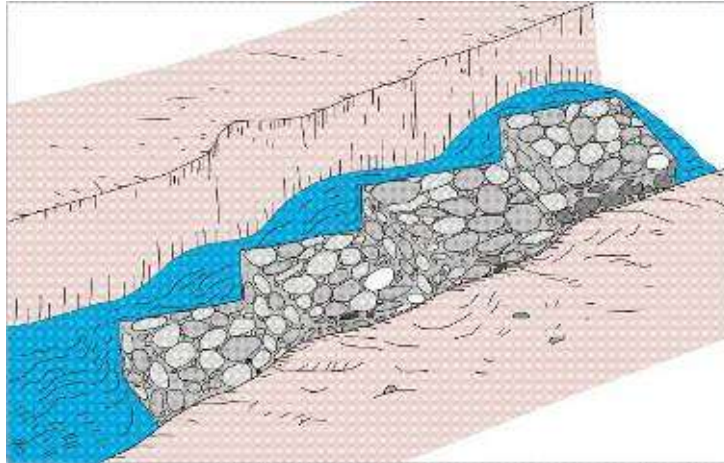


Figura 20. Gaviones para encauzar el lecho del río (Fuente: INGEMMET, 2003).

- Protección de las terrazas fluviales de los procesos de erosión fluvial por medio diques de defensa o espigones (figura 21), que ayudan a disminuir el proceso de arranque y desestabilización.

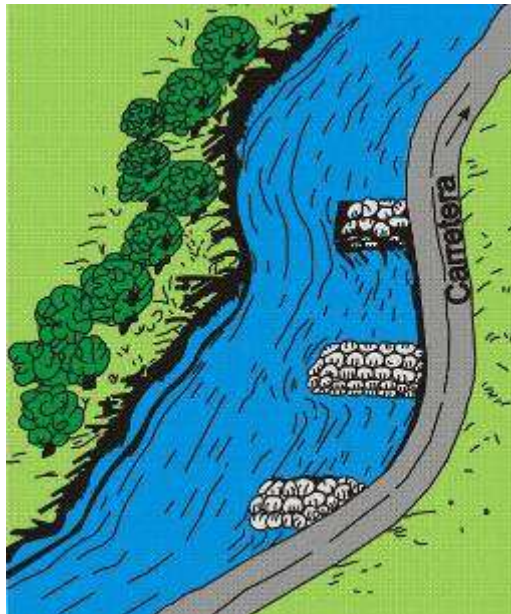


Figura 21. Espigones para proteger las terrazas fluviales (Fuente: INGEMMET, 2003).

- Realizar trabajos que propicien el crecimiento de bosques ribereños con especies nativas (molle, sauce, carrizos, caña brava); pero evitar la implantación de cultivos en el lecho fluvial para que no interrumpa el libre discurrir de los flujos hídricos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la región Apurímac, se ha inventariado a enero del 2013 un total de 849 peligros geológicos y geo-hidrológicos.
- Se han identificado un total de 32 zonas críticas por peligros geológicos y geo-hidrológicos.
- Es necesario reubicar las viviendas ubicadas en sectores inestables de los siguientes centros poblados:

- En la provincia de Grau: Paccaypata y Ccollauro del distrito de Mariscal Gamarra; Chacapampa (distrito de Huallati); Paccayura (distrito de Progreso) y Curpahuasi en el distrito del mismo nombre.
 - En la provincia de Aymaraes: Checcasa (distrito de Justo Apu Sahuaraura), Pampallacta Viejo (distrito de Chapimarca), Promesa (distrito de Cotaruse), Tiaparo (distrito de Pocohuanca) y Chalhuanca en el distrito del mismo nombre.
 - En la provincia de Andahuaylas: Huascatay (distrito de Pacobamba), Trujahuasi (distrito de Kaquiabamba); Manzanahuaycco y Celeste (distrito de Pacucha).
 - En la provincia de Cotabambas: Barrio San Martín (distrito de Tambobamba), Huacchue-Tamburgo (distrito de Cotabambas) y Cconchayoc (distrito de Haqira).
 - En la provincia de Abancay: Asillo y Tamburco (reubicar las viviendas en el cauce de la quebrada Sahuanay)
 - En la provincia de Chincheros: Esmeralda (distrito de Ocobamba); Chullama, Ahuairo (distrito de Huaccana) y Ccsechuapata (distrito de Chincheros).
- Muchas de las carreteras de la región se encuentran en mal estado y presentaran problemas durante la época de lluvias. Es necesario mejorar o recuperar las siguientes:
 - Antabamba.-Huaquirca
 - Curasco-Progreso
 - Chincheros-Ocobamba
 - Abancay - Chalhuanca
 - Haqira-Mara
 - Coyllurqui – Ccollauro
 - Urancancha-Andahuaylas
 - Ayllasana-Taparihua–Tiaparo
 - Khilcata – Oropesa
 - Son zonas críticas por inundaciones los sectores de Casinchihua-Pte. Pampatama (distrito de Tintay, provincia de Aymaraes) Yuraccacca (distrito de Pichirhua, provincia de Abancay), Totorá – Oropesa, Marceja (distrito de Chuquibambilla, provincia de Grau), y en la provincia de Andahuaylas, los sectores de Manzanahuaycco y Celeste (distrito de Pacucha) y los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera.
 - Antes de efectuar cualquier obra de infraestructura en la región, se debe realizar previamente estudios de detalle que sustenten adecuadamente y con información base que los respalde, toda acción a realizar.
 - Tomar en cuenta la información del INGEMMET para la elaboración de perfiles, expedientes técnicos de proyectos, elaboración de planes y obras de prevención de la región.
 - Se espera que este proyecto sea el inicio de un trabajo coordinado del INGEMMET con el GORE Apurímac para promover el desarrollo de la región.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente informe agradecen en nombre del INGEMMET el apoyo de la Dirección Regional de Defensa Nacional y Defensa Civil del GORE Apurímac, la administración del Santuario Nacional de Ampay y a las municipalidades distritales de la región por el apoyo brindado durante el desarrollo de los trabajos del proyecto GA25B “Peligros Geológicos en la región Apurímac”, así como por brindar facilidades e información para la elaboración de este informe.

