

Informe Técnico N° A6801

DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR SICLLAPATA

Región Cusco
Provincia Paruro
Distrito Paruro
Paraje Albazo Tóccana



POR:

DULIO GÓMEZ VELÁSQUEZ

**FEBRERO
2018**

 **SECTOR ENERGÍA Y MINAS**
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. ASPECTOS GENERALES	3
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	4
5. ASPECTOS GEOLOGICOS.....	4
6. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA.	6
7. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS	18
CONCLUSIONES	26
RECOMENDACIONES	27
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	28
ANEXO: GLOSARIO DE TERMINOS	29

“DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR SICLLAPATA”

Distrito y provincia Paruro – Departamento Cusco

1. INTRODUCCIÓN.

El alcalde de la municipalidad provincial Paruro, región Cusco, mediante Oficio N° 268-2017-MPP/A de fecha 30 de mayo del año 2017, se dirige al presidente del Consejo Directivo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando se realice evaluación de riesgo en el cerro Sicllapata, sector Rosaspata. El movimiento de ladera ocurrido el mes de enero del 2017, en la ladera del cerro Sicllapata flanco suroeste, causó daños a la vía de acceso, infraestructura y otros en la localidad de Paruro

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, luego de las respectivas coordinaciones, comisionó al ingeniero Hugo Dulio Gómez Velásquez, para realizar una visita técnica.

El presente informe técnico científico del área de Sicllapata distrito y provincia Paruro - Cusco, ejecutado durante el periodo 2017-2018, se llevó a cabo con la finalidad de generar información Geocientífica útil para los gobiernos locales involucradas en la planificación territorial. Por ese motivo, se ha incidido principalmente en la identificación de los peligros geológicos y geohidrológicos que los afectan o pueden causar desastres.

La preparación del informe se ha basado en la revisión de información existente en la zona, la interpretación de imágenes satelitales de Google Earth (julio 2017) y mapa topográfico base, utilizando hoja topográfica del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:50 000; También se realiza una visita técnica para la validación de la información generada.

La caracterización geodinámica ha permitido identificar peligros geológicos por movimientos en masa (deslizamiento antiguo reactivado y eventos recientes) Probablemente fueron condicionados por el substrato rocoso, poco consolidado, así como poco resistente cubierto por material detrítico, laderas de fuerte pendiente, la actividad antrópica y ocupación inadecuada por el hombre; las precipitaciones intensas y sismos como detonante principal.

Este informe, se pone en consideración de la Oficina de Defensa Civil del gobierno regional Cusco. Se basa en las observaciones realizadas en campo, la interpretación de imágenes satelitales de diferentes años, así como la información disponible de trabajos anterior realizados por el Ingemmet en el sector de Paruro, incluye textos, ilustraciones fotográficas.

Finamente, se emiten la conclusiones y reconvenciones generales. Es bueno resaltar que los mapas temáticos, elaborados con ayuda del SIG, son importantes como herramientas de prevención, pues proporciona una base importante para la planificación que contribuyan a solucionar la problemática de los peligros geológicos.

2. ANTECEDENTES

Dentro de los estudios anteriores de peligros geológicos por movimientos en masa que incluyen el área de Paruro, se tiene, entre otros informes de riesgo geológico, el boletín denominado “Neotectónica y Peligros Sísmico en la Región Cusco” – Boletín N° 55, elaborado por el Ingemmet (2013), un estudio integral en base a análisis estratigráfico, geomorfológico, de geología estructural y utilización de métodos geofísicos propone una evolución geodinámica reciente para la región.

En el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa (a escala regional), la localidad de Paruro, se encuentra en una zona de susceptibilidad alta y muy alta, donde se conjugan varios tipos peligros geológicos; como huacos, deslizamientos caída y erosión fluvial. Terrenos con pendiente escarpada, son áreas propensas a sufrir eventos naturales severos no aptos para el desarrollo urbano. De ser necesario realizar estudios geológicos geotécnicos de detalle, para desarrollar la habilitación de un área (figura 1).

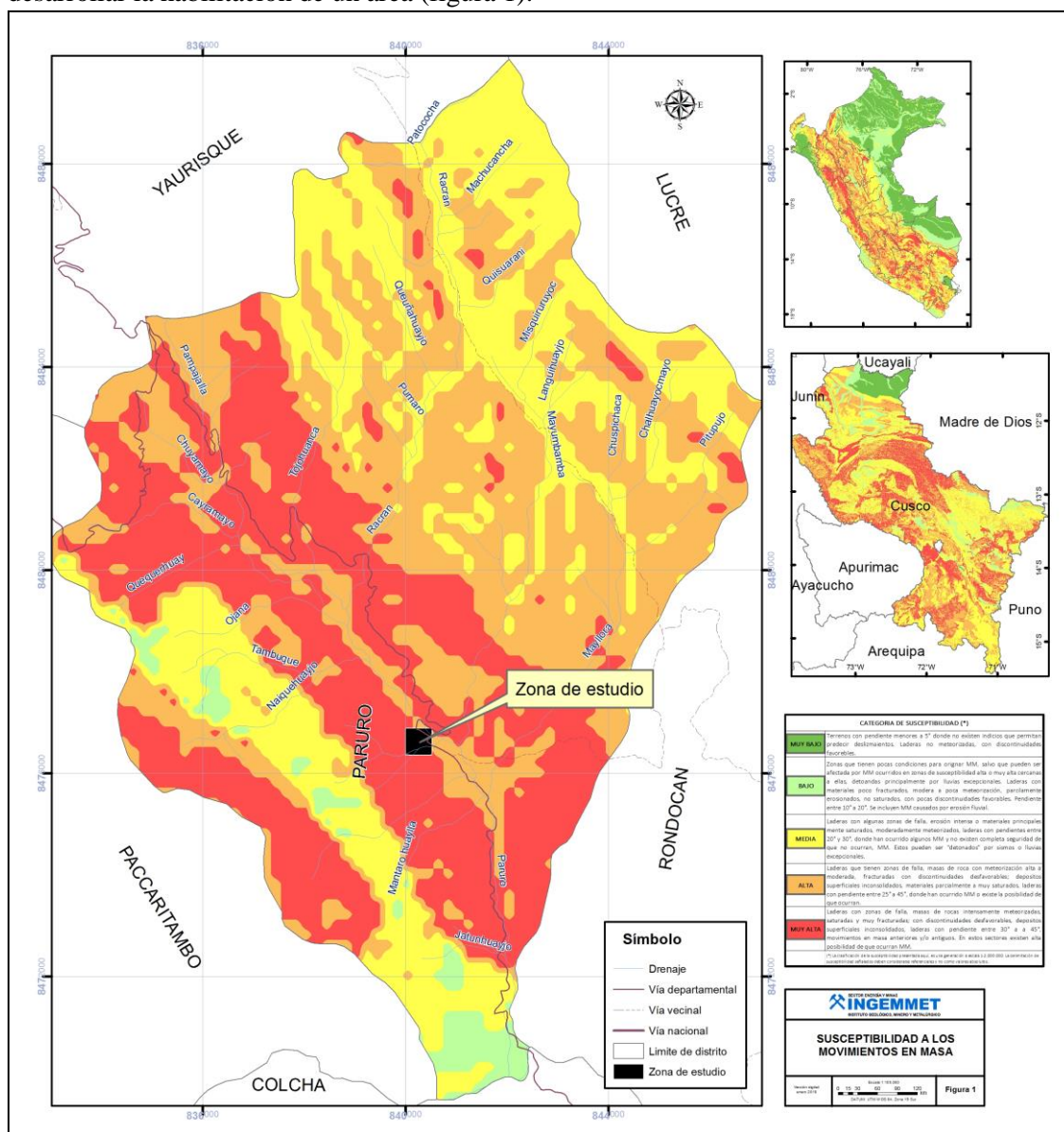


Figura 1. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en la provincia Paruro (INGEMMET 2009)

3. ASPECTOS GENERALES

La zona de estudio se encuentra ubicado a 585 m con dirección norte 317° del poblado de Paruro en el sector denominado Sicllapata, jurisdicción del distrito y provincia Paruro, región Cusco (figura 2), teniendo como coordenadas centrales UTM (WGS 84 – Zona 18 Sur) el Deslizamiento cerro Sicllapata:

- Norte: 8477229
- Este: 191889
- Altitud: 3149 msnm.

La localidad de Paruro situada en el piso altitudinal entre 2000 a 3500 msnm, presenta un clima de tipo tropical templado y frígido, con una temperatura media mensual de 14.069 °C, se producen precipitaciones pluviales entre los meses de diciembre a abril y periodos de estiaje entre los meses de mayo a setiembre.

