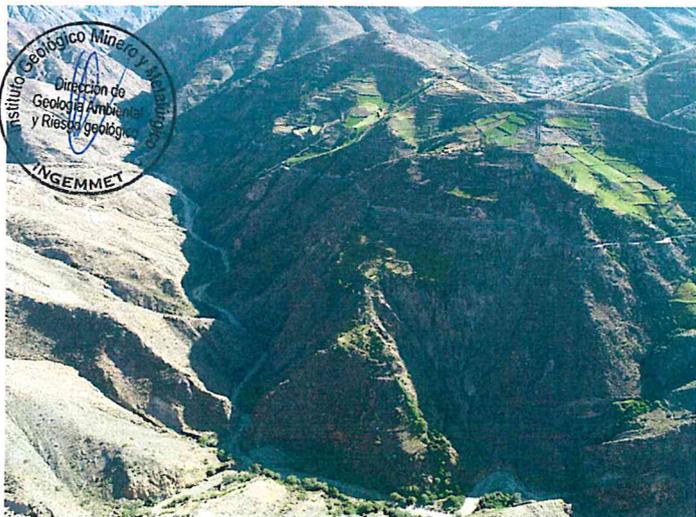


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A6953**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DEL CAÑÓN DE HUASAMAYO

Región Arequipa  
Provincia Caylloma  
Distrito Lluta



NOVIEMBRE  
2019

## CONTENIDO

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1 Metodología de trabajo.....	2
1.1 Objetivo del estudio.....	2
3. GENERALIDADES.....	3
2.2 Ubicación y accesibilidad .....	3
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS .....	4
4.1 Unidades Litoestratigráficas.....	4
4.2 Unidades Geomorfológicas.....	7
5. PELIGROS GEOLÓGICOS .....	11
4.1 Deslizamiento - concepto .....	11
4.2 Caídas o desprendimientos de rocas - concepto .....	12
4.3 Colapsos o derrumbes - concepto .....	13
4.4 Erosión de laderas (Cárcavas) - concepto .....	13
6. PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR HUASAMAYO .....	14
5.1 Deslizamientos Antiguos en el sector Huasamayo .....	14
5.2 Deslizamientos Actuales en el sector Huasamayo .....	16
5.3 Caída de rocas en el sector Huasamayo.....	23
5.4 Derrumbes en el sector Huasamayo .....	25
5.5 Erosión de laderas (cárcavas) en el sector Huasamayo.....	25
5.6 Mapa de peligros geológicos del sector Huasamayo .....	26
7. MEDIDAS PARA DESLIZAMIENTOS, DERRUMBES Y CAÍDAS DE ROCAS .....	28
CONCLUSIONES.....	38
RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	40

## 1. RESUMEN

El informe de inspección contiene datos de observaciones realizadas en el sector cañón de Huasamayo, ubicados en el distrito de Lluta, Caylloma, departamento de Arequipa

En el área de estudio afloran rocas del Grupo Yura, así como de las Formaciones Murco (Ki-mu) y Arcurquina (Kis-ar). Las unidades geomorfológicas identificadas en las zonas de estudio son montañas y colinas que incluyen las siguientes subunidades de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs), montañas y colinas en rocas sedimentarias (RMC-rs), así como, colinas y lomadas en roca sedimentaria (RCL-rs)

Los peligros geológicos identificados en las zonas evaluadas están condicionados por la naturaleza litológica de la zona, la pendiente de las laderas, la configuración geomorfológica. Los peligros geológicos identificados son deslizamientos, caídas o desprendimientos de rocas, colapsos o derrumbes y erosión de laderas (Cárcavas)

De acuerdo a la evaluación de peligros geológicos, el fenómeno más recurrente y de mayor afectación en el sector de cañón de Huasamayo son los deslizamientos. El sector cañón de Huasamayo es muy susceptible a la ocurrencia de deslizamientos de ladera que se originan en el valle del río Huasamayo, por lo tanto, es una zona crítica de peligro inminente ante la crecida del río Huasamayo y ocurrencia de lluvias intensas.

En el sector cañón de Huasamayo, los peligros geológicos identificados, están condicionados por la naturaleza litológica de la zona, la pendiente de las laderas, la configuración geomorfológica y la presencia de materiales de remoción antigua de eventos antiguos reactivados.

## 2. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por fenómenos geológicos que pudiera desencadenar en desastres. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines, y reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

La Asociación de agricultores damnificados por la ejecución del proyecto de irrigación Majes-Siguas, en el sector del cañón de Huasamayo de la municipalidad distrital de Lluta, provincia Caylloma, región Arequipa, mediante solicitud de fecha 12 de noviembre de 2018, dirigido al Presidente ejecutivo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, solicita se realice un estudio de peligros geológicos en el sector en mención. El Director de Geología

Ambiental y Riesgo Geológico designó a los ingenieros Jessica Vela y Yhon Soncco, para realizar dicha inspección geológica.

Este documento presenta las observaciones geológicas, geomorfológicas, y de peligros geológicos, en el sector del cañón de Huasamayo, distrito Lluta, provincia Caylloma, región Arequipa.

## **2.1 Metodología de trabajo**

La metodología para la elaboración del presente informe consta básicamente de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y gabinete, las cuales se describen abajo. El desarrollo del informe inició con una salida de campo a la zona de estudio el 29 de abril del 2019, como parte de trabajos de geología en campo durante 3 días. El desarrollo del presente estudio culminó con la redacción del informe en julio del 2019.

### **2.1.1. Recopilación bibliográfica y trabajos de gabinete**

Recopilación de recursos bibliográficos de estudios anteriores realizados en la zona de estudio. Se elaboraron mapas de fotointerpretación, para ello se utilizaron imágenes satelitales Rapid-Eye y Landsat del año 2018.

### **2.1.2. Trabajos de campo**

El trabajo de campo se hizo en una campaña de 3 días. El trabajo de campo consistió en realizar un cartografiado a detalle de peligros geológicos. Además, se realizaron trabajos de fotogrametría a través de sobre vuelos con dron, para la obtención de fotografías panorámicas, además, de un DEM.

### **2.1.3. Trabajo de gabinete**

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en la elaboración de un mapa de peligros geológicos en los sectores cañón de Huasamayo, estos se trabajaron en un DEM de 7 cm de celda. Los trabajos culminaron con la redacción del informe técnico.

## **1.1 Objetivo del estudio**

El presente trabajo tiene como objetivo:

Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que podrían afectar la zona de estudio.

Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros.

Es importante mencionar que el INGEMMET a través de esta evaluación de peligros geológicos contribuirá a la evaluación de riesgos geológico (EVAR) integral, competencia del CENEPRED, donde incluye los aspectos de vulnerabilidad.

### 3. GENERALIDADES

#### 2.2 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se localiza en el distrito de Lluta, provincia de Caylloma, región Arequipa. Se encuentra a 31 km al sureste del cráter del volcán Sabancaya y a 1 km al oeste del pueblo de Lluta, (figuras 1 y 2). La zona es accesible desde el centro del distrito de Lluta, en un tiempo aproximado de 15 minutos. Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son:

Latitud: 16° 1' 42.90" S  
 Longitud: 72° 1' 13.42" O

La zona es accesible desde Arequipa por la carretera asfaltada de Yura Viejo, luego se continúa por una carretera afirmada hasta Yura (balneario) - Lluta. El sector Huasamayo se localiza a 4.3 km al oeste de Lluta.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración (h)
Arequipa	Yura (balneario)	30	asfaltada	1.07
Yura	Lluta	105	afirmada	3.11

