



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6967

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS SECTORES PUENTE UPINA Y 40 CURVAS

Región Cusco
Provincia Paruro
Distrito Paruro



NOVIEMBRE
2019

INDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2. ANTECEDENTES | 4 |
| 3. ASPECTOS GENERALES | 5 |
| 3.1. Ubicación y accesibilidad | 5 |
| 3.2. Objetivos | 5 |
| 3.3. Clima | 5 |
| 3.4. Vegetación | 5 |
| 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS | 7 |
| 4.1. Aspectos geomorfológicos | 7 |
| 4.1.1. Pendiente del terreno | 7 |
| 4.1.2. Unidades geomorfológicas | 7 |
| 4.2. Aspectos geológicos | 9 |
| 5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA | 12 |
| 5.1. Conceptos teóricos | 12 |
| 5.2. Deslizamiento del sector Puente Upina | 13 |
| 5.3. Deslizamiento del sector 40 Curvas | 19 |
| 6. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES | 25 |
| 7. MEDIDAS CORRECTIVAS | 27 |
| 7.1. Medidas para deslizamientos, derrumbes y caída de rocas | 27 |
| CONCLUSIONES | 30 |
| RECOMENDACIONES | 31 |
| REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA | 32 |

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS SECTORES PUENTE UPINA Y 40 CURVAS

(Distrito y provincia de Paruro, región Cusco)

RESUMEN

El área de estudio, se ubica en la margen derecha del río Paruro, al noroeste de la provincia de Paruro, en el kilómetro 50 de la carretera Cusco - Paruro. Políticamente pertenece al distrito y provincia de Paruro, región Cusco.

Desde el punto de vista morfológico, se ubica en ladera de montaña sedimentaria; con laderas de pendientes empinadas, que varía entre 25° a 60°, esto facilita el escurrimiento superficial del material suelto disponible en las laderas.

En el área afloran rocas sedimentarias del Cenozoico, correspondiente a las Formaciones Soncco y Paruro, sobre la cual atraviesa la falla Yaurisque. Es importante mencionar que por el sector 40 Curvas, atraviesa una falla normal, paralela a la falla Yaurisque, ello reactivó el deslizamiento del sector 40 Curvas.

Los sectores de Puente Upina y 40 Curvas, vienen siendo afectados por deslizamientos y derrumbes, este último producto del corte al pie de talud para la construcción de la vía interprovincial Cusco-Paruro. Según registro histórico, a inicios del presente, en el kilómetro 23 de la carretera Paruro-Cusco, sector Puente Upina, se reactivó un deslizamiento tipo rotacional. Así mismo en el sector 40 Curvas, se desencadenó un deslizamiento, afectando 300 m aproximadamente del tramo carretero Cusco-Paruro.

Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en los sectores Puente Upina y 40 Curvas están condicionados por: presencia de material de fácil remoción, conformado por bloques subangulosos y rocas sedimentarias con alto grado de meteorización y fuertemente fracturados; ello permite mayor filtración y retención de agua en su cuerpo, acción de las aguas de escorrentía, deforestación de las laderas en ambos sectores. El factor desencadenante para la reactivación del deslizamiento fueron las precipitaciones intensas registradas entre los meses de diciembre a marzo.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presentan los sectores de Puente Upina y 40 Curvas, se les considera como zonas de peligro alto a generar deslizamientos. Con el fin de mitigar los peligros geológicos; se recomienda revestir el canal de riego, ubicado en la parte superior del deslizamiento del sector Puente Upina para evitar mayor infiltración de agua al terreno, evitar la deforestación de árboles, en el sector 40 Curvas sellar las grietas en la carretera y limpiar las canaletas de drenaje de la carretera.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidroclimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica. Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET proporciona una evaluación técnica que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos o la generación de desastres futuros en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

Mediante Oficio N° 279-2019-MPP/A, recibido el 12 de junio del 2019, la municipalidad provincial de Paruro, solicitó una evaluación geológica-geodinámica en los sectores puente Upina y 40 Curvas. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET, comisionó a los profesionales Guisela Choquenaira Garate y Edith Quispe, para realizar la respectiva evaluación técnica.

Para esta evaluación, se realizaron trabajos de recopilación de información, preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos, GPS, cartografía, procesamiento de información y redacción del informe.

2. ANTECEDENTES

Entre los principales estudios realizados en la provincia de Paruro se pueden mencionar:

- El plan de prevención y reducción de riesgo de desastre de la provincia de Paruro al 2021, realiza un análisis geoespacial de peligros geológicos en base a la información recopilada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET. En el informe describe que el distrito de Paruro es afectado principalmente por deslizamientos, caída de rocas y flujo de detritos.
- Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco *Vilchez, M. & Sosa, N. (2014)*, determina 75 zonas críticas, de los cuales 4 zonas son identificadas en la provincia de Paruro. Estas zonas críticas resaltan áreas, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres.
- El boletín de Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco (Benavente et al., 2013), describe la falla Yaurisque, correspondiente al sistema de fallas Casacunca, Acomayo, Langui-Layo. La falla Yaurisque está situada muy próxima al área de estudio, atraviesa secuencias de la formación Soncco, el cual favorece el desplazamiento de la falla.

Es importante mencionar que, en la zona de estudio puntual, no se tiene registro de trabajos anteriores sobre peligros geológicos por movimientos en masa.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y accesibilidad

Los sectores Puente Upina y 40 Curvas se ubican en la margen izquierda del río Paruro, políticamente pertenecen a la comunidad de Aransaya, distrito y provincia de Paruro, región Cusco (figura 1), cuyas coordenadas UTM (WGS 84) son:

- Puente Upina: E: 190221
 N: 8480723
 3409 m s. n. m.
- 40 Curvas : E: 187793
 N: 8481873
 3610 m s. n. m.

La vía de acceso a los sectores Puente Upina y 40 Curvas se realiza tomando la ruta Cusco-Paruro, con un recorrido de 50 km aproximadamente por la vía asfaltada.

Itinerario

| Ruta | Tipo de Vía | km | Tiempo |
|--------------------|---------------|------|------------|
| Cusco-40 Curvas | Vía asfaltada | 49 | 1.30 horas |
| Cusco-Puente Upina | Vía asfaltada | 50.4 | 1.40 horas |

3.2. Objetivos

- a. Evaluar los peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores Puente Upina y 40 Curvas.
- b. Determinar los factores condicionantes y desencadenantes para la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.

3.3. Clima

Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Paruro se caracteriza por presentar un clima Cwb (templado de montaña con invierno seco), con precipitación media anual de 664 mm, las máximas precipitaciones se presentan entre los meses de diciembre a Marzo alcanzando un umbral de 470 mm. La temperatura media anual es de 12.6°C.

3.4. Vegetación

Por sus variaciones de altitud, relieve y clima en la zona predomina árboles, vegetación ribereña, matorral arbustiva

En el área de estudio, la tala indiscriminada de árboles, está acelerando el proceso de reactivación de deslizamientos y derrumbes.