El acceso a la zona de estudio por vía terrestre:

Tramo	Km	Tipo de vía	Duración (h)
Lima - Cusco	1,097	Asfaltada	19:09
Cusco - Paruro	57.3	Asfaltada	1:25

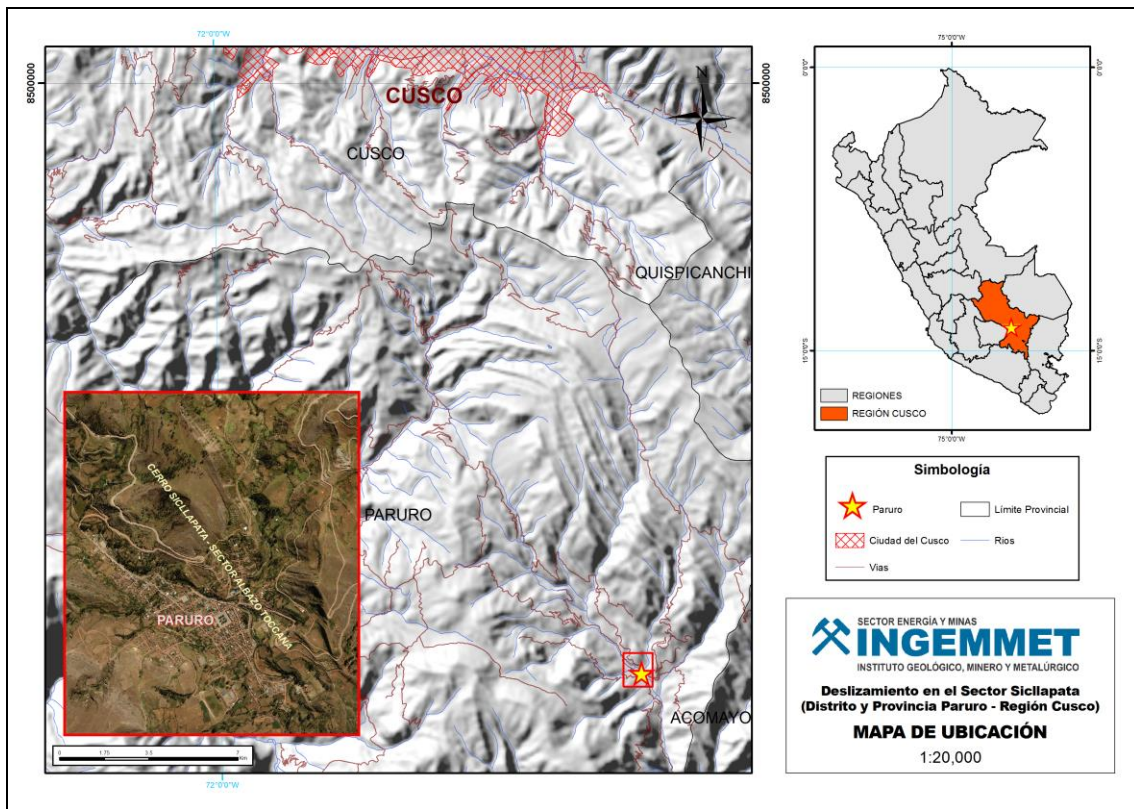


Figura 2. Ubicación del área evaluada

El objetivo es identificar y tipificar los peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos, que afectan a la localidad de Paruro; así como las causas de su ocurrencia. La información obtenida durante la visita técnica, servirá para que las autoridades puedan actuar apropiadamente en la prevención y mitigación de los fenómenos.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El área del presente estudio, se caracteriza por presentar montañas escarpadas (cerro Manzanopata – 4 220 msnm, Ichuloma – 3926 msnm y Portamiyoc – 3605 msnm), surcadas por ríos que forman valles profundos con laderas de pendiente de hasta 45°.

El poblado de Paruro se encuentra asentado sobre piedemonte coluvio-deluvial deposito formado por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados y terraza fluvial formado por depósitos de material lítico transportado por el río Paruro y quebrada Mayumbamba.

5. ASPECTOS GEOLOGICOS

Tomando como referencia la cartografía geológica del cuadrángulo de Cusco 28-S, (Carlotto *et al* 1996 y Carlotto *et al* 2011), en la zona de estudio afloran lutitas y limolitas lacustres (foto 1 y figura 3), areniscas fluviales y algunos conglomerados fluviales de color rojizo (Formación Paruro), substrato poco consolidado de fácil erosión, de calidad geotécnica mala, estratificación en favor de la pendiente, susceptible a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes. Asimismo, una cobertura de depósitos coluviales y aluviales cuaternarios.

Depósitos coluviales o de caída, se les reconoce por su geometría y son producto de deslizamientos, derrumbes y movimientos complejos, etc.; su fuente de origen es cercana. Están conformados por material generalmente grueso de naturaleza homogénea, heterométricos, mezclados con materiales finos como arena, limo y arcilla como matriz en menor proporción; generalmente se presentan sueltos a muy sueltos, pero pueden presentar algo de consolidación cuando son relativamente más antigua, dependiendo de la matriz que los engloba.

Depósitos fluviales y aluviales, están conformados por extensas llanuras y terrazas (altas y medias) a diferentes niveles sobre los valles principales y tributarios mayores; son depósitos semiconsolidados, alguno de ellos presenta cierto grado de consolidación, erosionados por los cauces actuales. Estos depósitos generalmente corresponden a bancos de gravas y arenas.



Fotografía 1, Vista tomada con dirección sureste, se observa afloramiento formado por lutitas y limolitas lacustres de la Formación Paruro (coordenadas 191473 E; 8477374 S)

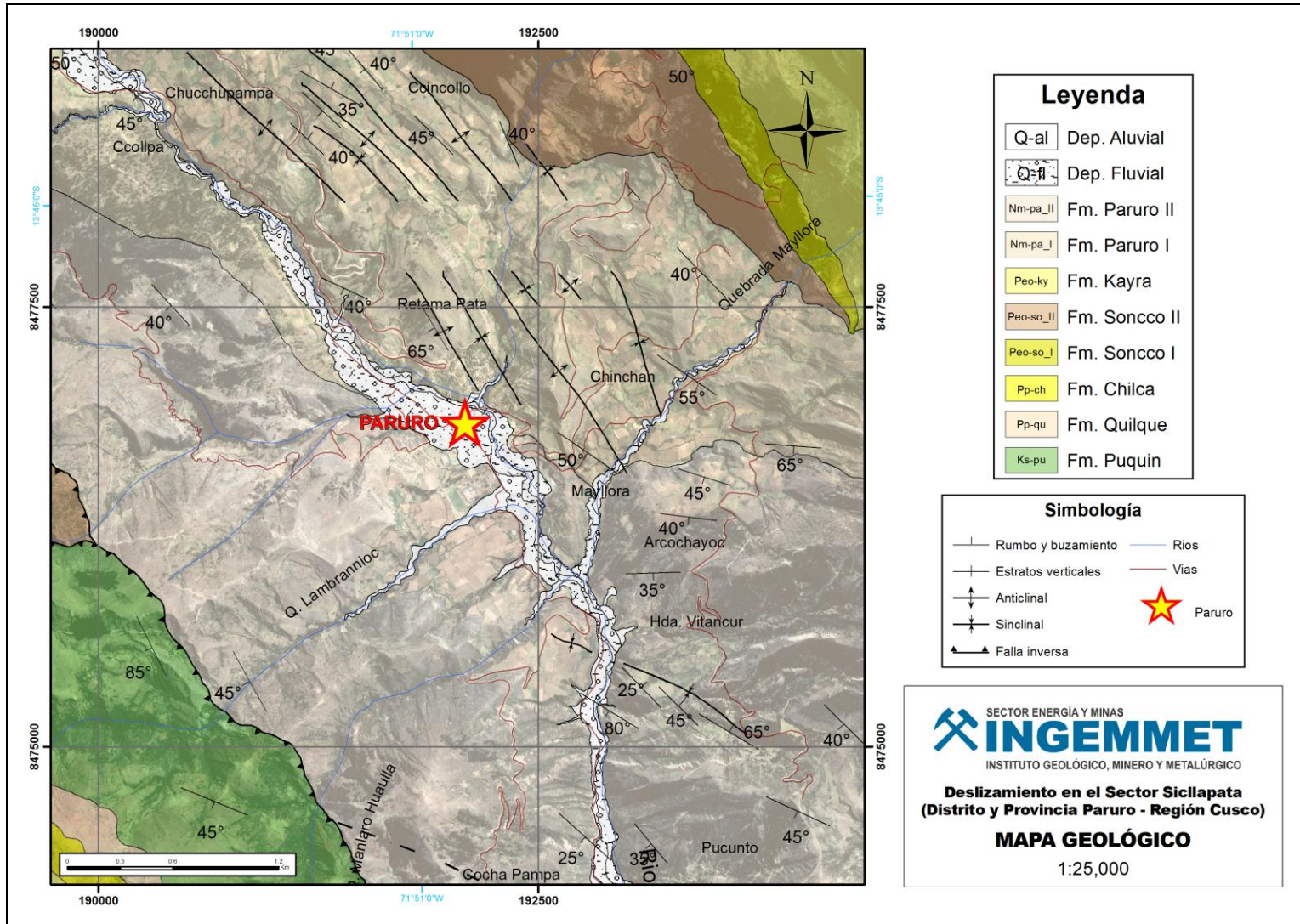


Figura 3. Unidades geológicas en la zona de estudio y alrededores (Ingemmet, 2011)

6. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA.