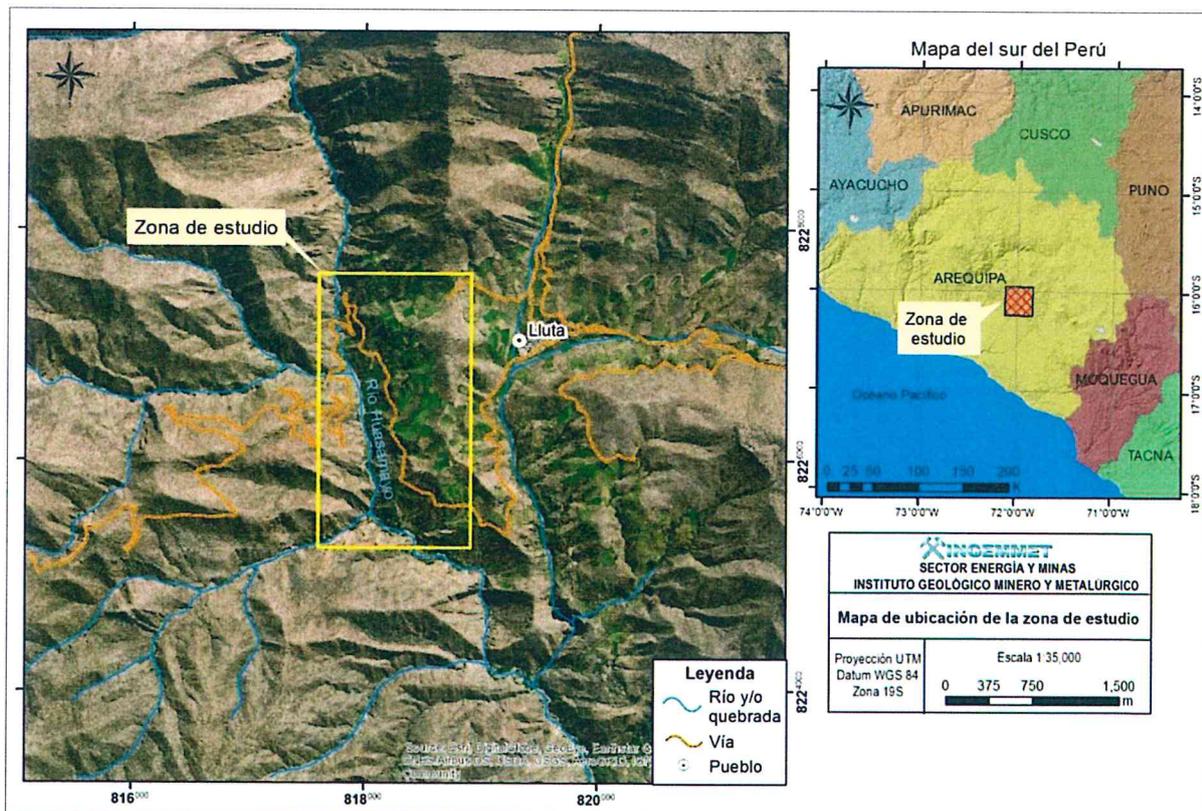
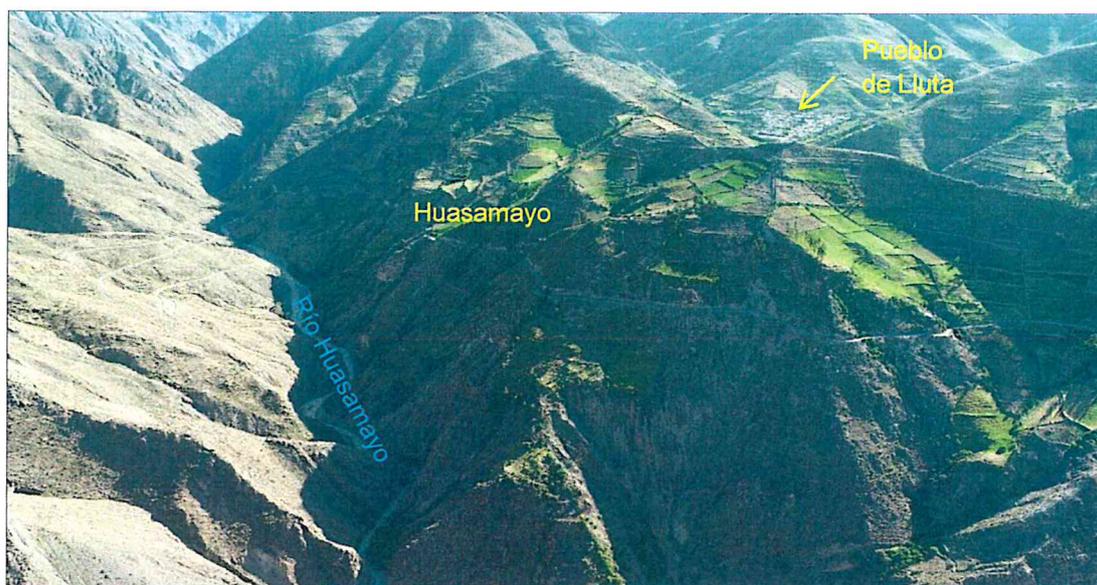


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio



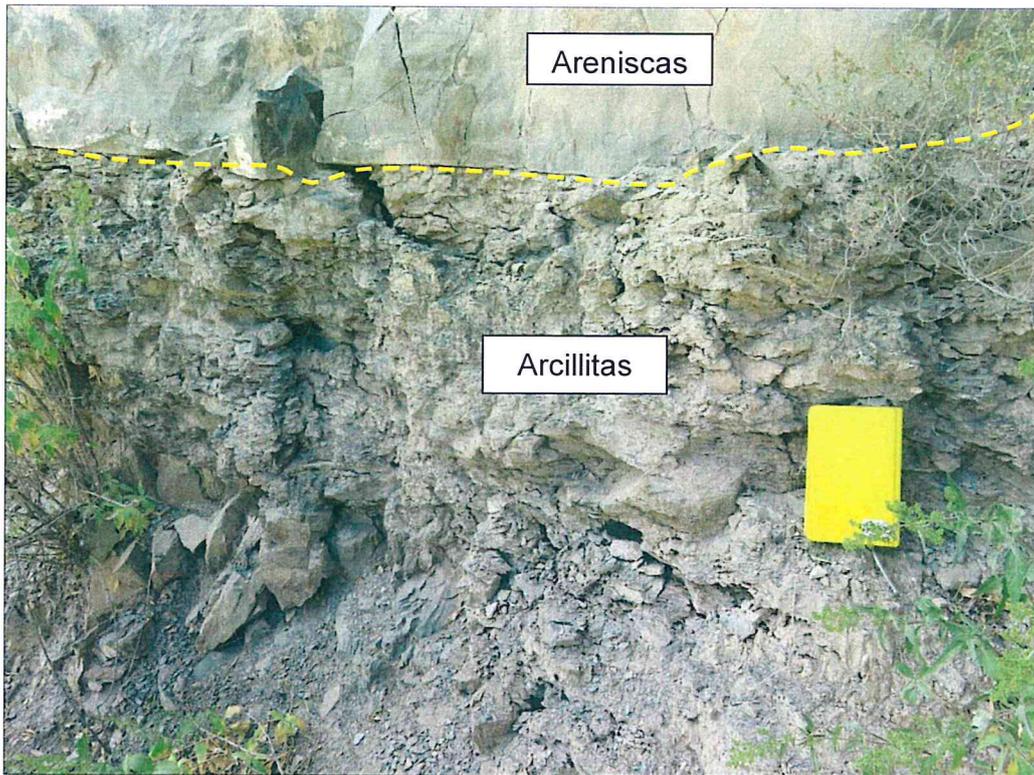
*Figura 2. Vista panorámica de la zona de estudio. Al fondo se muestra el pueblo de Lluta.*