VII. REFERENCIAS

- ALVA HURTADO, J.E. Y TORRES CABREJOS, R. (1983). *Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas en el Perú*. Revista TECNIA de la Universidad Nacional de Ingeniería, Vol. 2, No. 2, pp. 33-36.
- BGC ENGINEERING (2011). *Mosquito Creek Debris Flood Quantitative Risks and Mitigation option assessment*. Final Report dated Jan 6, 2011. 57 pp.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley-Interscience Publication. New York: Wiley, XII, 251 pp.
- CARLOTTO, V., TINTAYA, D., CÁRDENAS, J., CARLIER, G., RODRÍGUEZ, R. (2006). *Fallas transformantes permo-triásicas: la falla Patacancha-Tamburco (Sur del Perú)*. Resúmenes XIII Congreso Peruano de Geología
- 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.
- DAVILA, S. & HERRERA, I. (1997). *Inspección de riesgo geológico en el barrio de Muyuna (Distrito Santa María de Chicmo, provincia de Andahuaylas y departamento de Apurímac)*. Informe técnico INGEMMET. Dirección de Geotecnia. 17 p. 1 mapa, Lima.
- DAVILA, S. & ZAVALA, B. (1997). *Inspección de riesgo geológico en el área de Ccocha y Pumaranra (Distrito de Tamburco, provincia de Abancay y departamento de Apurímac)*. Informe técnico INGEMMET. Dirección de Geotecnia. 24 p. 1 mapa, Lima.
- DAVILA, S. (2000). *Peligro por fenómenos de remoción en masa en las áreas de Pampallacta y Supalla (Distrito de Chapimarca, provincia de Aymaraes y departamento de Apurímac)*. Informe técnico INGEMMET. Dirección de Geotecnia. 24 p. 1 mapa, Lima.
- FIDEL, L., ZAVALA, B., NÚÑEZ, S. Y VALENZUELA, G. (2006). *Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 4*. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 31, Lima.
- HANS W. HAMM, (1980). *Low cost development of small water power sites*. Published by Volunteers in Technical Assistance 1815 North Lynn St. Suite 200 P.O. Box 12438, Arlington, VA 22209 USA. 43p.
- HUNGR, O. & EVANS, S.G. (2004). *Entrainment of debris in rock avalanches: an analysis of a long run-out mechanism*: Geological Society of America Bulletin, v.
- INEI (2008). *Censos nacionales 2007: XI de Población y VI de vivienda. Primeros resultados*. En: Perú crecimiento y distribución de la población 2007. 44 p.
- INGEMMET (2002). *Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N° 2*. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 27, Dirección de Geología Ambiental, 368 p., 20 figs., 145 fots., 27 mapas, Lima.
- 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 fots., 17 mapas, Lima.
- MCCALPIN (1984) *Preliminary age of landslide for inventory mapping*. In: Proceedings 21st Engineering Geology and Soil Engineering Symposium: University of Idaho, Moscow

- MAROCCO R. (1975): *Geología de los Cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas*. INGEMMET Boletín Serie A Carta Geológica Nacional Vol. 27. Lima, Perú.
- PECHO, V. (1981). *Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas*. Boletín del Instituto de Geología Minería y Metalurgia, (A), 35, 67 p.
- 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.
- 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
- ROMANA M. (1985). *New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes*. Proc. Int. Symp. Rock Mech. Excav. Min. Civ. Works, ISRM, Mexico City, pp 59-68
- SANTILLÁN, G., FERNANDEZ, J., FERRADAS, P., CORREIA, J. (2005). *Manual para la prevención de desastres y respuesta a emergencias. La experiencia de Apurímac y Ayacucho*. Boletín ITDG, 44 p, Lima.
- TURNBULL W.J. y HVORSLEV M.J. (1967), *Special Problems in Slope Stability*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 93, SM4, pp. 499-528.
- TURNER, A & SCHUSTER, R. (1996). *Landslides, Investigation and mitigation*: National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., 673 p.
- VALDIVIA, W & LA TORRE, O. 2003. *Memoria descriptiva de la revisión del cuadrángulo de Abancay (28-q)*. Escala 15000. Bol. INGEMMET. 25 pp.
- VARNES, D.J. (1978). *Slope movement types and processes*. En: Schuster, R.L.& Krizek, R.J., eds., *Landslides, analysis, and control*. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 176, p. 11-33.
- VILLACORTA, S. VALDERRAMA, P Y ROA, R (2012). *Primer reporte de Zonas críticas de la región Apurímac*. Informe técnico DGAR-INGEMMET. 30 p. 2 mapas.
- VILLACORTA, S. & VALDERRAMA, P (2012). *Evaluación del flujo de detritos de Tamburco, provincia de Abancay región de Apurímac*. Informe técnico DGAR-INGEMMET. 29 p. 1 mapa.
- VILLACORTA, S., FIDEL, L. & ZAVALA, B. (2012) *Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 69 (3): Pp. 393-399.