En las jurisdicciones del poblado Paruro, se determinó que los peligros geológicos por movimientos en masa que ocurren en la zona son de tipo deslizamiento, derrumbe y erosión de laderas; algunos de ellos con recurrencias registradas.

Los movimientos en masa, materia del informe son:

DESLIZAMIENTO

Antecedentes del evento: A partir de la interpretación geológica en las imágenes satelitales Google Earth disponibles (2016), en la zona de estudio se logró identificar un evento antiguo a manera de un deslizamiento en la margen izquierda del río Paruro.

El deslizamiento antiguo, presenta un escarpe principal poco notorio, con una longitud de 354 m aproximadamente, y de salto vertical de 10 m, distancia de la corona al pie de deslizamiento es 490 m, (figura 4), cubiertos por vegetación de tipo arbustos.

Este evento marca la actividad geodinámica a la que está expuesta la zona y la susceptibilidad de ésta a estos tipos de movimientos en masa.

El evento que ocurrió en los alrededores del cerro Sicllapata, corresponde a la reactivación como deslizamiento y nuevos eventos de tipo deslizamiento traslacional. Estos movimientos afectan principalmente tramo de vía afirmada y la cubierta detrítica superficial,

Factores condicionantes y detonantes: Usualmente en los andes, los movimientos en masa son detonados por el clima (fuertes lluvias), movimientos sísmicos o por causas antrópicas (malas técnicas en riego, cortes de talud inadecuados, deforestación, etc.) las condiciones naturales del terreno (suelo o roca), expresadas en su grado de fracturamiento, alteración o meteorización y pendiente de las laderas, se ven afectadas por lluvias cortas e intensas, o prolongadas, por la vibración sísmica originada por sismos (locales o por subducción), o la modificación del talud para efectuar un corte para un canal o carretera (Zavala, 2011).

El deslizamiento antiguo identificado en la zona fue condicionado por:

- Un substrato rocoso conformado por lutitas limolitas y areniscas, poco consolidadas y poco resistentes (foto 1) cubierto por material detrítico removido por el deslizamiento antiguo.
- Laderas de montañas con una pendiente promedio 30°.
- La actividad antrópica: corte de talud.
- Las precipitaciones pluviales intensas que se presentan entre los meses de diciembre -abril, funcionan como detonante.



Figura 4. Se observa imagen y foto del deslizamiento antiguo

Descripción de la reactivación y de nuevos eventos: en forma general se describe la reactivación del evento ocurrido como un movimiento en masa con velocidad de desplazamiento lento (fotografía 1), a continuación, detallamos los sectores reactivados:

- **R-1, Reactivación en la masa desplazada del evento antiguo**, la cual presenta agrietamientos de forma irregular continua con longitudes de 206 m y 160 m, salto vertical que alcanza hasta 2.20 m y 2.00 m consecutivamente, dentro del cuerpo desplazado se observa agrietamientos transversales con longitud que varía entre 1 m a 4 m, aberturas que

varían entre 0.05 y 0.20 m y profundidad que puede alcanzar hasta 1.5 m. (foto 3), ver también perfil transversal A-A' en la figura 6.

- **R-2, Reactivación de evento antiguo, en el sector Quellomoco**, la cual presenta agrietamiento de forma irregular discontinua con longitud de 42 m, salto vertical de 3.00 m, también cabe mencionar que al pie de la ladera se realizaron trabajos de corte de talud, generando inestabilidad (foto 4).
- **D-1, Deslizamiento ubicado en la ladera del cerro Sicllapata**, en la margen izquierda del evento antiguo, talud superior de la carretera Yaurisque – Paruro, ocurrido el 2017. Presenta 135 m de escarpe principal de forma irregular continua, salto vertical que varía entre 3 m a 0.5 m, con una longitud del escarpe principal al pie de 100 m, una superficie de separación de 10 m y con una velocidad lenta y una dirección de desplazamiento de norte 200°. al pie de talud se realizaron labores de corte de talud con la finalidad de ampliar la vía. (foto 5), ver perfil transversal C-C' en la figura 7.
- **D-2, deslizamiento de tipo traslacional**, ocurrido el año 2017, ubicado en la margen izquierda del deslizamiento (D-1), presenta 96 m de escarpe principal de forma irregular continua, salto vertical que varía entre 1 m a 0.1 m, con una longitud de escarpe principal al pie de 45 m, con velocidad lenta y una dirección de desplazamiento de norte 200°. al pie de talud se realizaron labores de corte de talud con la finalidad de ampliar la vía. (foto 6), ver perfil transversal B-B' en la figura 7.
- **D-3. deslizamiento de tipo traslacional**, ocurrido el año 2017, ubicado entre las coordenadas: 191835 E: 8477122 S, talud inferior de la carretera Yaurisque – Paruro, presenta 65 m de escarpe principal, salto vertical de 10 m aproximadamente, con una longitud del escarpe principal al pie de 100 m, velocidad lenta y una dirección de desplazamiento norte 222° (foto 7), ver perfil transversal C-C' en la figura 7.
- **D-4, deslizamiento de tipo traslacional**, ocurrido el año 2017, ubicado entre las coordenadas: 191522 E: 8477878 S, talud superior de la carretera Yaurisque – Paruro, presenta 42 m de escarpe principal, salto vertical de 3.5 m aproximadamente, con una longitud del escarpe principal al pie de 82 m, velocidad lenta y una dirección de desplazamiento norte 156°. (foto 8), También ocurren derrumbes que afectan tramo de vía.

Daños causados:

- La reactivación y eventos recientes afectó tramo de vía Yaurisque – Paruro,
- Cunetas de coronación (fotografía 9).
- Terrenos de pastoreo. (fotografía 10)



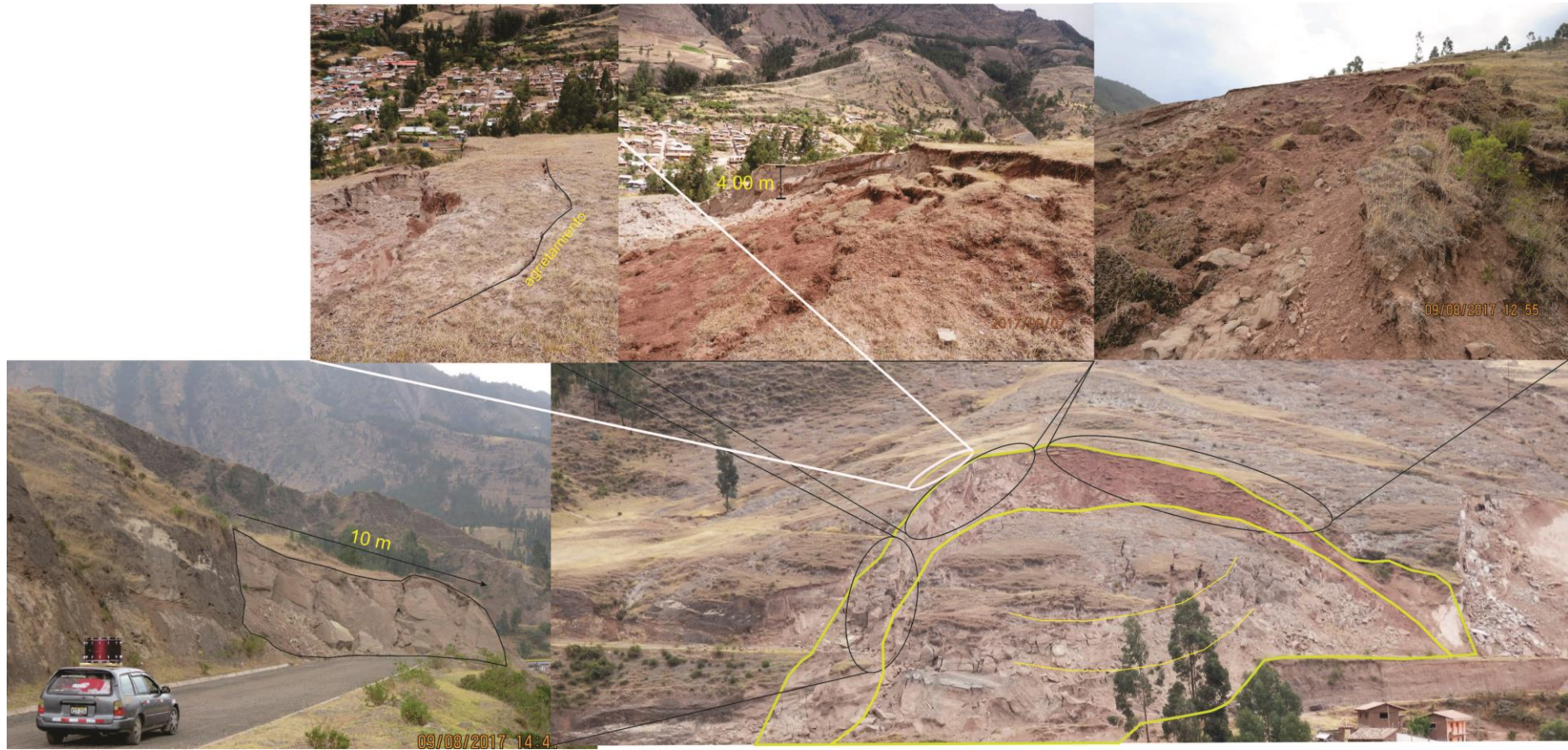
Fotografía 2 Se observa la ubicación de los eventos y reactivaciones descritas.