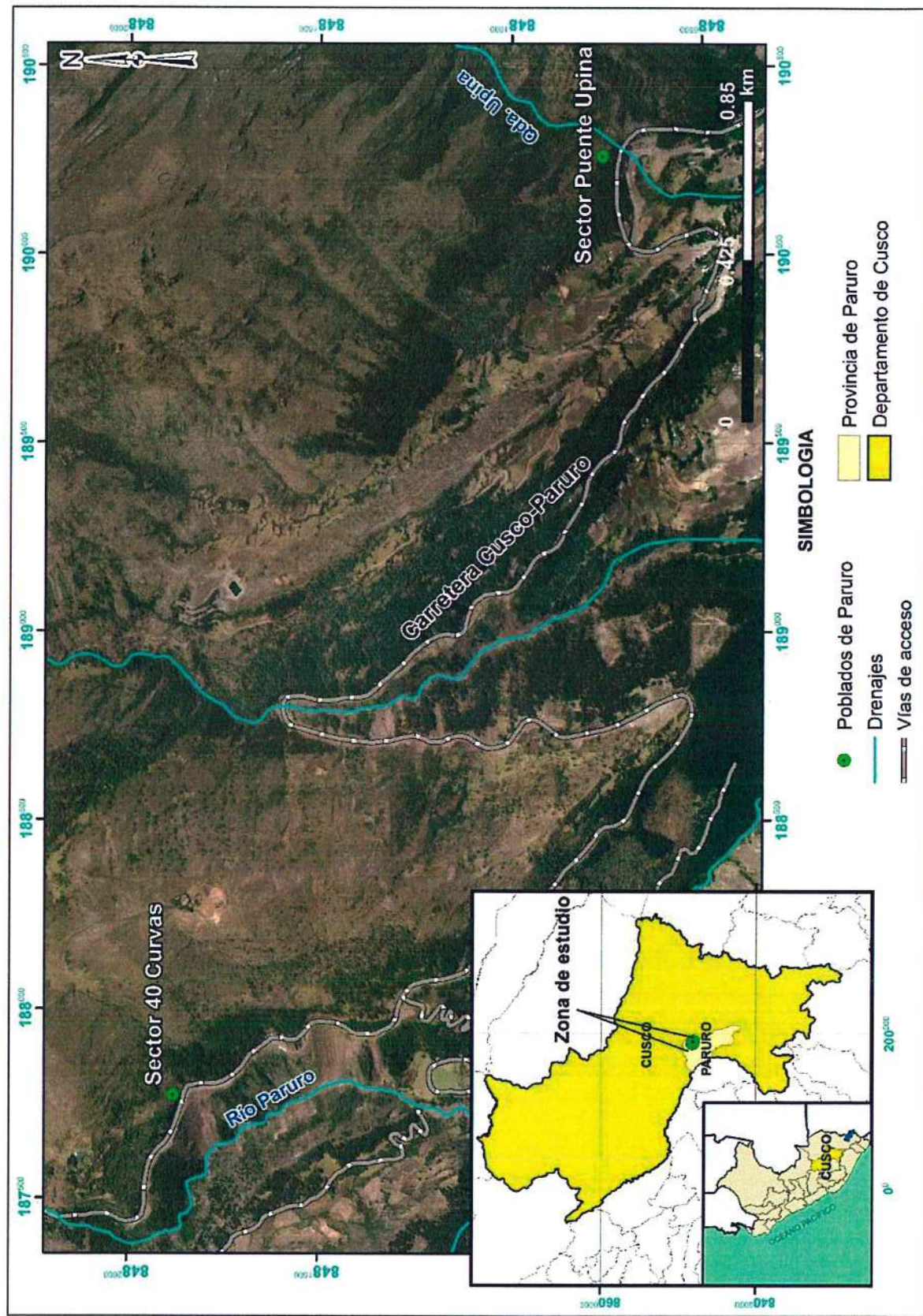


Figura 1. Mapa de ubicación de los sectores Puente Upina y 40 Curvas

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

4.1. Aspectos geomorfológicos

4.1.1. Pendiente del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa. (Suárez 1998).

En la zona de estudio, las laderas de los sectores Puente Upina y 40 Curvas constituyen pendientes fuertes, comprendidas entre 25° a 60° (fotografía 1), el cual facilita el escurrimiento superficial del material suelto disponible en las laderas.

4.1.2. Unidades geomorfológicas

La clasificación geomorfológica en la zona de estudio, se tomó en base a la memoria descriptiva de la región Cusco, elaborado por INGEMMET.

Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional

a. Unidad de montaña

El distrito de Paruro se caracteriza por tener una topografía agreste e irregular, de acuerdo a los rangos altitudinales que presenta, configura en su mayoría montañas altas.

- ✓ **Sub unidad de montaña estructural en roca sedimentaria:** Representada por ladera de montaña sedimentaria con algunos alineamientos producto de las secuencias estratigráficas y fallas geológicas, caracterizado por una topografía accidentada, de cimas alargadas y pendientes predominantemente empinadas.

Geoformas de carácter deposicional y agradacional

b. Unidad de piedemonte

Representadas por acumulación de material proveniente de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas existentes.

- ✓ **Sub unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):** Corresponde a las acumulaciones de ladera, originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes, tipo deslizamientos (fotografía 2), usualmente se depositan en forma convexa.
En varios sectores de la vía interprovincial Cusco-Paruro se evidenció depósitos de deslizamiento.
- ✓ **Sub unidad de vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd):** Son el resultado de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad. En los sectores Puente Upina y 40 Curvas, se encuentran localizados al pie de las laderas.



Fotografía 1. Pendiente del terreno, zona superior a la cabecera del deslizamiento, se observa árboles inclinados a favor de la pendiente



Fotografía 2. Material depositado al pie de ladera empinada, sector Puente Upina

4.2. Aspectos geológicos

Regionalmente, el substrato rocoso, conforma rocas de edad Cenozoica, de naturaleza sedimentaria, (Carlotto et al., 2011). También se tienen depósitos cuaternarios (figura 3).

CENOZOICO

a. Formación Soncco (Peo-so/s):

La Formación Soncco se divide en dos miembros: el Miembro I o inferior (200-300 m) está constituido por arcillitas rojas de llanura de inundación, intercaladas con niveles de areniscas finas. La zona de estudio se ubica en el Miembro II o superior (1000- 2000 m) compuesto por areniscas de grano fino a medio, color marrón rojizo, intercalados con niveles decímetros de arcillitas del Eoceno (figura 2).

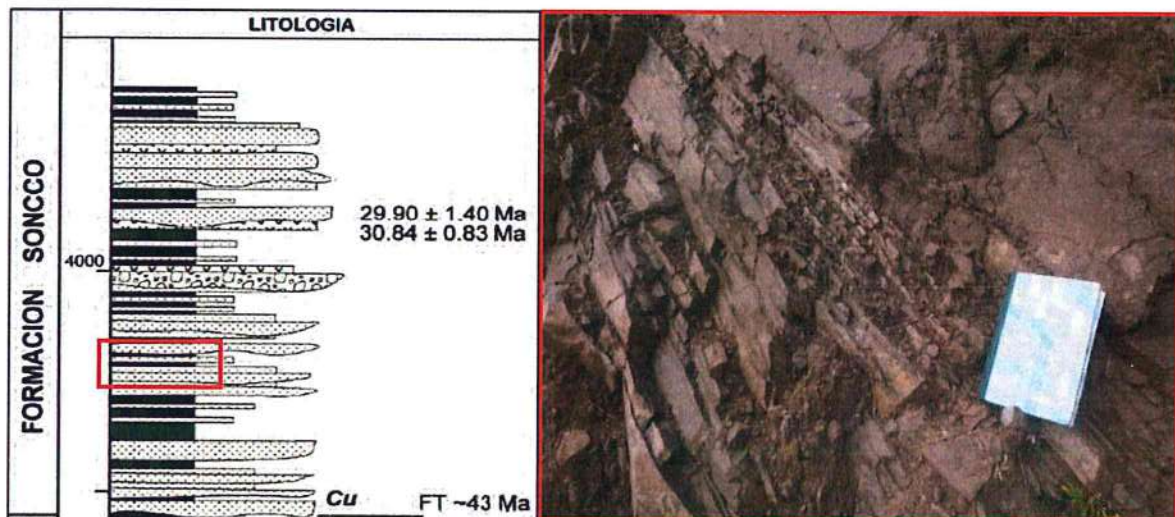


Figura 2. Afloramiento de la Formación Soncco-Miembro II. Se puede asociar al nivel de la columna estratigráfica de la región Cusco (Carlotto et al., 2011).

b. Formación Paruro (Nm-pa/1):

La Formación Paruro aflora en la margen derecha del río Paruro, al frente de la zona de estudio (fotografía 3). Está dividida en dos miembros: el Miembro I (365-700 m) está compuesto por lutitas y limolitas lacustres, areniscas fluviales y algunos conglomerados fluviales. El Miembro II (800- 1000 m) está en discordancia progresiva sobre el Miembro I, formado casi exclusivamente por conglomerados de conos aluviales que constituyen una secuencia grano-estrato creciente (Jaimes et al., 1996) que indica la progradación desde el sur asociado al sistema de fallas Yaurisque-Papres.