#### 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

##### 4.1 Unidades Litoestratigráficas

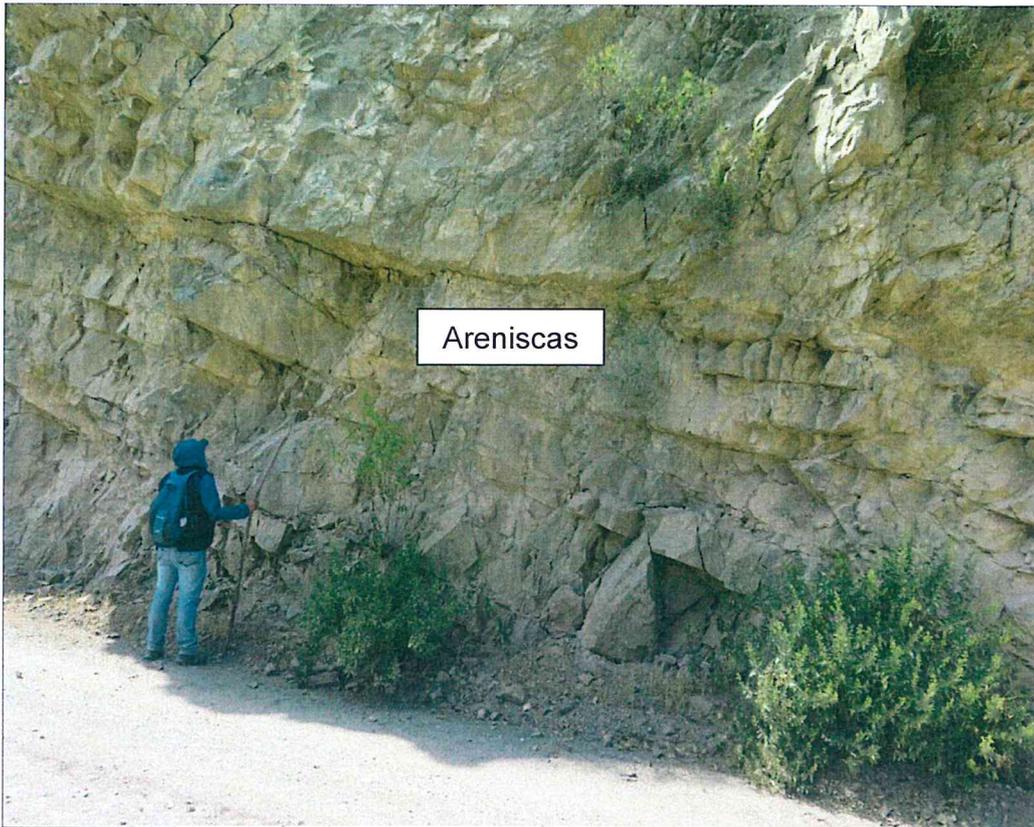
Para el análisis geológico de la zona de estudio se tomaron como referencia los mapas geológicos del cuadrángulo de Aplao (33-r), Jorge Guizado Jol (1968) y el cuadrángulo de Huambo (32-r), Darwin Romero (2003).

- a) **Grupo Yura:** Es la unidad más extensa del área de estudio. Estos depósitos presentan moderada susceptibilidad a ser afectados por caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.
  - **Formación Cachíos (Jm-ca):** Aflora a manera de franjas aisladas y alargadas, en algunos casos como pequeños afloramientos. El contacto con la Formación Labra es progresiva, Darwin Romero (2003). Esta formación aflora en la localidad de Lluta y en sus alrededores (figura 5). Litológicamente está compuesta por limoarcillitas grises a negras, muy fisibles, en algunos casos presenta nódulos arenosos y de óxidos de hierro, a veces engloban areniscas plegadas y deformadas, en algunos sectores se intercalan con estratos de areniscas de grano fino a medio. Esta unidad presenta un grosor aproximado de 350 m.
  - **Formación Labra (Js-la):** Es la unidad más extensa del Grupo Yura, abarca gran parte de la zona de estudio. El contacto inferior con la Formación Cachíos es progresivo e infrayace concordantemente a la Formación Gramadal, Darwin Romero (2003). Litológicamente está compuesta por areniscas intercaladas con arcillitas gris oscuras a negras (figura 3). Las areniscas son de grano fino a grueso, cuarzosas y blanquecinas, en algunos casos grises; presenta laminaciones oblicuas curvas, planas y horizontales. Presenta un espesor de 1 200 m.



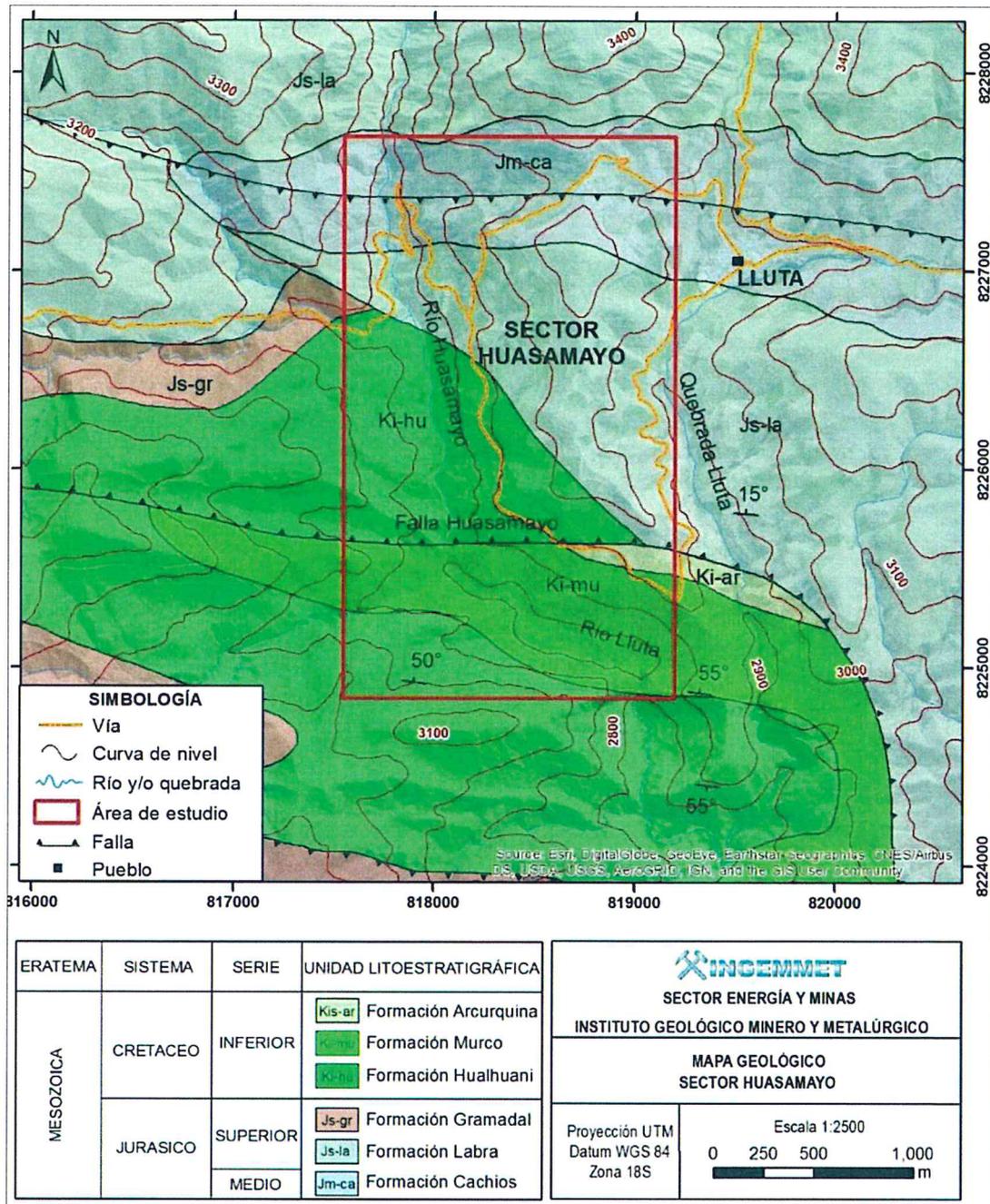
*Figura 3. Afloramiento de arcillitas gris oscuras intercalado con niveles de areniscas de la Formación Labra en el sector de Huasamayo.*