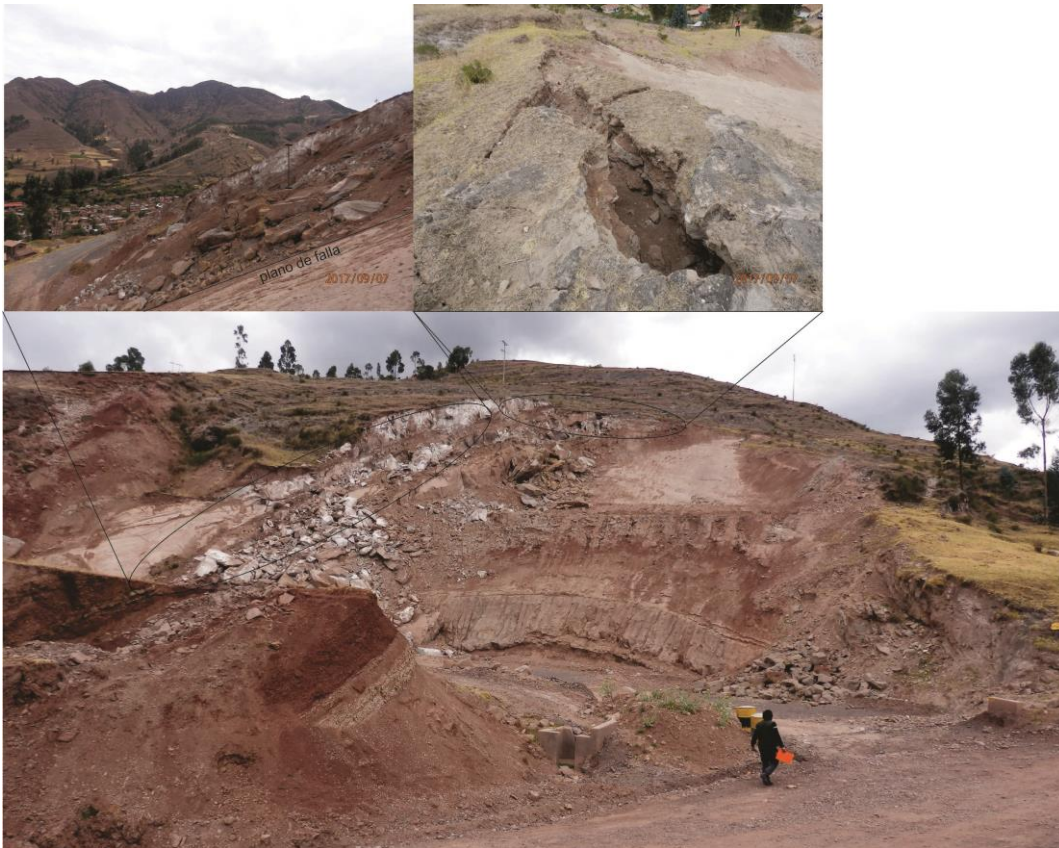
Fotografía 3. Evento R-1, reactivación en el cuerpo de evento antiguo, se observa agrietamientos que afectan cunetas de coronación y tramo de vía Yaurisque – Paruro



Fotografía 4. Vista tomada con dirección noreste, se observa reactivación de evento (R-2), la presencia de agrietamiento de forma irregular continua con una longitud de 42 m (línea de color amarillo) y un salto vertical hasta de 3 m, también se puede observar al pie de la ladera se realizaron labores de corte de talud (línea de color rojo)



Fotografía 5. Vista tomada con dirección suroeste, se observa evento (DA-3), escarpa con una longitud de 520 m. (A); vista donde se observa salto vertical de 4 m. (B); vista de agrietamiento perpendicular con abertura entre 0.1 m. hasta 0.4 m (C)



Fotografía 6. Vista tomada con dirección noreste, se observa la ocurrencia de un evento de tipo deslizamiento traslacional (D-3), con una longitud de 135 m de escarpe principal, un salto vertical que varía entre 0.05 y 3m.



Fotografía 7. Vista del evento (D-4), ubicado a la margen izquierda del río Paruro, talud inferior de la vía Yaurisque – Paruro, se observa el deslizamiento ocurrido el año 2017.



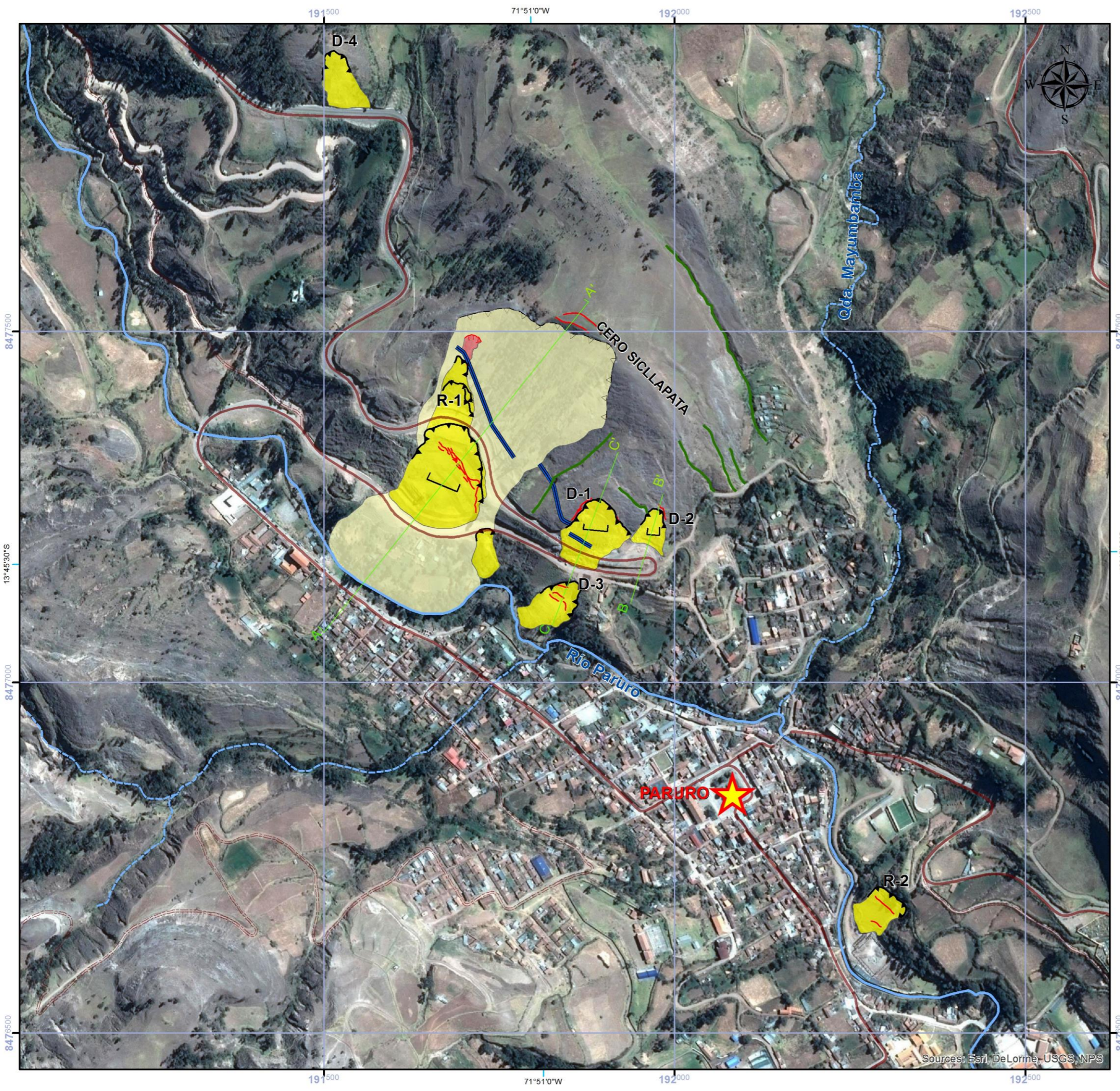
Fotografía 8. Vista del evento (D-4), ubicado en el talud superior de la vía Yaurisque-Paruro, se observa la ocurrencia de un deslizamiento que afecta el tramo de vía asfaltada.