DEPÓSITOS SUPERFICIALES (RECIENTES)

c. Depósitos coluviales (Qr-col):

En el área de estudio, estos depósitos se encuentran localizados al pie de las laderas, situados en la margen izquierda de la carretera Cusco-Paruro, sobre todo en los cortes al pie del talud para la construcción de carretera referida.

Están constituidos por gravas y bloques subangulosos a angulosos, con una matriz arcillo-limosa, poco o nada consolidados (fotografía 4).

d. Depósitos fluviales (Qr-fl):

Forman parte del curso actual del río Paruro, se identificaron bloques, gravas, arenas y limos, con formas redondeadas a subredondeadas, periódicamente son acarreadas por el curso del río en épocas de crecida.



Fotografía 3. Vista de la Formación Paruro



Fotografía 4. Material depositado al pie de talud

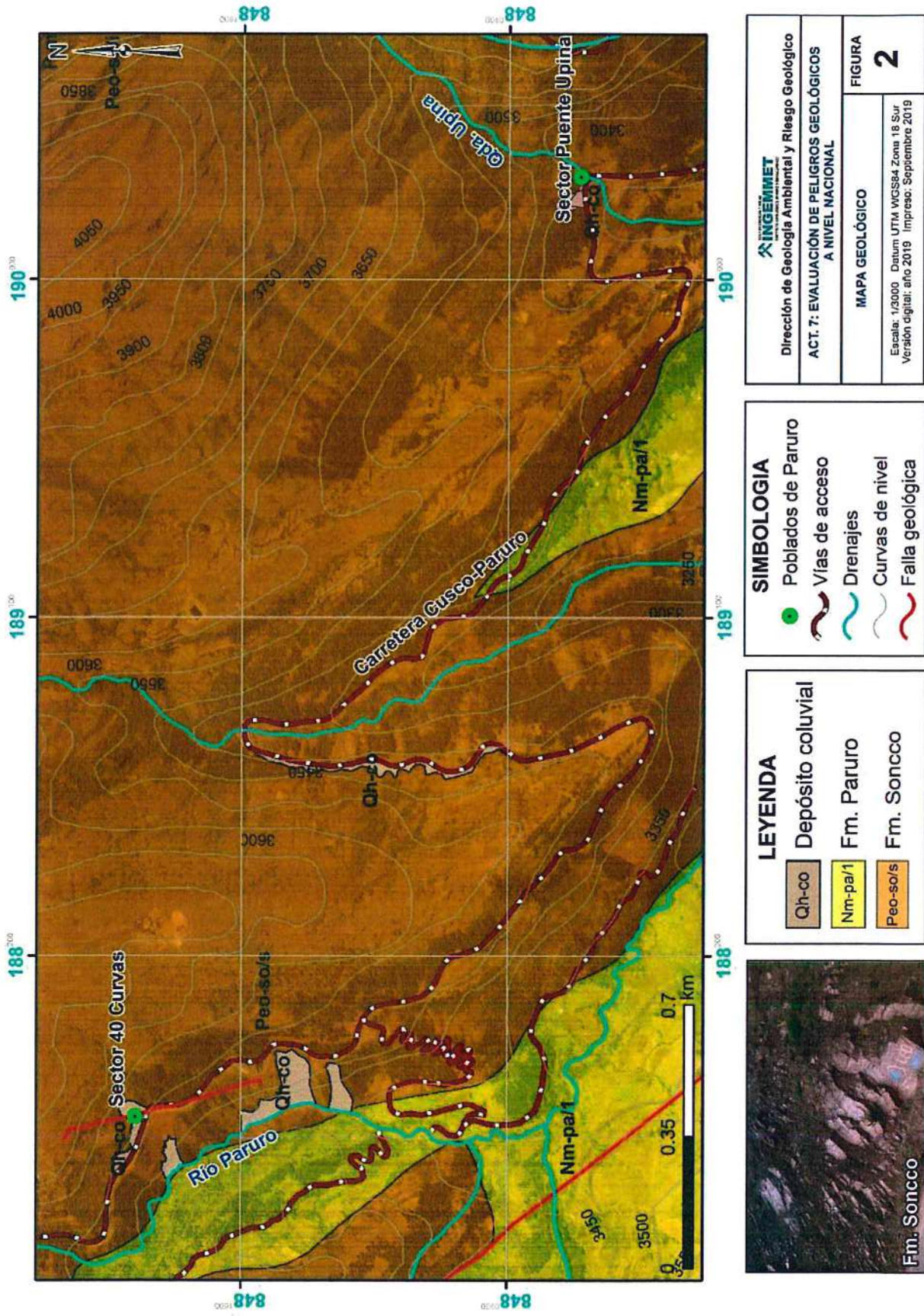


Figura 3. Mapa geológico de los sectores Puente Upina y 40 Curvas. Modificado de Carlotto et al., 2002

5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

La evaluación geológica geodinámica insitu, permitió determinar, que los sectores Puente Upina y 40 Curvas vienen siendo afectados por procesos de deslizamientos tipo rotacional y traslacional respectivamente.

5.1. Conceptos teóricos

El término movimientos en masa es el desplazamiento ladera abajo de grandes volúmenes de masas de rocas, detritos o suelo por efectos de gravedad, su origen obedece a procesos geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, químicos y mecánicos en la corteza terrestre. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos geodinámicos es alta en todas las laderas naturales y artificiales, con velocidad de movimiento de muy lentos a extremadamente rápidos. (PGA: GCA, 2007).

a. Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas (figura 4) de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud" (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes y bloqueo de ríos.

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suárez J., 2009).

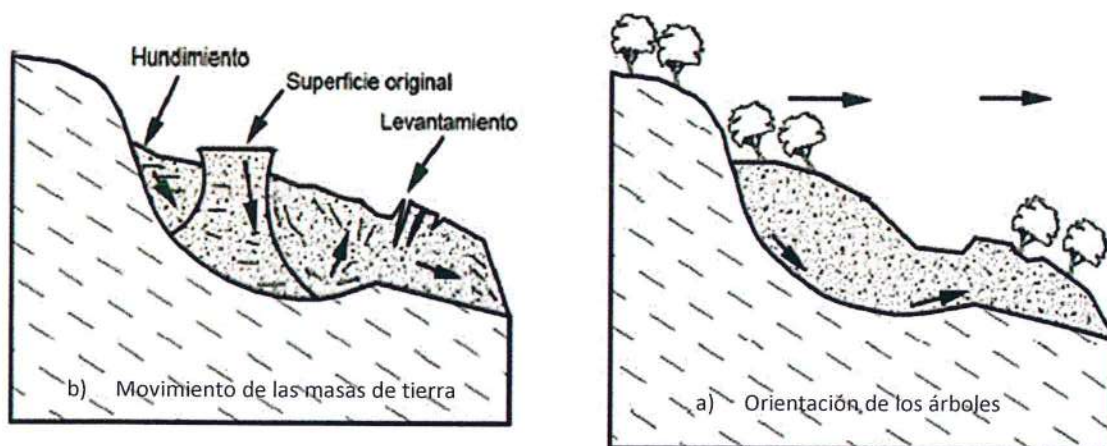


Figura 4. Deslizamiento rotacional típico. Fuente Suárez J., 2009.