- **Formación Gramadal (Js-gr):** Aflora a manera de franjas alargadas y delgadas. Se observa al este del sector de Huasamayo (figura 5). Sobreyace concordantemente a la Formación Labra e infrayace en leve discordancia angular a la Formación Hualhuani, Darwin Romero (2003). Litológicamente está compuesta por limoarcillitas grises, moradas, verdes y rojas, a veces con nódulos calcáreos intercaladas con areniscas cuarzosas de grano fino a grueso grises a blancas y calizas gris claras a oscuras, a veces pardo amarillentas. Presenta un grosor que puede alcanzar los 100 m.
- **Formación Hualhuani (ki-hu):** Corresponde a la Unidad superior del Grupo Yura. Aflora a manera de franjas alargadas, a veces aisladamente. Se observan a 1 km al este de la localidad de Lluta y dentro del sector de Huasamayo. Sobreyace a la Formación Gramadal e infrayace concordantemente a la Formación Murco, Darwin Romero (2003). Litológicamente está compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, de grano fino a grueso, blancas a rosadas, presentando laminaciones oblicuas curvas, planas y horizontales intercaladas con delgados estratos de limoarcillitas negras a marrones (figura 4). Tiene un espesor de hasta 200 m.



*Figura 4. Afloramiento de areniscas de la Formación Hualhuani en el sector de Huasamayo.*

- b) **Formación Murco (Ki-mu):** En el sector de Huasamayo, existen afloramientos alargados en dirección este-oeste, constituidos por arcillas y areniscas predominantemente rojas, con intercalaciones de conglomerados grises, similares a lo descrito por Jenks como formación Murco en la hoja de Arequipa. La formación Murco alcanza unos 80 m. de espesor; su contacto con las cuarcitas del grupo Yura es transicional y soporta con aparente concordancia a las calizas Arcurquina, Jose Guizado Jol (1968) (figura 5).
- c) **Formación Arcurquina (Kis-ar):** En el sector de Huasamayo afloran calizas gris claras con estratificación delgada, que reposan sobre las areniscas de la formación Murco; sin embargo, las relaciones entre ambas unidades no son claras, debido al plegamiento, José Guizado Jol (1968). El límite superior es desconocido por haber sido denudado, hallándose solamente cubierta en parte por materiales clásticos cuaternarios (figura 5).



*Figura 5. Mapa geológico del área de estudio*

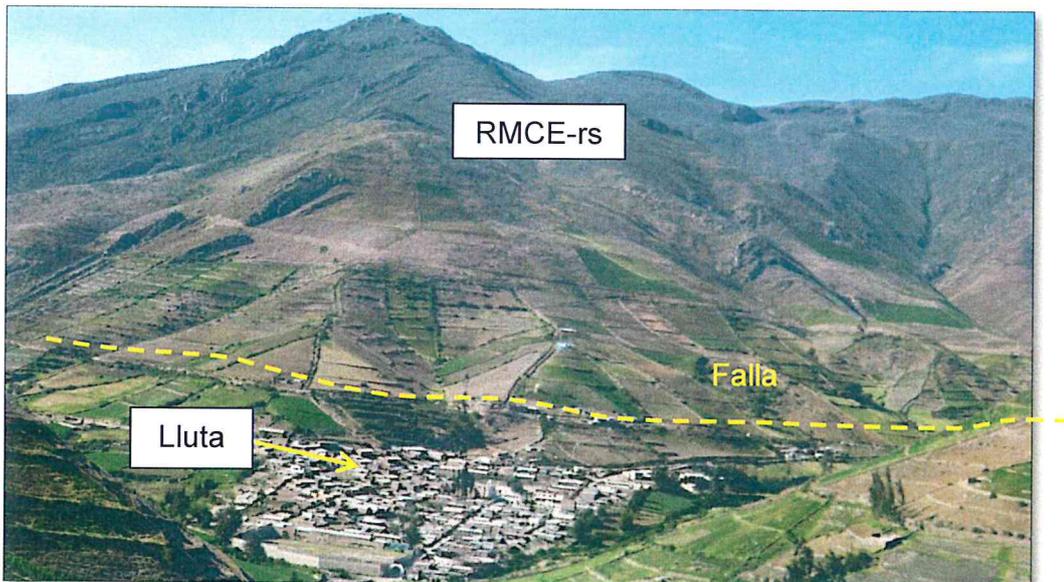
Desde el punto de vista geomorfológico la zona de estudio está ubicada dentro de las siguientes unidades geomorfológicas:

#### 4.2 Unidades Geomorfológicas

Las principales unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son las siguientes:

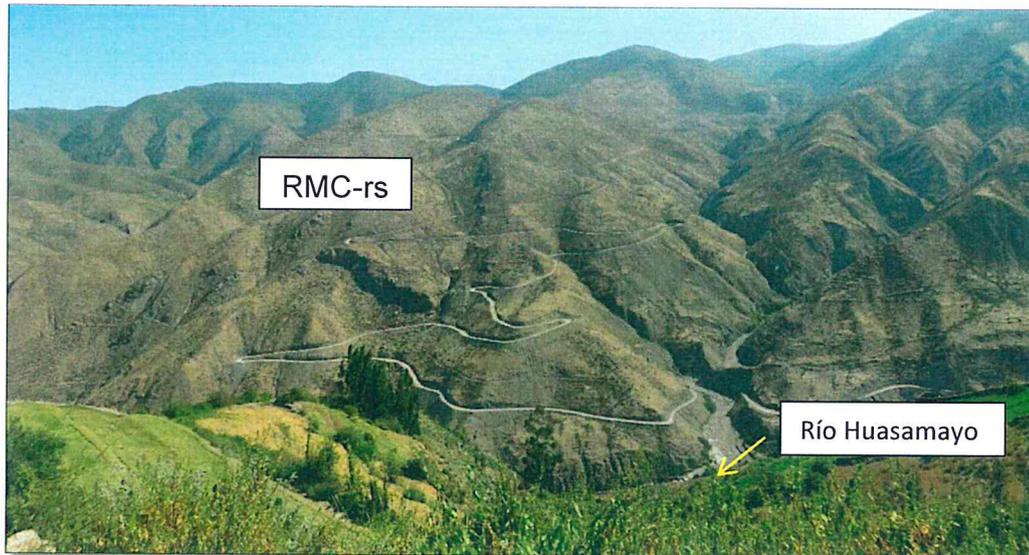
## Unidad de Montaña y Colina

**4.2.1 Subunidad de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs):** En el área de estudio se identificó la unidad morfológica de montaña-colina estructural desarrollada en rocas sedimentarias. Litológicamente corresponde a rocas sedimentarias del Grupo Yura (areniscas y lutitas). El patrón de drenaje subparalelo, típico de estas unidades, con valles en forma de V, muestra en sus laderas pendientes que varían entre 15° a 25°. Dentro de esta unidad geomorfológica las elevaciones existentes son parte de la cordillera, levantadas por la actividad tectónica y modeladas por procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía. Las estructuras tectónicas en el área de estudio tienen el dominio del alineamiento de las estructuras andinas (NO-SE), figuras 6 y 9. En esta unidad se asocia la ocurrencia de movimientos en masa de tipo deslizamientos y derrumbes.