Fotografía 9. Vista de la infraestructura (cuneta de coronación) afectada por la reactivación del deslizamiento (D-1).










Fotografía 10. Vista con dirección noroeste, se observa el evento reactivado, que afecta tramo de vía y terrenos de pastoreo.



Símbolos

-  Paruro
-  Vías
-  Río
-  Canal
-  Perfil

Leyenda

-  Caída de rocas
-  Deslizamiento activo
-  Deslizamiento antiguo
-  Erosión de ladera
-  Escarpe activo
-  Escarpe antiguo
-  Agrietamiento

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**Deslizamiento en el Sector Sicllapata
 (Distrito y Provincia Paruro - Región Cusco)**

MAPA DE MOVIMIENTOS EN MASA

1:5,500



Sources: Esri, DeLorme, USGS, NPS

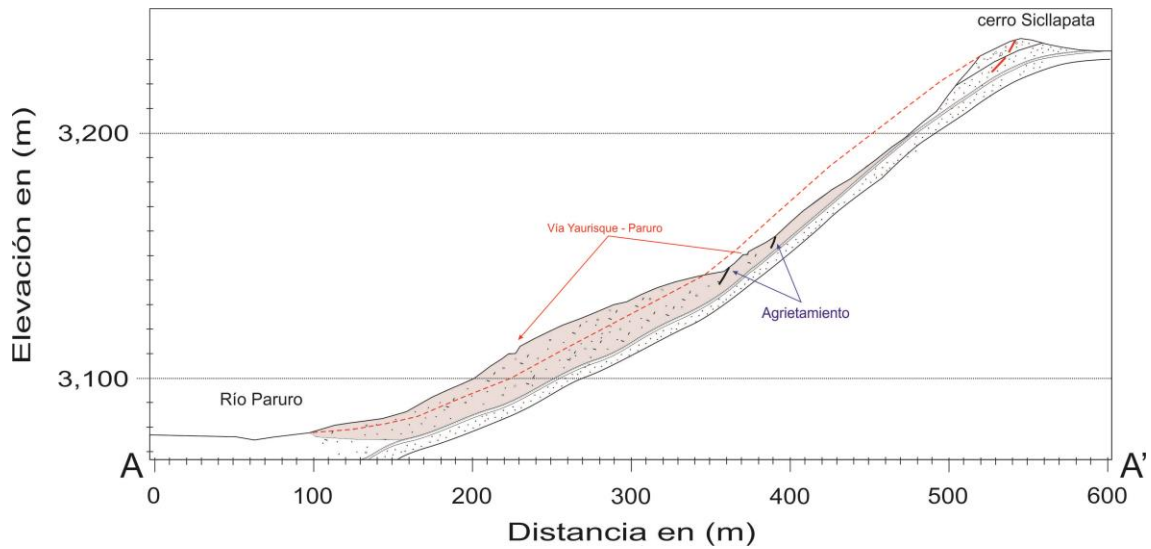


Figura 6. Perfil transversal de antiguo deslizamiento (R-1), la reactivación en el antiguo cuerpo desplazado, presenta agrietamientos con saltos verticales que alcanzan hasta de 3 m.

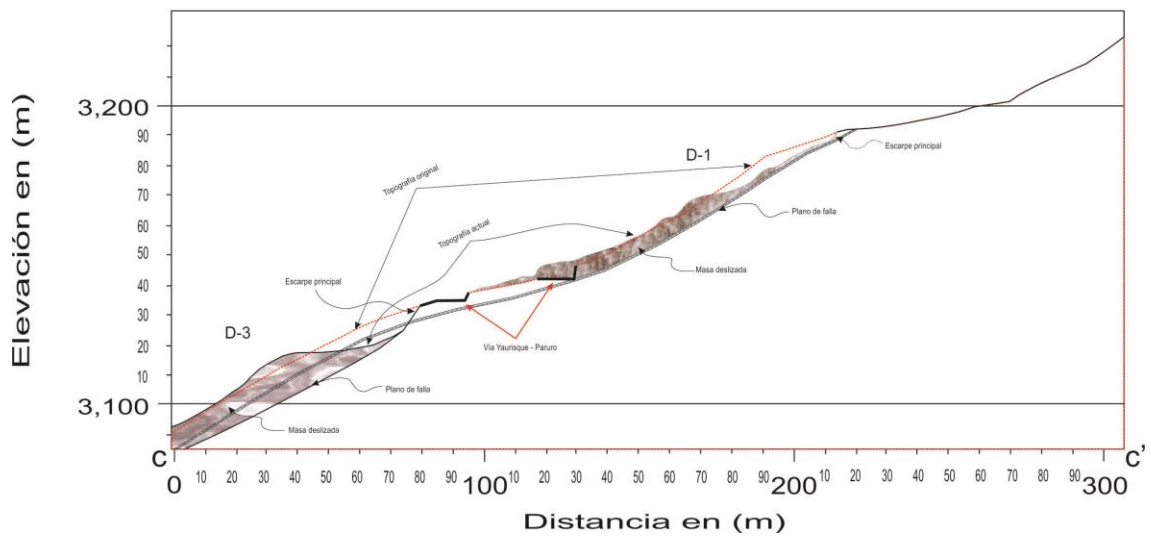
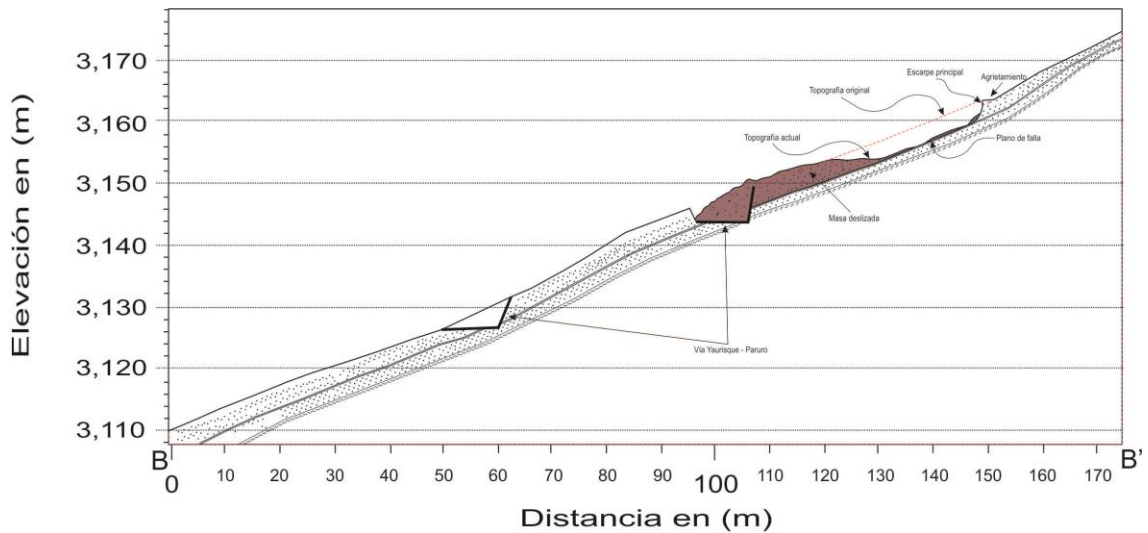


Figura 7. Perfil transversal de los deslizamientos activados el año 2017 (B-B' y C-C').

7. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

En esta sección se dan algunas propuestas generales de solución para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, procesos de erosiones de laderas, entre otros; así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

7.1 PARA DESLIZAMIENTOS

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

- 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 (concreto, mampostería, terro-cemento entre otros) para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece la infiltración y saturación del terreno.
- El sistema de riego de cultivo debe ser tecnificado por aspersión controlada o por goteo.
- 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.
- 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 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.