5.2. Deslizamiento del sector Puente Upina

Deslizamiento 1 (D1):

El sector Puente Upina, se ubica al NO del distrito de Paruro; margen izquierda del río Paruro.

El corte de talud para la construcción de la vía interprovincial Cusco-Paruro, coadyuvado por la presencia de precipitaciones pluviales intensas registradas entre los meses de diciembre a marzo han incrementado y reactivado procesos de deslizamientos y derrumbes en el kilómetro 23 de la carretera Paruro-Cusco, sector Puente Upina, en un tramo de 300m aproximadamente, que vienen ocurriendo desde hace años como se muestra en el mapa de inventario de peligros geológicos (figura 11).

El deslizamiento 1 (D1), denominado en este sector, presenta un escarpe semicircular, con longitud de 40 m de escarpe y desnivel entre escarpe y pie del deslizamiento de 60 m, producido en substrato rocoso, constituido por areniscas de grano medio, color morrón rojizo (figura 5).

Así mismo, es importante mencionar que, a 30 m aproximadamente del escarpe del deslizamiento se identificó un canal de riego sin revestir, el mismo que está originando mayor infiltración de agua al suelo, observándose zonas húmedas en el escarpe del deslizamiento (fotografía 5).

La actividad retrogresiva del deslizamiento afectó 18 m de la zanja de coronación construida en la parte superior de la corona. Cabe mencionar que en ambos flancos del deslizamiento aún se conserva el canal de drenaje superficial (fotografía 6).

Las grietas tensionales originadas en la parte superior del escarpe presentan longitudes de 3 m en promedio, profundidad 1.8 m y la separación del agrietamiento varía entre 0.3 - 0.5 m.

En la parte superior del escarpe del deslizamiento, se observó árboles inclinados a favor de la pendiente, alguna de ellos a punto de ceder cuesta abajo, debido a la pérdida de estabilidad del terreno.

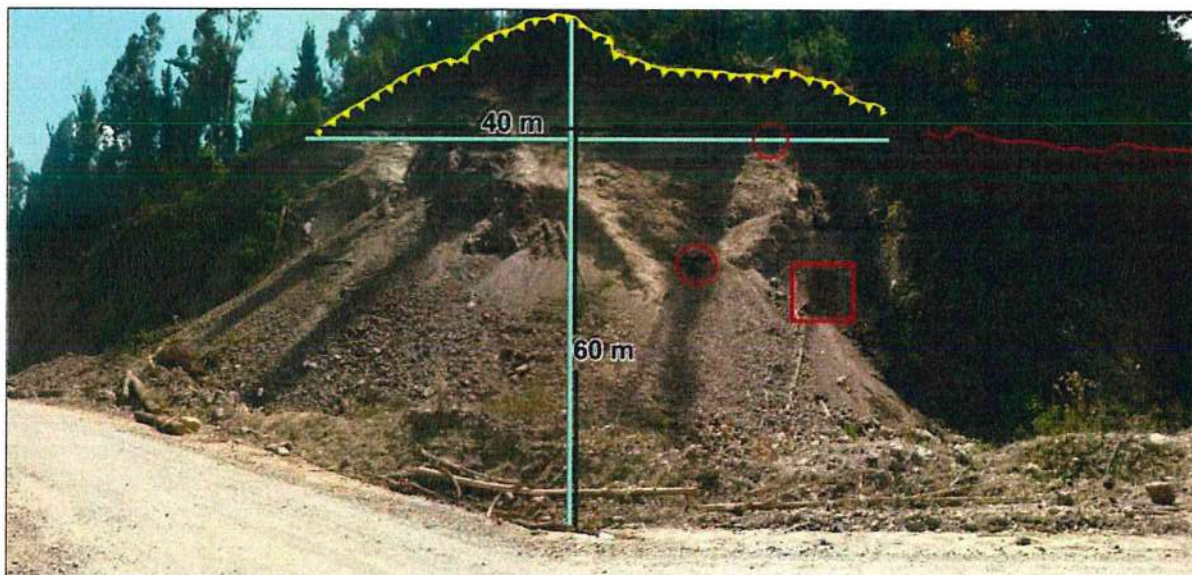


Figura 5. Vista frontal del deslizamiento rotacional 1 (D1) del sector puente Upina



Fotografía 5. Vista de zonas húmedas en el cuerpo del deslizamiento, producto de infiltración de agua



Fotografía 6. Canal de drenaje, situado en el flanco derecho del deslizamiento, el canal aún se mantiene conservado

Deslizamiento 2 (D2):

La infiltración de agua del canal de riego sin revestir, dejó el terreno húmedo y susceptible a generar movimientos en masa.

Según indican los pobladores, en el mes de mayo, se reactivó nuevamente, la actividad retrogresiva del deslizamiento, generó un escarpe de forma semicircular de 55 m longitudinales y salto de desplazamiento de hasta 3 m (figura 6).

Además se presenta agrietamientos longitudinales y transversales en el cuerpo de deslizamiento con dimensiones longitudinales de 2 a 3 m en promedio y con aperturas de 0.3 - 0.6 m (figura 7a y 7b); lo cual ha generado la inclinación de árboles a favor de la pendiente.

Del mismo modo, en el flanco izquierdo se presenta escarpes y saltos de hasta 3.5 m (figura 8), a lo largo de laderas expuestas en substratos rocosos, constituidos por areniscas de mediano a alto grado de fracturamiento y buzamiento principal a favor de la pendiente.

A diferencia del flanco derecho, las laderas están constituidos por depósitos inconsolidados de gravas marrón rojizas, los cual se encuentra muy húmedos (figura 9).

En la parte superior del flanco derecho se evidenció desplazamiento de 10 cm y agrietamientos longitudinales (figura 10a y 10b), infiriendo que el deslizamiento continúa con avance retrogresivo.



Figura 6. Vista del salto en la corona del deslizamiento reactivado

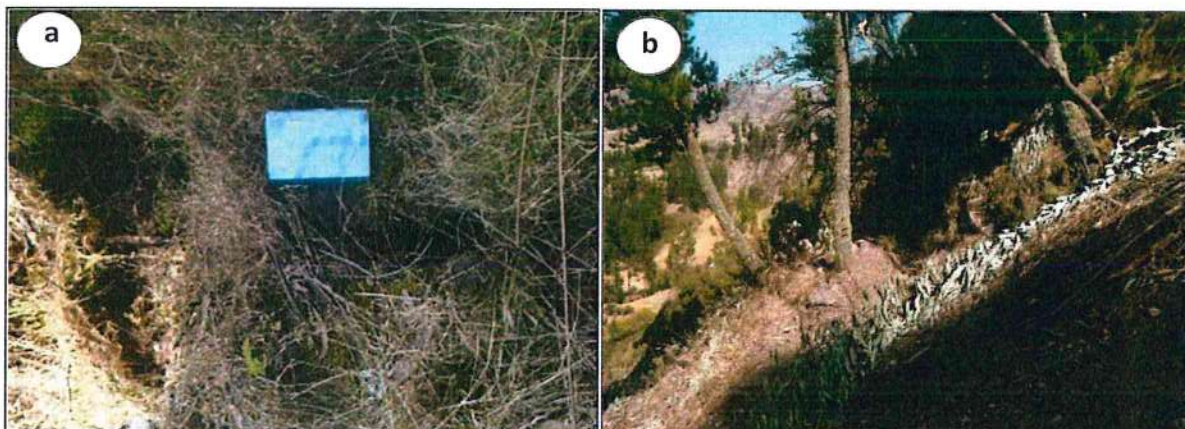


Figura 7. a) Agrietamientos longitudinales en el cuerpo del deslizamiento. b) Árboles inclinados a punto de caer cuesta abajo