**Figura 6.** Montañas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs). Se observa una falla en dirección NO-SE.

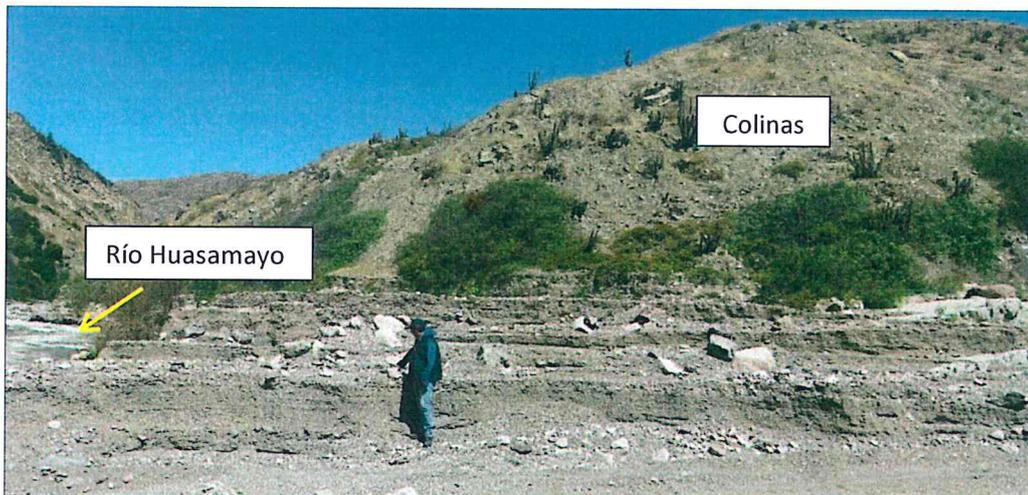
**4.2.2 Subunidad de montañas y colinas en rocas sedimentarias (RMC-rs):** Tienen una altura mayor a 300 m con respecto al nivel de base local (fondo del valle del río Huasamayo). Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos. Se encuentran conformando elevaciones alargadas, con laderas disectadas y de pendientes entre 25° a 50°. Estas geoformas presentan moderada susceptibilidad a ser afectados por movimientos en masa y se asocian a la ocurrencia de caída de rocas, derrumbes y deslizamientos (figuras 7 y 9).



*Figura 7. Montañas y colinas en rocas sedimentarias en el valle del río Huasamayo.*

#### Unidad de Colina y lomada

**4.2.3 Subunidad de colinas y lomadas en roca sedimentaria (RCL-rs):** Están representadas por colinas y lomadas con diferentes grados de disección. Tiene menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base del río Huasamayo) y con inclinación de laderas promedio entre 15° a 20°. Esta unidad se ubica próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de la cordillera. Estas geoformas presentan baja a moderada susceptibilidad a ser afectados por movimientos en masa y se asocian a la ocurrencia de caída de rocas, derrumbes y deslizamientos (figuras 8 y 9).



*Figura 8. Colinas y lomadas en roca sedimentaria en la margen derecha del río Huasamayo.*

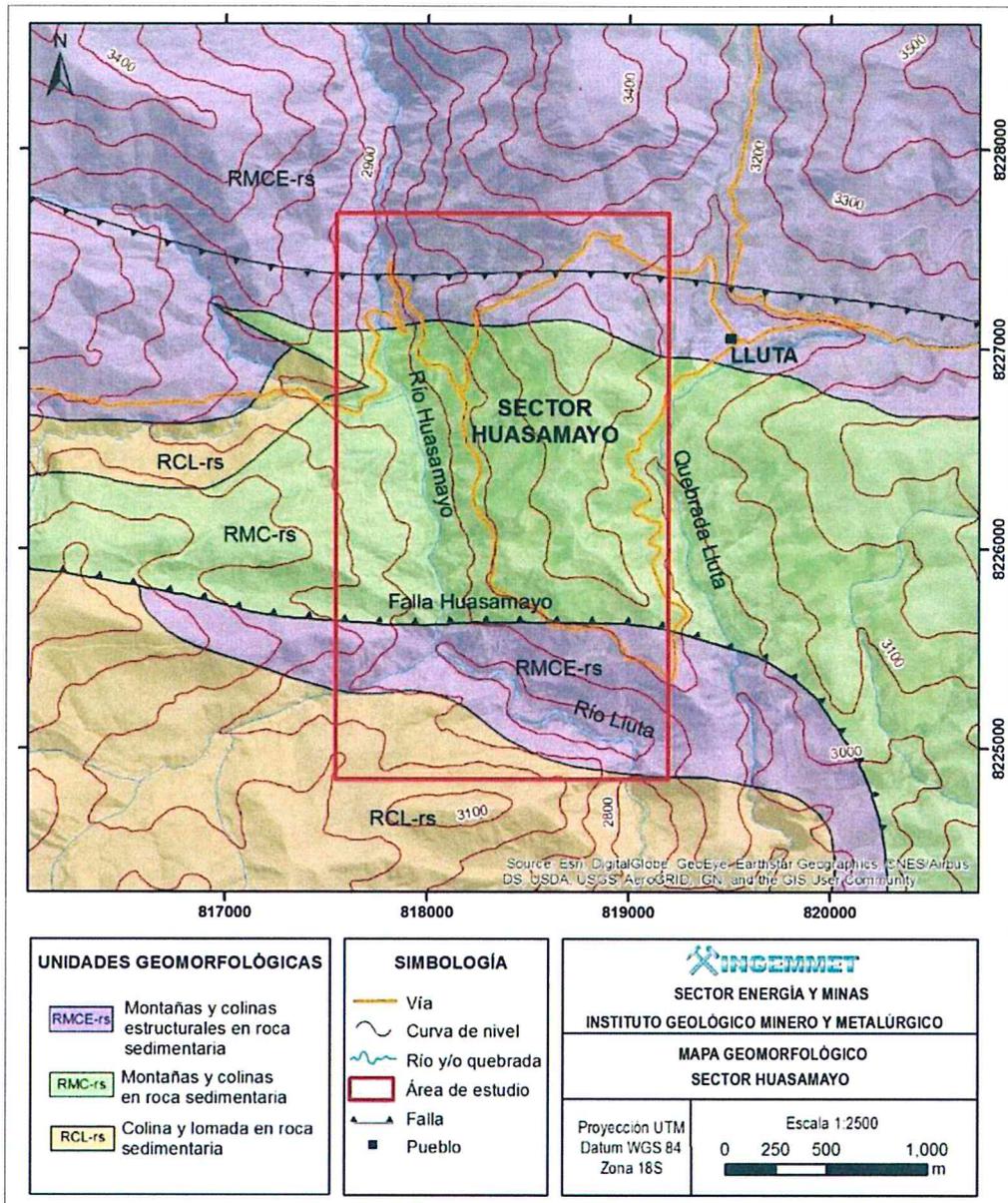


Figura 9. Mapa geomorfológico del área de estudio

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el área de estudio, están asociados principalmente a movimientos en masa. El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991 en PMA: GCA, 2007). Los movimientos en masa representan procesos geológicos superficiales, que involucran la remoción de masas rocosas con características inestables, depósitos inconsolidados de diferente origen, competencia y grado de cohesión, o la combinación de ambos, por efecto de la gravedad, Medina., (2014).

En el área de estudio, los movimientos en masa, están estrechamente ligados a factores desencadenantes como erosión fluvial, lluvias de gran intensidad o gran duración asociadas a eventos excepcionales, al sistema de riego y a sismos tectónicos.

Los factores condicionantes o intrínsecos que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa son la litología (calidad de la roca y permeabilidad), morfología y pendiente del terreno.

Los principales peligros geológicos a los cuales está expuesto la zona de estudio, son a movimientos en masa del tipo: Deslizamiento, caída de rocas, colapsos o derrumbes y erosión de laderas.