Uso de vegetación

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes es muy debatido; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (J. Suárez Díaz, 1998). Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores se sugiere analizar los siguientes:

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.
- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales. En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.
- Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Factores que aumentan la estabilidad del talud:

1. Intercepta la lluvia
2. Aumenta la capacidad de infiltración
3. Extrae la humedad del suelo
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
7. Aumentan el peso sobre el talud
8. Trasmiten al suelo la fuerza del viento
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

1. Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial
2. Elimina el factor de refuerzo de las raíces
3. Facilita la infiltración masiva de agua.

La quema de la vegetación aumenta la inestabilidad de los taludes, especialmente si esto ocurre en área de coluviones en los cuales la vegetación ejerce un papel preponderante en la estabilidad, especialmente por la eliminación del refuerzo de las raíces y por la exposición a la erosión acelerada.

a) Construir zanjas de coronación.

Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla

(movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe (figura 8).

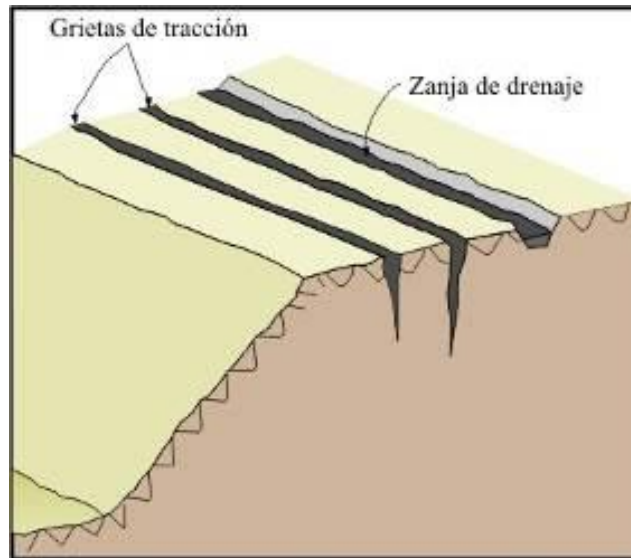


Figura 8. Canales de coronación.

b) Construir un sistema de drenaje tipo Espina de Pescado:

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras (figura 9). Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la re-infiltración del agua.

c) monitoreo permanente en la zona durante el periodo lluvioso:

Implementar un sistema de monitoreo de la zona de arranque, que permita determinar la existencia de movimiento en la masa deslizante, este puede estar constituido por estacas de madera o varillas de fierro, las cuales deben estar colocadas tanto dentro del deslizamiento, como en una zona estable (fuera o encima del cuerpo de deslizamiento), realizándose medidas de la distancia entre estacas, cada cierto tiempo, aumentado la frecuencia de medidas durante periodos de lluvia. De detectarse movimientos rápidos, se informará a la población para que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.



Figura 9. Sistema de drenaje tipo espina de pez.

d) Sistema de drenaje en laderas ocupados por cultivos:

Son pequeños canales impermeabilizado de 30 centímetros de ancho en el fondo (plantilla), taludes 1:1 en suelos estables, 3/4:1 o 1/2:1 en suelos muy estables, y 1 1/2:1 o 2:1 en suelos poco estables o susceptibles a la erosión (suelos muy Livianos). Su desnivel y profundidad son variables. Los canales son aconsejables en zonas con Lluvias intensas y en áreas con suelos pesados, poco permeables, donde hay exceso de escorrentía, y en suelos susceptibles a la erosión con pendientes hasta 40 % y longitudes largas.

No se deben construir en terrenos con cultivos limpios o potreros de más de 30 % de pendiente, ni en terrenos con cultivos de semibosque (café, cacao, etc.) de más de 50 % de pendiente.

Se deben desaguar en un sitio bien protegido, en donde no vayan a causar erosión. Se trazan y construyen desde el desagüe hacia arriba, asegurándose que el fondo quede lo suficientemente alto sobre el desagüe (20-40 cm), para que el agua que baje por este no penetre a las acequias, o las represe. En la construcción de varios canales, debe iniciarse con la más alta del terreno, pues de otro modo se podrían dañar las más bajas por un aguacero fuerte (figura 10).

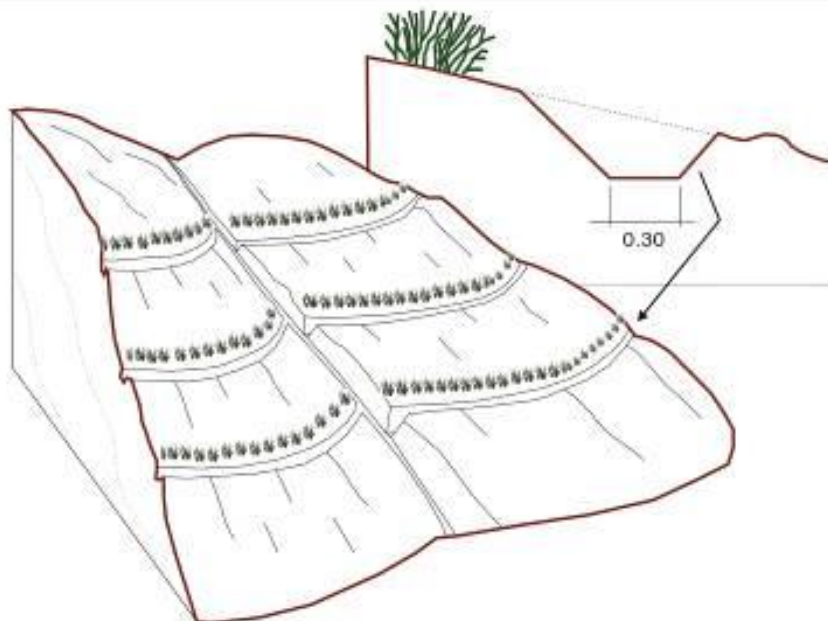


Figura 10. Sistema de drenaje en laderas ocupadas por cultivos

7.2 PARA DERRUMBES Y CAIDA DE ROCAS

Forma de talud se muestra en la (figura 11), la inclinación de los taludes depende de los suelos y litología. Cuando la inclinación cambia, en muchos casos se proporciona una banqueta en el punto de cambio de inclinación.

Generalmente se emplea una pendiente única cuando la geología (tipos de rocas) y los suelos son lo mismo en profundidad y en las direcciones transversales y longitudinales. Sin embargo, cuando la geología y los suelos varían considerablemente y de manera complicada, una pendiente única adecuadamente al suelo de mayor pendiente podría usarse, aunque esto sea antieconómico.

a) Banquetas:

Generalmente se instala una banqueta de 1 a 21 m. de ancho, a la mitad de un talud de corte de gran altura.

Propósito de la banqueta.

En la parte inferior de un gran talud continuo, la descarga y velocidad del agua superficial aumentan, causando el incremento de las fuerzas de socavación. En este caso, la velocidad de la corriente puede reducirse al proporcionar una banqueta casi horizontal a la mitad del talud, o la concentración de agua superficial en la parte inferior del talud puede prevenirse al construir una zanja en la banqueta para drenar el agua hacia afuera del talud. La banqueta también puede usarse como acera para inspección o como andamio para reparación.

Por lo tanto, las banquetas deben diseñarse tomando en cuenta la dificultad de inspeccionar y reparar, la pendiente del talud, la altura de corte, los suelos del talud, los costos y otras condiciones.

Inclinación de banqueta

Cuando no existen facilidades de drenaje, se proporciona a la banqueta un gradiente transversal de 5 a 10%, de modo que el agua drene hacia el fondo del talud (pie de talud).

Sin embargo, cuando se considera que el talud es fácilmente descargable o cuando el suelo es fácilmente erosionable, el gradiente de la banqueta debe hacerse en la dirección contraria, de modo que el agua drene hacia la zanja de la banqueta.

1) Localización de banqueta.

En los taludes de corte, normalmente se diseñan banquetas de 1 a 2 metros de ancho cada 5 a 10 metros de altura, dependiendo del suelo, litología escala de talud.

Una banqueta más ancha se recomienda cuando el talud es largo y grande o donde se instalarán vallas de protección de caída de rocas.