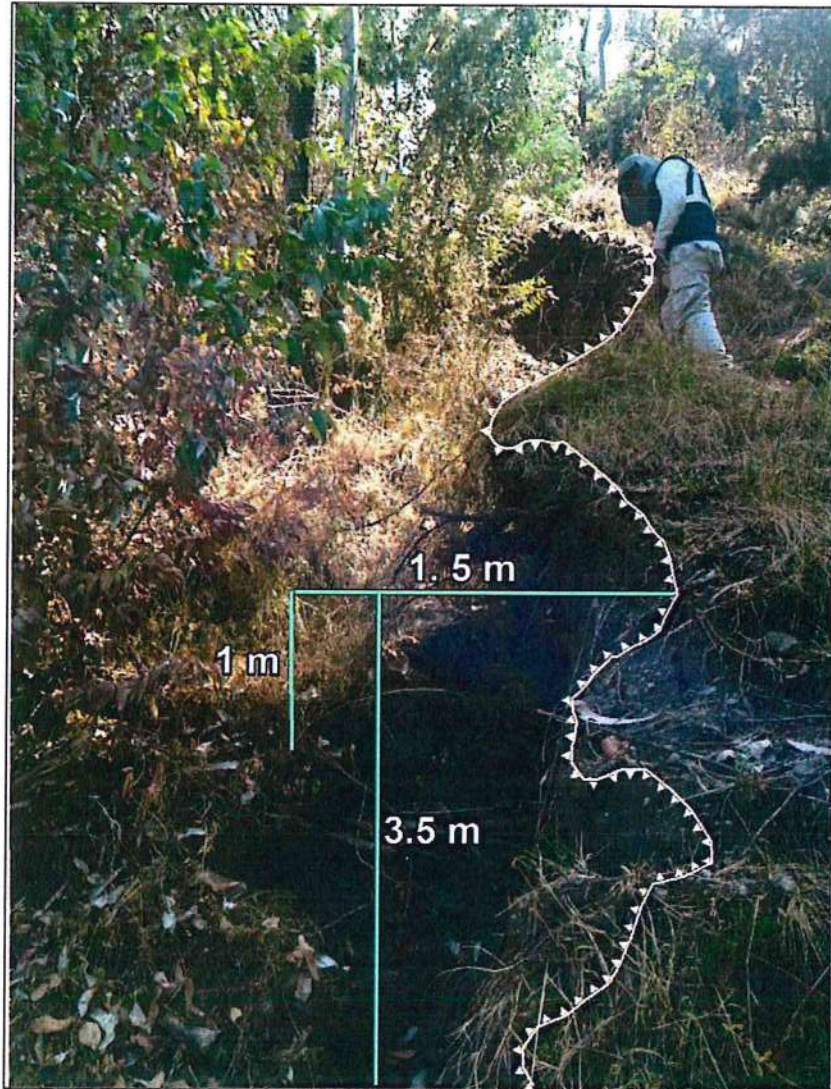


Figura 8. Flanco izquierdo del deslizamiento

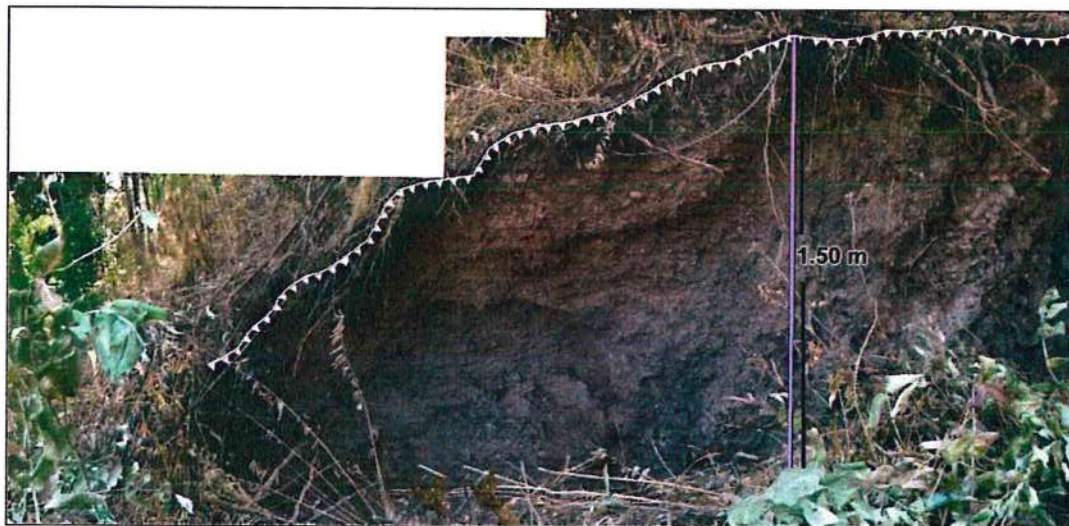
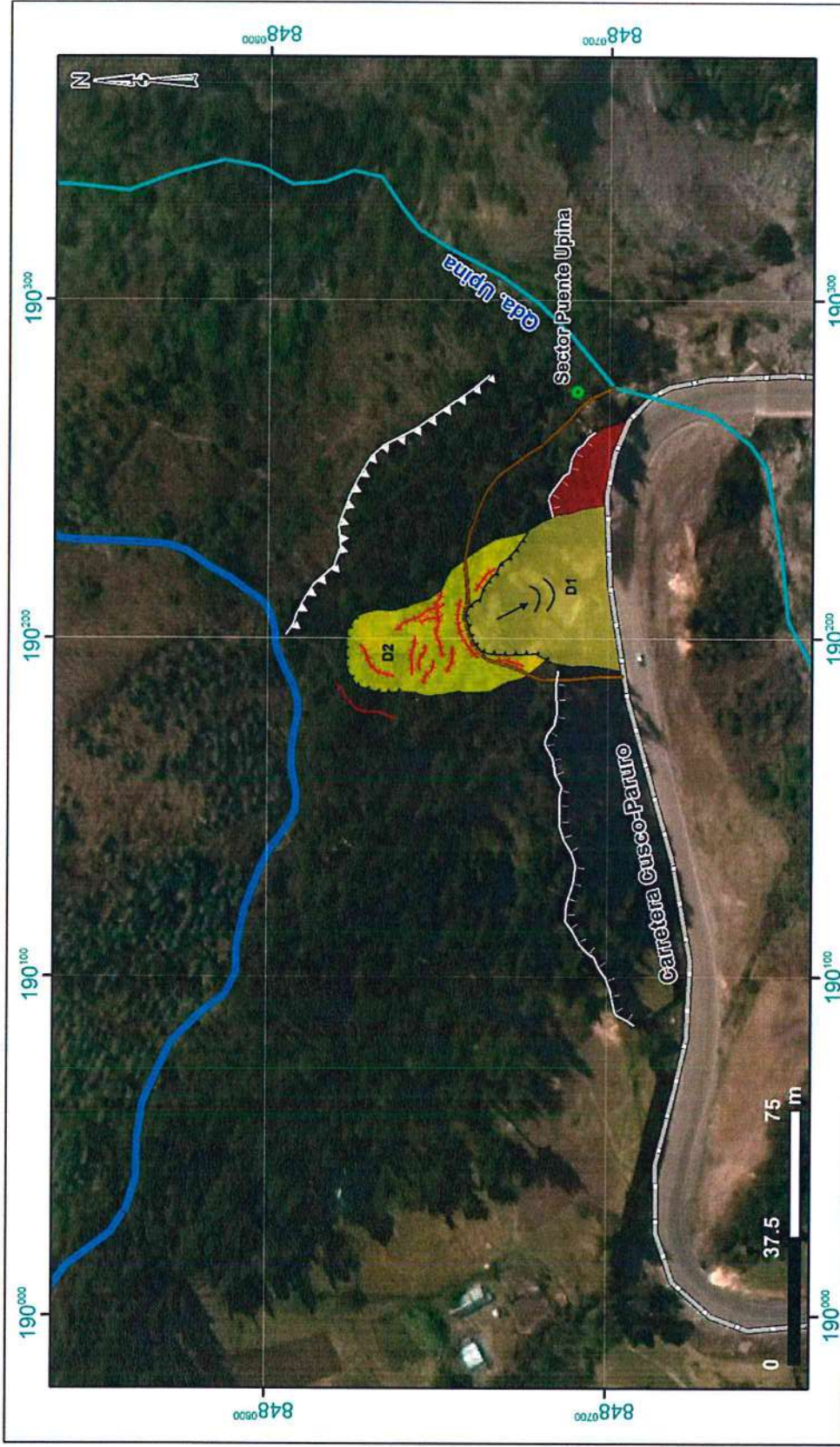