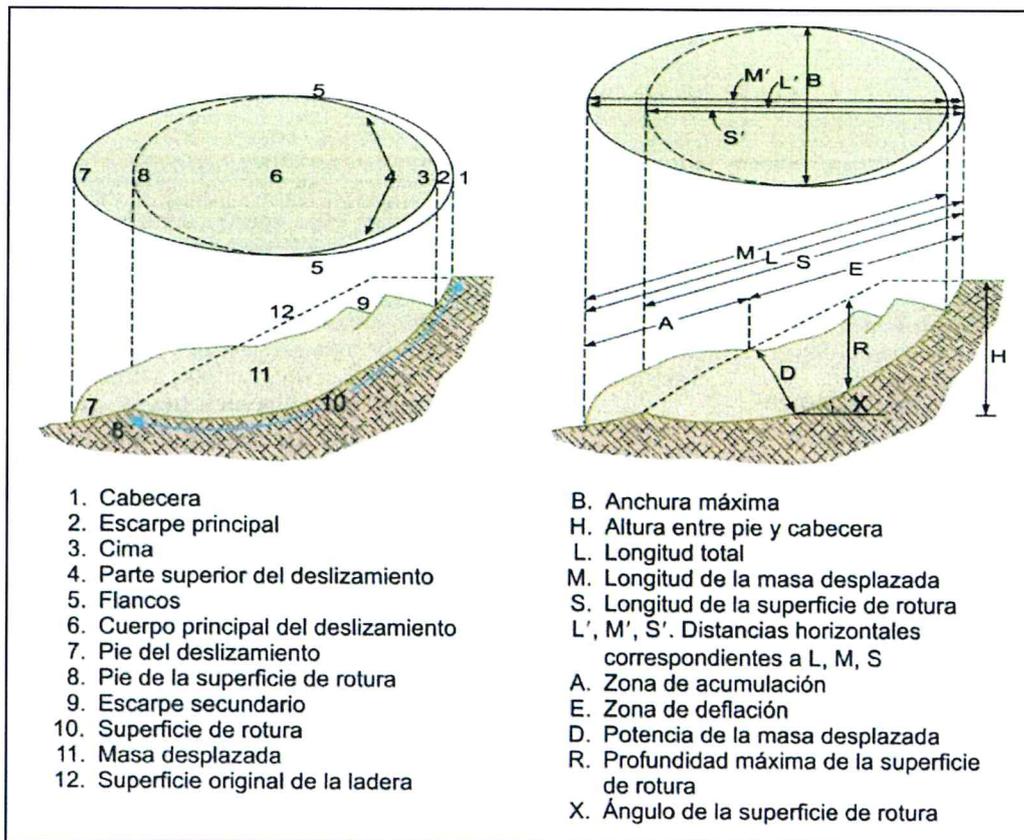
### 4.1 Deslizamiento - concepto

Los fenómenos de ladera o movimientos de ladera son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, se entiende como movimiento del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad, Corominas y García Yagüe, (1997).

La nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera tipo rotacional (figura 10), ha sido desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990).

Deslizamiento rotacional, es cuando la superficie de rotura es una superficie cóncava. Los deslizamientos rotacionales se producen fundamentalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados, Antoine, (1992), se suelen diferenciar por una inclinación contrapendiente de la cabecera.

Entonces ¿que los produce?, mencionaremos algunos de los factores que desencadenan los deslizamientos: rocas muy fracturadas y alteradas o suelos poco coherentes, saturación de suelos o roca alterada por intensas lluvias, deforestación de tierras, erosión fluvial, erosión de laderas (cárcavas), modificación de taludes de corte, actividad sísmica y volcánica.



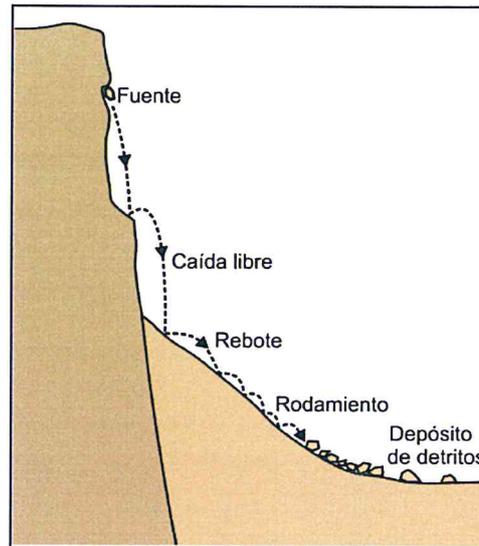
**Figura 10.** Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo., (2002).

#### 4.2 Caídas o desprendimientos de rocas - concepto

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

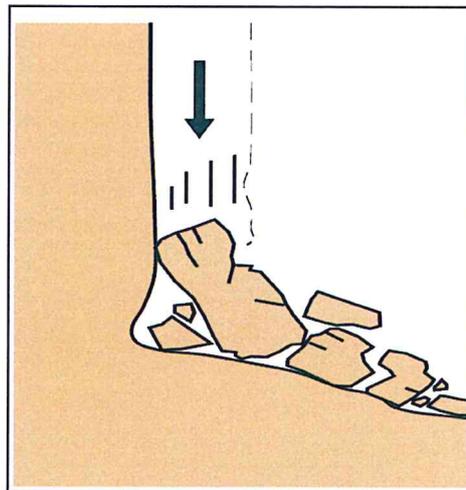
En Evans y Hungr (1993) se pueden consultar ejemplos de caída de roca fragmentada (figura 11). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.



**Figura 11.** Esquema de la caída de rocas

#### 4.3 Colapsos o derrumbes - concepto

Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, que ocurren a lo largo de varias superficies irregulares o anisotropías, con arranque o desplome visible de material como una sola unidad. Se presentan con dimensiones y longitudes variables, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros; principalmente están asociados a taludes rocosos, aunque suelen presentarse en suelos poco consolidados, (figura 12).

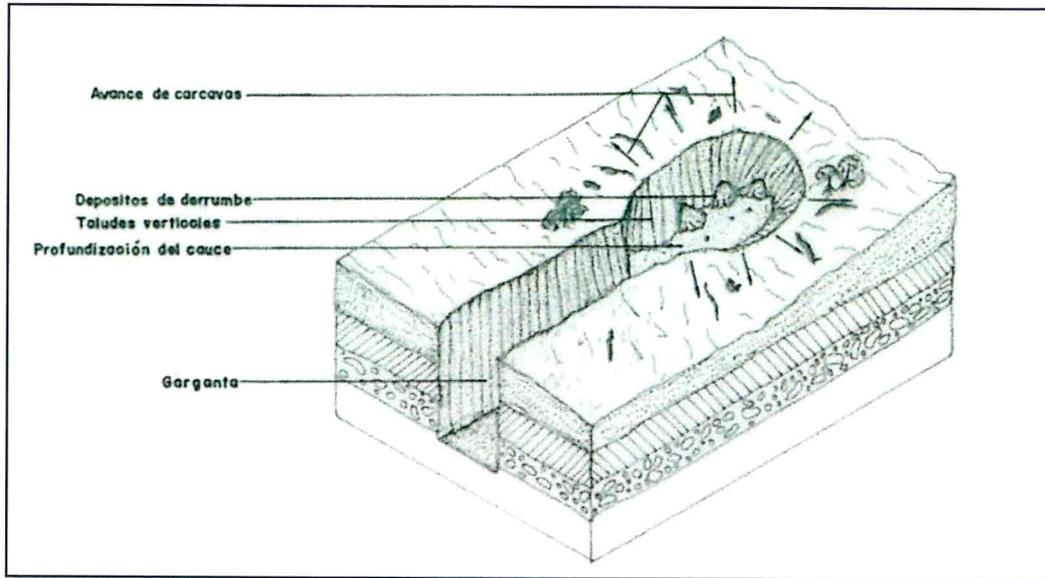


**Figura 12.** Esquema de Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento "colapso".

#### 4.4 Erosión de laderas (Cárcavas) - concepto

La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso

inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas, se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras, (figura 13).