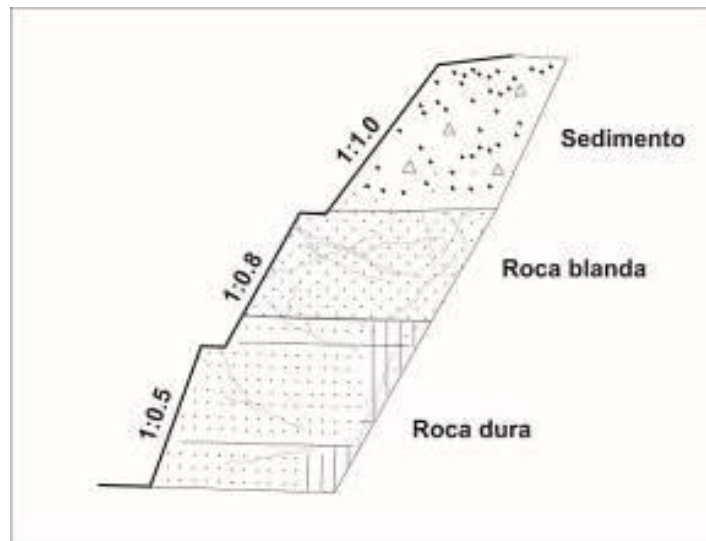


Figura 11. Condición de terreno y forma de taludes

b) Corrección por muros

Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 12).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (figura 13). Esta forma de actuar puede tener varios inconvenientes. En primer lugar, la construcción del muro exige cierta excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Por otra parte, el muro no puede ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo.

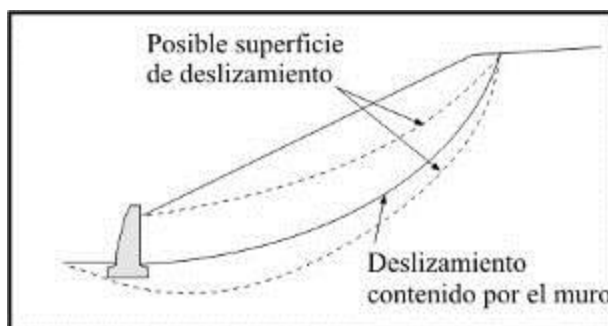


Figura 12. Contención de un deslizamiento mediante un muro (tomado de INGEMMET, 2000).

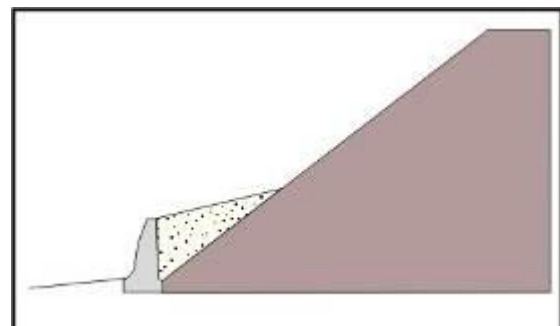


Figura 13. Relleno estabilizador sostenido por el muro (tomado de INGEMMET, 2000).

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento ya que en caso contrario el deslizamiento sobrepasa al muro. Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos.

Por todo ello, en taludes con signos evidentes de inestabilidad puede ser más apropiado realizar el muro con objeto de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligado. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte. En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro, frente al coste de sobre excavación requerido si aquel no se realiza. La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (Figura 14):

Muros de sostenimiento: Se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente.

Muros de contención: Generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sería probablemente inestable sin la acción del muro.

Muros de revestimiento: Su misión consiste esencialmente en proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador.

Cuando se proyecta un muro deberán determinarse las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

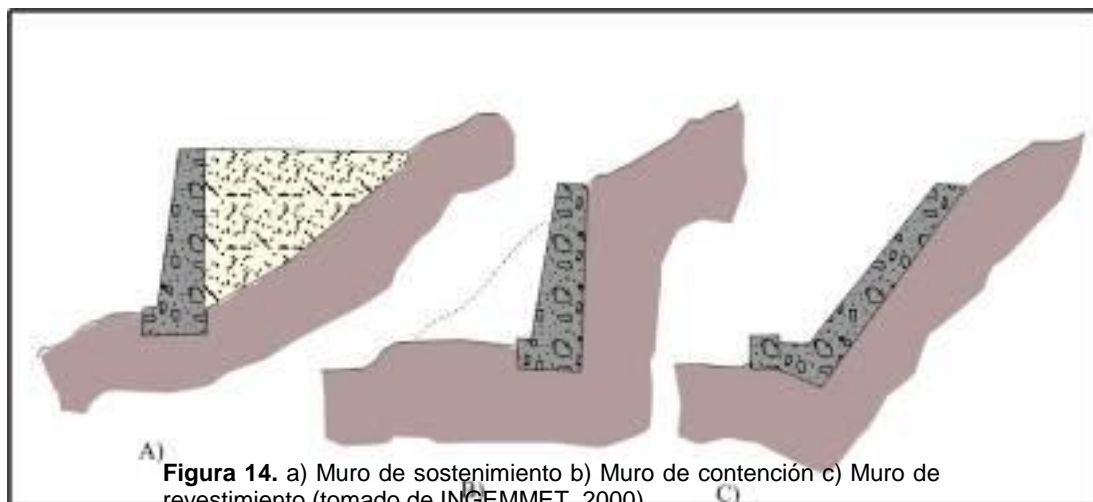


Figura 14. a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento (tomado de INGEMMET, 2000)

Las comprobaciones que deben efectuarse en un caso típico son las siguientes:

- Estabilidad general del sistema muro-terreno al deslizamiento; la estabilidad general del muro incluye la estabilidad al vuelco y al deslizamiento.

- Resistencia del terreno del cimiento.
- Ausencia de tracciones en la base del muro.
- Resistencia estructural: Se ha de comprobar que las tensiones máximas en el muro no sobrepasen los valores admisibles.

CONCLUSIONES

1. El sector presenta una morfología que comprende cumbres de forma suave y de pendiente que varía entre 20° a 40°, marcados por innumerables quebradas y valles aluviales.
2. El substrato rocoso con afloramientos de lutitas, areniscas finas y conglomerados (Formación Paruro), altamente meteorizado y de calidad geotécnica mala, cubierto por material cuaternario constituido principalmente por depósitos coluviales (clastos de grano grueso, mezclado con material fino como arena, limos y arcillas como matriz), es susceptible a ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa.
3. La susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (deslizamiento, derrumbes y erosión de ladera), está condicionada por un substrato de mala calidad (muy meteorizado), pendiente de terreno fuerte con un promedio de 30°, estratificación a favor de la pendiente (entre (20° a 40°) y regular o poca cobertura vegetal. Así mismo, confluye en ella la presencia de antiguos depósitos de movimiento en masa, que se presentan hoy reactivados y también nuevos eventos; influye también las labores de cortes de talud generando es una ladera inestable.
 - El área reactivada R-1, presenta dos agrietamientos de 206 m y 160 m de longitud y un salto vertical de 4 m y 3 m, consecutivamente, generando daños a la infraestructura vial.
 - La reactivación R-2 del sector Quellomoco, presenta agrietamientos de 42 m de longitud y un salto vertical de 3 m, debilitado por labores realizados de corte de talud al pie de la ladera.
 - Los deslizamientos D-1 y D-2 son eventos activados después de realizar labores de corte de talud, presentando 135 m y 96 m de longitud de escarpe principal y un salto vertical que varían entre 0.10 a 4 m, deslizándose la masa sobre una superficie de falla conformada de lutitas.
 - Los deslizamientos D-3 y D-4, son eventos ocurrido en el año 2017, que presenta un escarpe principal de 65 m y 42 m y un salto vertical de 10 m y 3.5 m consecutivamente, afecta tramo de vía Yaurisque – Paruro y terrenos de pastoreo
4. Por las condiciones geológicas actuales, como la presencia de agrietamientos longitudinales, la zona de estudio se considera inestable. Se están generando deslizamientos de tipo traslacional. Por lo tanto, las viviendas, tramo de carretera afirmada y los terrenos de pastoreo situadas dentro de su cuerpo deslizado, están siendo afectados, por lo que se considera como una Zona Crítica, de muy alto peligro por movimientos en masa, los sectores se encuentran en **Peligro Inminente** ante lluvias intensas o sismos de fuerte intensidad.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de monitoreo en el deslizamiento, que permita alertar y tomar acciones ante cualquier movimiento del terreno. Este puede estar constituido por estacas de madera o varillas de hierro, las cuales deben estar colocadas tanto dentro del deslizamiento, como en una zona estable, realizándose medidas de la distancia entre estacas, cada cierto tiempo, aumentado la frecuencia de medidas durante periodos de lluvia. De detectarse movimientos rápidos, se informará a la población para que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas
2. Realizar un intensivo trabajo de reforestación con árboles que tengan raíces verticales o subverticales, para mejorar la cobertura vegetal existente, y de esta forma evitar el impacto de las gotas de lluvia directamente sobre el terreno que pueda producir pérdida de suelo y reducir la infiltración de agua.
3. Realizar la implementación de un sistema de drenaje mediante canales impermeabilizados y evitar la infiltración de aguas.
4. Realizar medidas correctivas apropiadas, para la zona reactivada por movimientos en masa (tipo deslizamiento) considerar uno de los ejemplos mencionados en el informe u otro que sea para reducir el riesgo
5. Las viviendas ubicadas al pie del evento (D-1 y D-2) se consideran en Riesgo Alto y deben ser declaradas no habitables y reubicadas.
6. Las obras de rehabilitación deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Benavente, C; Delgado, F; Taípe, E.; Audin, L. & Pari, W.; (2013) – Neotectónica y peligros sísmicos en la región Cusco, INGEMMET. Boletín, serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p., 1 Mapa.
- Carlotto, V., Cárdenas, J. y Carlier, G. (2011) – Geología del cuadrángulo de Cusco 28-S – 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258 p., 6 mapas.
- Cruden, D. M., Varnes, D. J., (1996) Landslide types in processes, in 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
- 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
- Varnes, D. J. (1978) Slope movements types and processes, in Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D.C, national Academy Press, Transportation Research Board Spatial report 176, p. 9-33.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1981. Rock slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy, London. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (1988) – Mapa de clasificación climática del Perú, escala: 1:1'000.000. Lima: SENAMHI.