Figura 9. Flanco derecho del deslizamiento reactivado



Figura 10. Escarpe del flanco derecho (deslizamiento rotacional reactivado), muestra un salto de 1.5 m. a) Zona de agrietamientos en el cuerpo del deslizamiento b) Desplazamientos en la parte superior del escarpe



LEYENDA

- Deslizamiento 1
- Deslizamiento 2
- Derrumbe

SIMBOLOGIA

- Zona de estudio
- Escarpe
- Zanja de Coronación destruida
- Canal de drenaje conservado
- Agrietamientos
- Canal de riego
- Qda. Upina
- Via interprovincial

INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
ACT. 7: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS

FIGURA 11

Escala: 1:2000 Datum UTM WGS84 Zona 19 Sur
Versión digital: año 2019 Impreso: Noviembre 2019

Figura 11. Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Puente Upina

5.3. Deslizamiento del sector 40 Curvas

El deslizamiento del sector 40 Curvas, se desarrolla a lo largo de ladera empinada, al sureste del cerro Puncullo, margen derecha del río Paruro como se presenta en el Figura 14.

Las características litológicas (constituida por areniscas de grano medio, color marrón rojizo, con niveles de arcillitas intensamente fracturadas y con mediana a alto grado de meteorización, fotografía 7), topográficas y morfológicas de la zona, aunadas a la deforestación, tala indiscriminada de árboles y alternancia de rocas de diferente competencia, se convergen y condicionan la ocurrencia de deslizamientos que presentan tres niveles de escarpes, cuya masa deslizada abarca un área de 17 140.18 m² y un volumen 171 401.8 m³ aproximadamente, que impacta y afecta 300 m de la carretera Cusco-Paruro.

El escarpe principal de forma recta, presenta 140 m de longitud, con salto discontinuo que varía de 2 a 5 m (fotografía 8), la longitud de escarpe al pie del deslizamiento es de 80 m; además se observa bloques de 5 m de diámetro, desplazados por el deslizamiento y que continúan cayendo en el sector, ello pone en riesgo a leñadores que vienen trabajando en los alrededores (figura 12).

Además, cabe Indicar que por parte del cuerpo del deslizamiento atraviesa una falla secundaria, paralela a la falla Yaurisque. En este punto los estratos del flanco derecho buzanan en contra de la pendiente, 45° SE; mientras que en la parte central del deslizamiento los estratos se disponen de forma casi horizontal, con buzamiento 20° NS. Es importante resaltar, que el buzamiento de los estratos en contra de la pendiente, está reteniendo el material desplazado del deslizamiento reactivado (fotografía 9).



Fotografía 7. Vista de roca sedimentaria altamente fracturada



Fotografía 8. Escarpe principal del deslizamiento traslacional

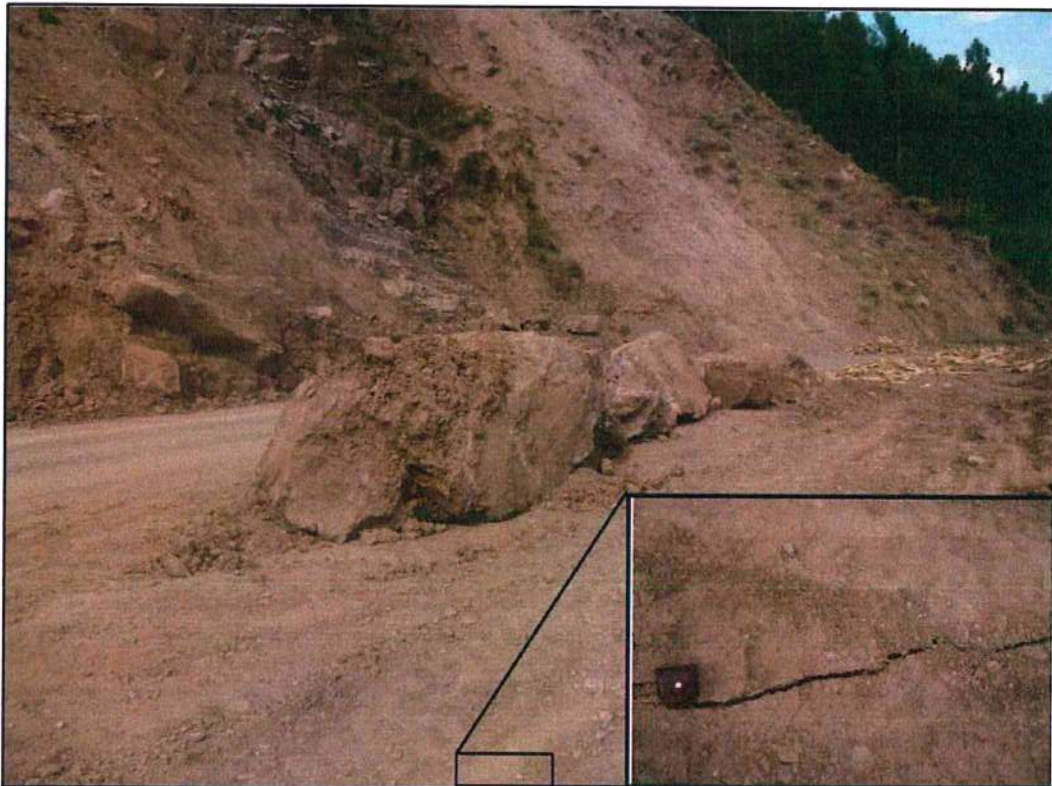


Figura 12. Bloques de roca sedimentaria desplazados por el deslizamiento, en el marco negro se observa agrietamientos formados en la margen derecha de la carretera



Fotografía 9. Plano frontal del deslizamiento, muestra tres niveles de escarpe

Adyacente al deslizamiento, se tiene zona de derrumbes, ello a partir del corte al pie de talud para la construcción de la carretera Cusco-Paruro; presentándose bloques sueltos suspendidos (fotografía 10) y algunos surcos de erosión de laderas.



Fotografía 10. Zona de derrumbes, se observan bloques sueltos suspendidos

Al NO del sector 40 Curvas, la falla normal reactivó el deslizamiento traslacional, dejando el terreno craquelado (fotografía 11). La actividad retrogresiva del deslizamiento generó un escape de forma elongada, con salto de 1 m en la corana (fotografía 12).