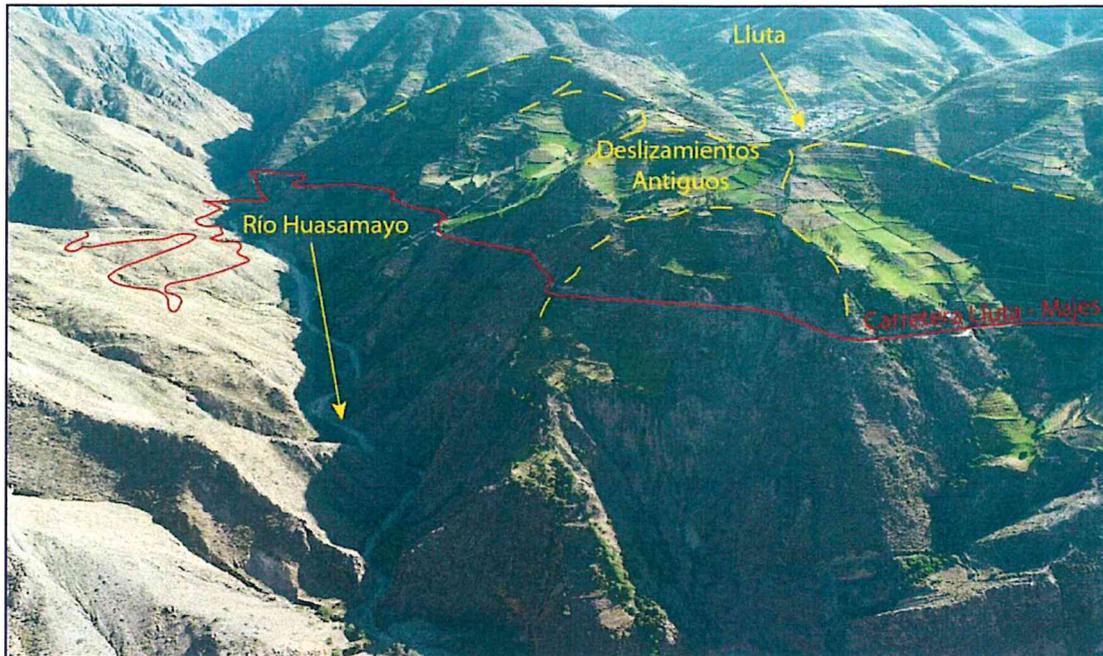


*Figura 13. Proceso de formación de cárcavas*

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR HUASAMAYO

### 5.1 Deslizamientos Antiguos en el sector Huasamayo

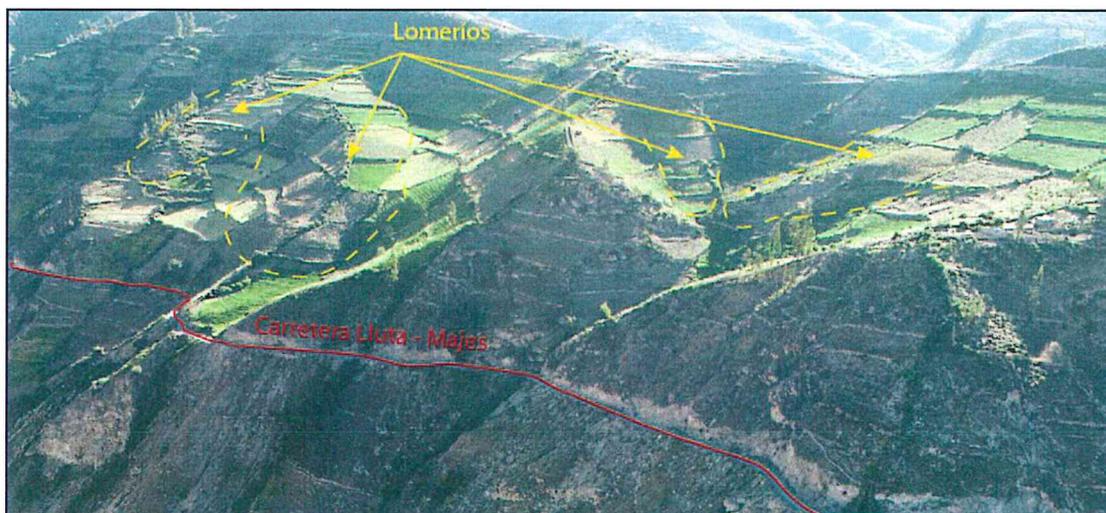
En la parte alta de la margen izquierda del río Huasamayo, se evidencian una serie de depresiones con forma de herradura correspondiente a deslizamientos antiguos, (Figura 14), la corona y el escarpe de deslizamiento no se observan nítidamente debido a la erosión y la vegetación. La masa de desplazamiento de la mayoría de los deslizamientos llegó hasta el cauce del río Huasamayo que cruza la parte baja del sector. En el cuerpo del deslizamiento se aprecian lomeríos y pequeñas quebradas, estas últimas generadas por la acción del agua.



**Figura 14.** Muestra los deslizamientos antiguos en la parte alta del margen izquierdo del río Huasamayo.

Sobre los cuerpos de los distintos deslizamientos antiguos se pueden observar lomeríos con en el cual se pueden evidenciar las direcciones de movimientos de las masas desplazadas.

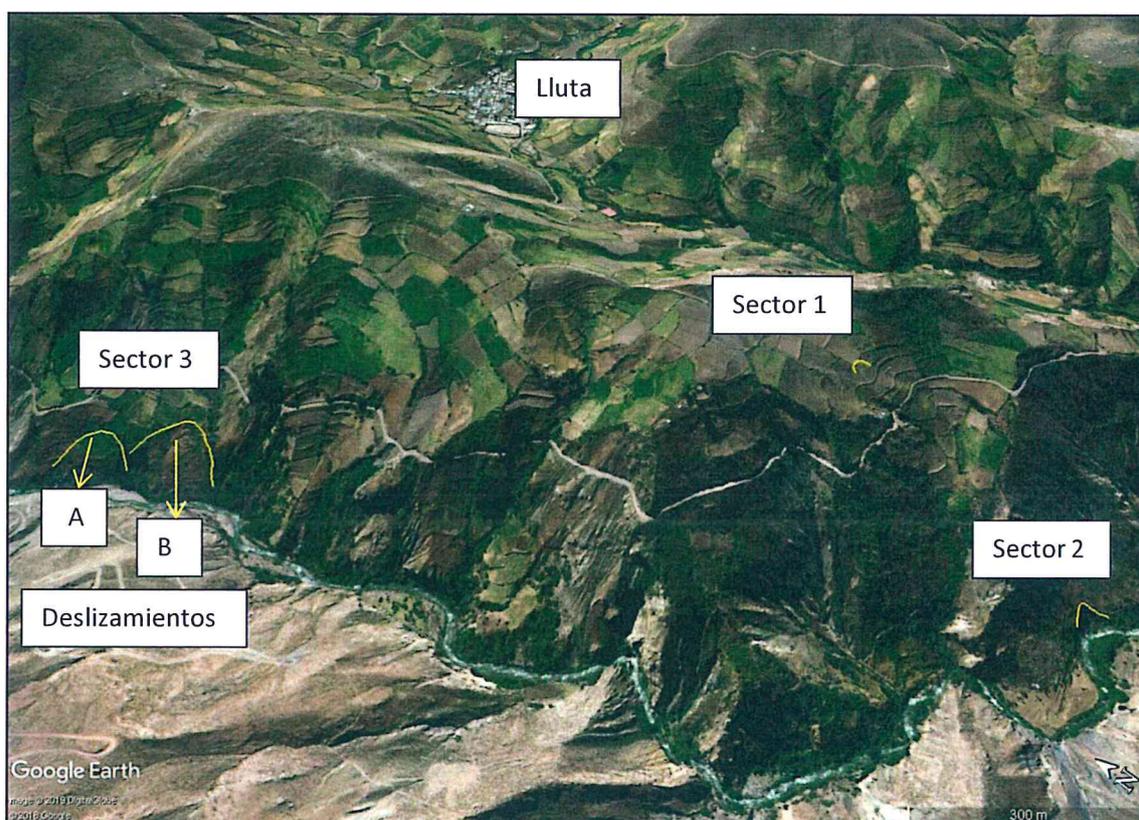
La dirección del desplazamiento de las masas es hacia el Suroeste, es decir hacia el valle del río Huasamayo. A lo largo de los deslizamientos se distinguen una serie de estructuras cóncavas y convexas de tipo lomeríos, los cuales son evidencia de empuje del terreno, (figura 15). Además, se ha encontrado múltiples deslizamientos en la parte baja, los cuales presentan mayor movimiento con respecto a los deslizamientos antiguos.