ANEXO: GLOSARIO DE TERMINOS

MOVIMIENTOS EN MASA: El término movimiento en masa, incluye todos los desplazamientos de una masa rocosa, de detrito o de tierra por efectos de la gravedad (Cruden, 1996).

Estos movimientos en masa, tienen como causas factores intrínsecos: la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de suelos, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal (ausencia de vegetación); combinados con factores extrínsecos: construcción de viviendas en zonas no adecuadas, construcción de carreteras, explotación de canteras. Se tiene como “detonantes” las precipitaciones pluviales extraordinarias y movimientos sísmicos.

DESLIZAMIENTO: Es un movimiento de una masa de suelo, roca o ambos, ladera abajo, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

Se clasifican según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares y o en cuña, sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamiento compuesto (Hutchinson, 1988).

DESLIZAMIENTO ROTACIONAL

En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca (figura 15). Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante y ocurre en rocas poco competentes. La tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas (Hutchinson, 1988).

Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

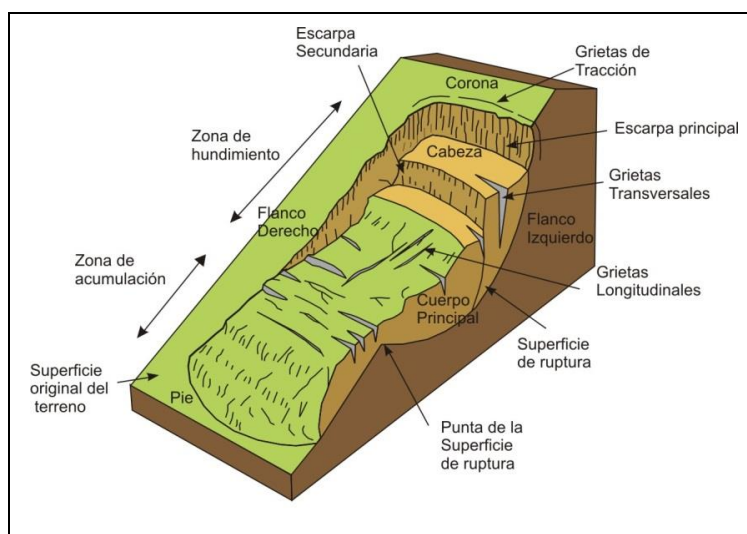


Figura 15. Diagrama de bloque de un deslizamiento

DERRUMBE: Caída violenta de material que se puede dar tanto en macizos rocosos como depósitos de cobertura, desarrollados por: heterogeneidad litológica, meteorización fracturamiento, fuertes pendientes, humedad y/o precipitaciones, sismos y erosión generada en las márgenes.

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. (figura 16)

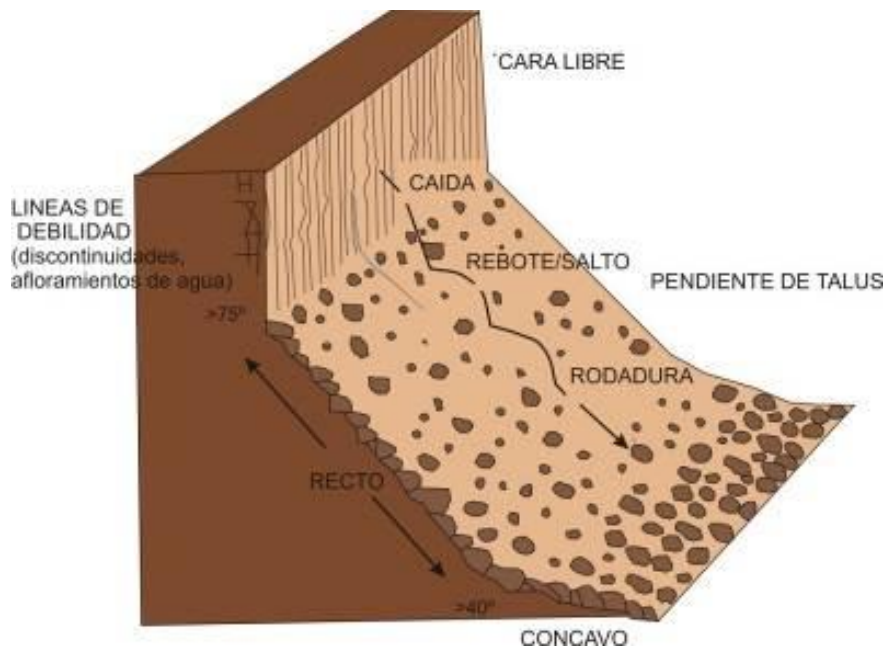


Figura 16 Esquema de Derrumbe (Vílchez 2015)

Otros peligros geológicos

Dentro de esta categoría de peligros se ha identificado:

a.- Erosión de laderas: este tipo de eventos son considerados predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas, que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Gonzalo et al., 2002).

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia, abarca los siguientes procesos:

Saltación pluvial: el impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación ocasiona el arranque y arrastre de suelo fino, el impacto compacta el suelo disminuyendo la permeabilidad e incrementa escorrentía.

Escurrimiento superficial difuso: comprende la erosión laminar sobre laderas carentes de coberturas vegetales y afectadas por saltación pluvial, que estimulan el escurrimiento del agua arrastrando finos.

Escurrimiento superficial concentrado: se produce en dos formas, como surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños), formados cuando el flujo se hace turbulento y la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos o anastomosados; y como cárcavas, que son canales o zanjas más profundos y de mayor dimensión, por las que discurre agua durante y poco después de haberse producido una lluvia. El proceso se da en cuatro etapas: 1) entallamiento del canal, 2) erosión remontante o retrogresivo desde la base, 3) cicatrización y 4) estabilización (Gonzalo *et al.*, 2002), figura 17.

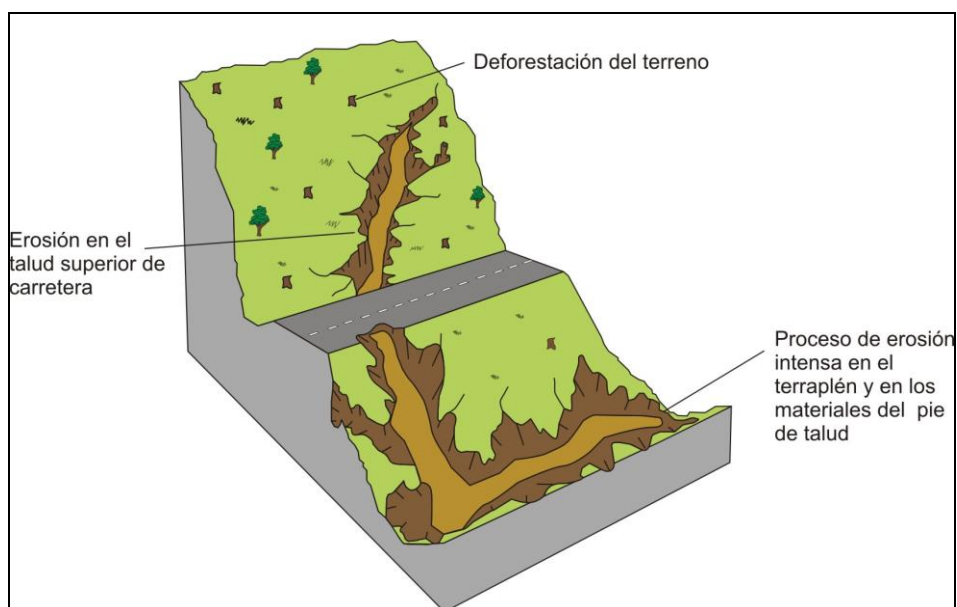


Figura 17. Esquema de erosión de laderas.