En el cuerpo del deslizamiento, se observaron agrietamientos longitudinales de 10 m de longitud en promedio. En la parte superior se observó agrietamientos transversales (figura 13).



Fotografía 11. Deslizamiento reactivado producto de la falla que atraviesa rocas de la Formación Soncco. Se observa el terreno muy craquelado



Fotografía 12. Escape del deslizamiento reactivado



Figura 13. Agrietamientos tensionales, ubicados en el cuerpo del deslizamiento reactivado a) Zona de agrietamientos en el flanco izquierdo del deslizamiento b) Agrietamientos en el cuerpo del deslizamiento, se formaron tipo basculamiento c) Cabecera del deslizamiento reactivado, muestra salto de 0.5 m d) Escarpe del deslizamiento reactivado

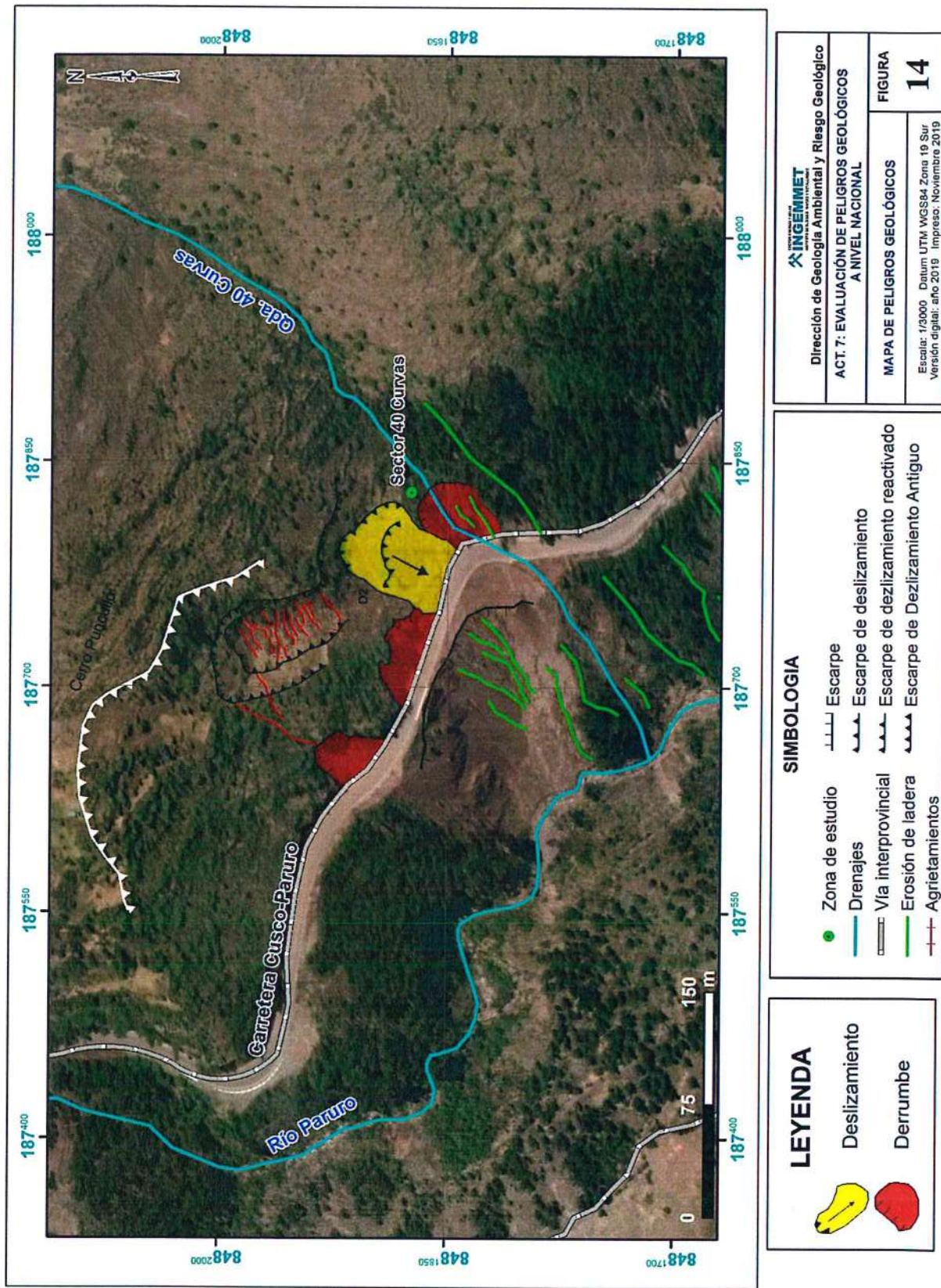


Figura 14. Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector 40 Curvas

6. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

Factores condicionantes

Factor litológico y estructural

- Substrato rocoso de mala calidad e incompetencia en alternancia de areniscas y niveles de lutita, correspondiente a la Formación Soncco, muy fracturado y diaclasadas
- Presencia y naturaleza del suelo incompetente, de fácil erosión-remoción ante intensas precipitaciones pluviales.
- Presencia e incidencia de falla geológica normal, correspondiente al sistema de fallas Casacunca, Acomayo, Langui-Layo, paralela a la falla Yaurisque a lo largo de la zona de estudio

Factor geomorfológico

- La morfología de montañas y laderas, tiene gran influencia en la ocurrencia de procesos por remoción en masa, como deslizamientos, derrumbes y caída de rocas.
- La pendiente empinada (>25°) que constituyen las laderas de los sectores Puente Upina y 40 Curvas favorecen la ocurrencia de procesos por remoción en masa.

Actividad antrópica

- Corte de talud para la construcción de la carretera interprovincial Cusco-Paruro
- Presencia de canal de riego sin revestir e inadecuado sistema de riesgo (fotografía 13) e infiltración de agua en el terreno
- Deforestación y tala indiscriminada en las laderas de los sectores Puente Upina y 40 Curvas (fotografía 14).

Factores desencadenantes

Factor climático-precipitaciones

- Precipitaciones excepcionales e intensas ocurridas entre los meses de diciembre a marzo del presente año, con registros críticos umbrales de 470 mm en promedio, consideradas intensas y frecuentes (según Koppen y Geiger)



Fotografía 13. Deforestación indiscriminada de árboles en las laderas del sector Puente Upina



Fotografía 14. Canal de riego sin revestir de la comunidad de Aransaya, está generando infiltración de agua al terreno, dejándolo húmedo y muy susceptible a la reactivación de deslizamientos

7. MEDIDAS CORRECTIVAS

7.1. Medidas para deslizamientos, derrumbes y caída de rocas

Las medidas correctivas se deben emplear tomando en cuenta el tipo de peligro geológico, así como la valorización de los diferentes parámetros, sean de tipo constructivo o económico.

a. Corrección por modificación de la geometría del talud

Cuando un talud es inestable o su estabilidad es precaria se puede modificar su geometría con la finalidad de obtener una nueva disposición que resulte estable. Esta modificación busca lograr al menos uno de los dos efectos siguientes:

- Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa.
- Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura.

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento y lo segundo incrementando el volumen en el pie del mismo.

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

- Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.
- Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.
- Construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente.
- El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud, pudiéndose estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta además como un elemento resistente propiamente dicho.
- Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe siempre drenar, en caso contrario su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno con drenaje y el material del talud, para ello puede recurrirse al empleo de membranas geotextiles.

Tratamiento de taludes con escalonamiento: Es una medida que puede emplearse cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes de que este se produzca. Su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud, retiene las caídas de fragmentos de roca; y si se coloca en ellos zanjas de drenaje entonces se evacuará las aguas de escorrentía, disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales (figura 15).

Este escalonamiento se suele disponer en taludes de roca, sobre todo cuando la meteorización puede ser intensa y cuando es importante evitar las caídas de fragmentos de roca, como es el caso de los taludes ubicados junto a vías de transporte.

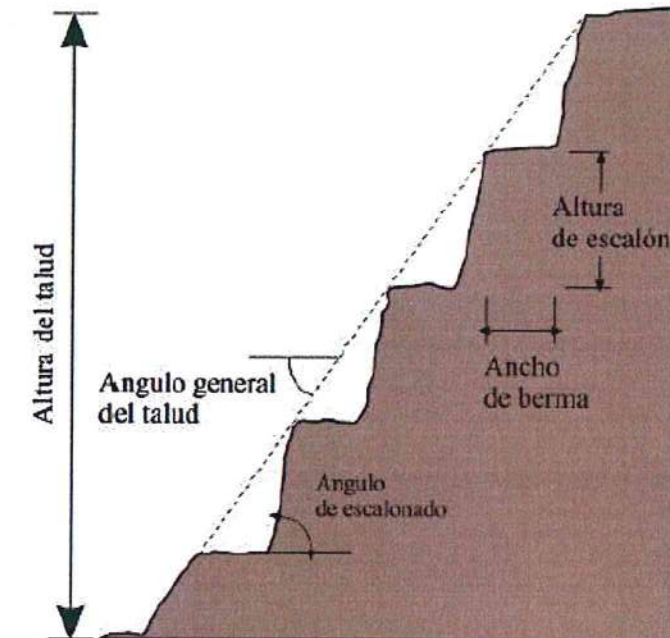


Figura 15. Esquema de un talud con bermas intermedias

b. Corrección por elementos resistentes

Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 16).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie. 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.

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.

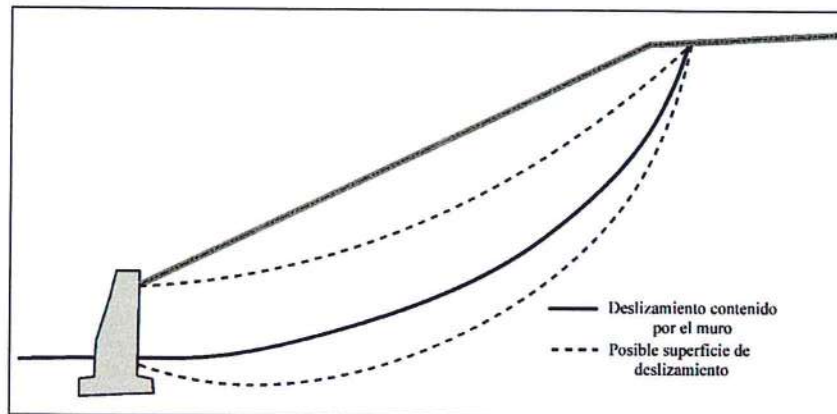


Figura 16. Contención de un deslizamiento mediante un muro

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (figura 17).

- 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.

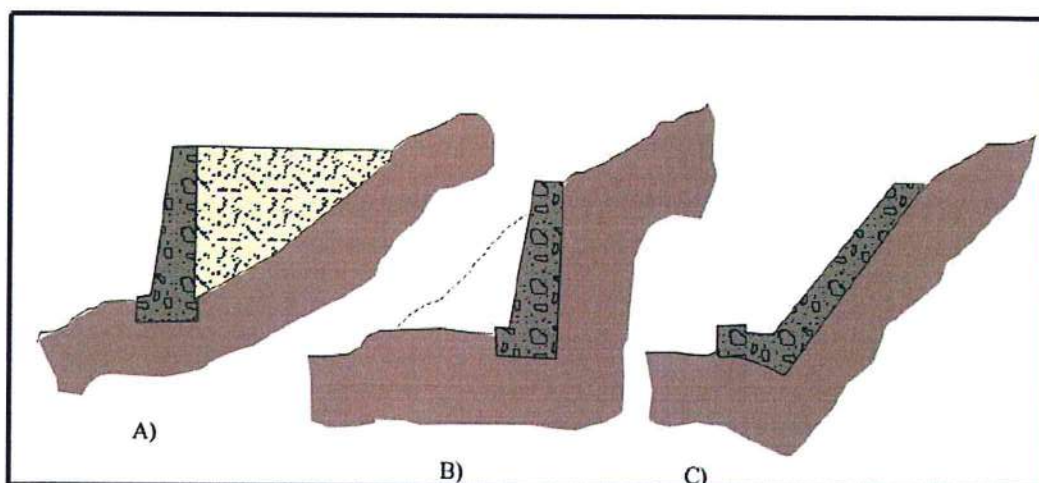


Figura 17. a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento

CONCLUSIONES

1. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presentan los sectores de Puente Upina y 40 Curvas, se les considera como zona de **peligro muy alto** por deslizamientos y derrumbes.
2. En el sector Puente Upina, se reactivó un deslizamiento rotacional, con dos niveles de escarpe y cuya masa deslizada afectó 300 m del tramo carretero Cusco – Paruro. A diferencia del sector 40 Curvas, donde se originó un deslizamiento traslacional, diferenciado en tres niveles de escarpe y cuya masa deslizada afectó 200 m del tramo carretero Cusco – Paruro.
3. Por el cuerpo del deslizamiento del sector 40 Curvas atraviesa una falla normal, paralela a la falla Yaurisque, el cual desencadenó su reactivación.
4. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en los sectores Puente Upina y 40 Curvas están condicionados por:
 - a) Presencia de material de fácil remoción, conformado por bloques subangulosos, inmersos en arena limo arcillosa, color marrón rojizo y rocas sedimentarias con alto grado de meteorización y fuertemente fracturado; ello permite mayor filtración y retención de agua en su cuerpo, el cual lo hace inestable.
 - b) Laderas con pendientes entre 25° a 60°, permite que el material suelto disponible se erosione y remueva fácilmente.
 - c) Acción de las aguas de escorrentía.
 - d) Existencia de una falla geológica, paralela a la falla Yaurisque.
 - e) Deforestación de árboles en las laderas de los sectores Puente Upina Y 40 Curvas.
 - f) El factor desencadenante para la reactivación del deslizamiento fueron las precipitaciones intensas registradas entre los meses de diciembre a marzo.

RECOMENDACIONES

1. Revestir el canal de riego, ubicado en la parte superior del deslizamiento del sector Puente Upina, para evitar mayor infiltración de agua al terreno.
2. Evitar la deforestación en las laderas de los sectores Puente Upina y 40 Curvas.
3. En el sector 40 Curvas, sellar las grietas formadas en la carretera y limpiar las canaletas de drenaje de la carretera.
4. Evitar el vertimiento de material de desmonte en zonas susceptibles a movimientos en masa
5. Evitar el paso peatonal cerca a los deslizamientos en ambos sectores.
6. Realizar monitoreo en ambos deslizamientos por un especialista.
7. Realizar estudios detallados en el deslizamiento del sector 40 Curvas, con el fin de evaluar a detalle la falla geológica que atraviesa el deslizamiento.
8. Implementar medidas correctivas de estabilización del deslizamiento 40 Curvas, previo estudio geotécnico.



.....
Ing. SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- **Carlotto, V., Cárdenas J., Carlier G. (2011).** Geología deL cuadrángulo Cusco. Hojas 28-s. Boletín N° 138. Serie A: Carta Geológica Nacional.
- **Corominas, J., y Yague, A., (1997).** Terminología de los Movimientos de Laderas
- **Cruden, D., y Varnes, D. (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.
- **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.
- **Suárez, J. (1996).** Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Capítulo uno, los Deslizamientos
- **Vilchez M. (2015).** Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la región Cusco, informe Técnico Geología Ambiental – Ingemmet. Informe Preliminar.