**Figura 15.** Muestra los lomeríos ubicados dentro de los deslizamientos antiguos.

## 5.2 Deslizamientos Actuales en el sector Huasamayo

En las laderas de Huasamayo se aprecian hasta tres sectores con deslizamientos activos, todos ellos se ubican en el margen izquierdo del valle formado por el río Huasamayo. En el sector 1 y 2 se aprecian pequeños deslizamientos rotacionales, así como en el sector 3 se aprecian dos deslizamientos traslacionales de magnitudes considerables (figura 16).



**Figura 16.** Muestra los sectores con presencia de deslizamientos activos

### Sector 1

Corresponde a la parte alta de la carretera que cruza la ladera izquierda del valle, a una altitud de 3000 m.s.n.m. A través de la fotointerpretación y observaciones de campo, se ha identificado un escarpe de deslizamiento activo, donde se aprecia evidencias de colapso, el cual corresponde a un deslizamiento de tipo rotacional, (figura 17).



**Figura 17.** Muestra el deslizamiento rotacional activos en el sector 1

– **Características del deslizamiento**

Se trata de un deslizamiento tipo rotacional. La corona del deslizamiento posee forma regular y mide 60 m., el escarpe del deslizamiento tiene 5 m., este evento está comprendido entre las cotas 3000 m s.n.m. a 2960 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 40 m.

La masa movilizada se estima afecto un área de 4000 m<sup>2</sup>.

Este deslizamiento es la reactivación de un segmento del deslizamiento antiguo ubicado en este sector.

El pie del deslizamiento está a pocos metros de la carretera que une los poblados de Lluta y Majes, con el tiempo este deslizamiento afectará un trazo de la carretera (figura 18).



**Figura 18.** Muestra el deslizamiento rotacional en el sector 1, y el grado de inclinación de la zona.

#### – Causas del deslizamiento

Las causas para la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno, presencia de agua en los materiales (rocas y suelos) y el corte de la carretera que cruza la parte baja del deslizamiento.

Las causas son:

- Rocas de mala calidad, conformadas principalmente por suelos retrabajados, provenientes de deslizamientos antiguos en el sector. Suelos inestables si se saturan de agua.
- El sector uno posee una pendiente del terreno de  $25^\circ$ , que permite que la masa inestable se desestabilice y se desplace cuesta abajo.
- El corte de la carretera que cruza este sector deja el cuerpo del deslizamiento sin soporte, debido a esto la masa del deslizamiento se desestabiliza y se desplace cuesta abajo.
- La infiltración de aguas utilizadas para riego por gravedad mediante canales, que no cuentan con el revestimiento necesario para evitar la infiltración de agua en las partes altas del sector 1

El factor desencadenante son las precipitaciones pluviales en periodos de lluvia, que ocurre anualmente y la infiltración de agua de riego desde las partes altas

## Sector 2

Se encuentra en la parte baja del valle, en las proximidades del río Huasamayo y por debajo del sector uno. Mediante de la fotointerpretación se ha identificado un escarpe de deslizamiento activo donde se aprecian evidencias de colapso, el cual corresponde a un deslizamiento de tipo rotacional.



**Figura 19.** Muestra el deslizamiento rotacional en el sector 2.

### – Características del deslizamiento

Se trata de un deslizamiento tipo rotacional. La corona del deslizamiento posee forma regular y mide 90 m, el escarpe del deslizamiento tiene entre 5 - 10 m, este evento está comprendido entre las cotas 2740 m s.n.m. a 2765 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 25 m.

La masa movilizada se estima que afectó un área de 2000 m<sup>2</sup>.

Este deslizamiento es la reactivación de un segmento del deslizamiento antiguo ubicado en este sector.

### – Causas del deslizamiento

Las causas para la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno, presencia de agua en los materiales (rocas y suelos) y erosión de las partes bajas de las laderas.

Las causas son:

- Rocas de mala calidad, conformadas principalmente por lutitas, calizas y arenisca, de edades Jurásico – Cretácicas, rocas Inestables si se saturan de agua.

- El sector dos posee una pendiente del terreno, de 30°, que permite que la masa inestable se desestabilice y se desplace cuesta abajo.
- Intensa erosión fluvial provocada por el río Huasamayo, que afecta la parte baja (pie del deslizamiento), el cual se intensifica en temporadas de lluvia.
- La infiltración de aguas utilizadas para riego por gravedad mediante canales, que no cuentan con el revestimiento necesario para evitar la infiltración de agua en las partes altas.

El factor desencadenante es la constante erosión fluvial de la parte baja del sector Huasamayo y se intensifica debido a los flujos de detritos (huaicos) que descienden desde las partes altas en temporada de lluvia.

### **Sector 3**

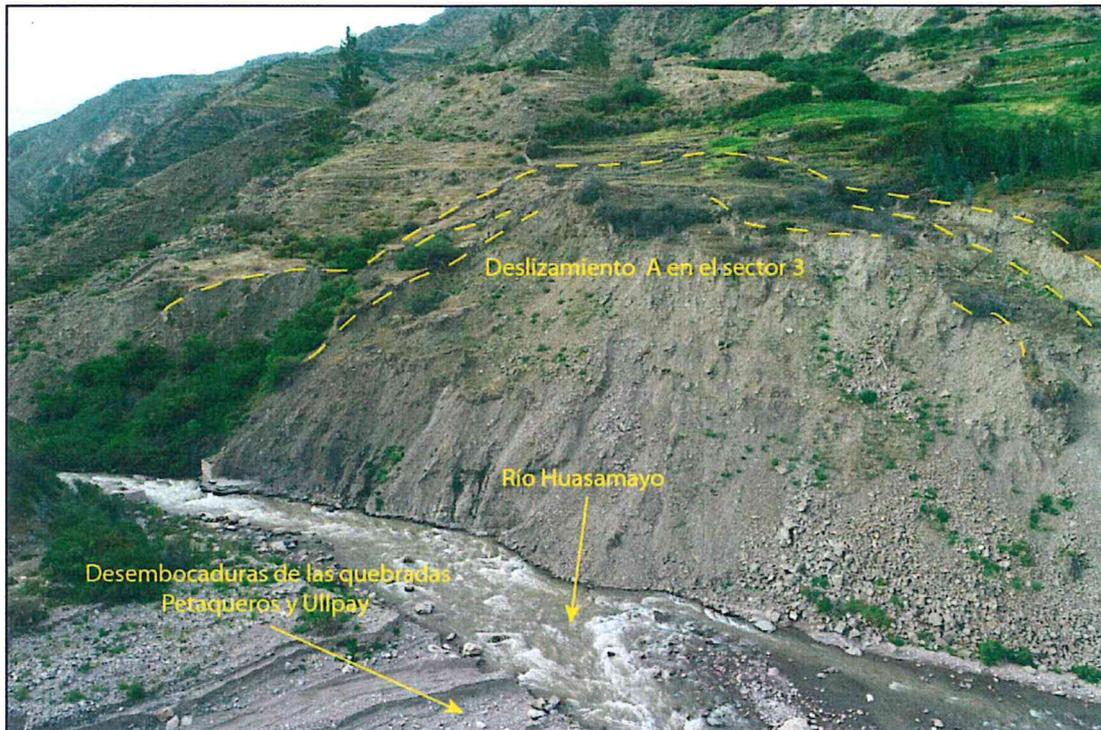
Corresponde a la zona ubicada al fondo del valle, en el borde del río Huasamayo, por debajo de la carretera que cruza este sector. A través de la fotointerpretación y observaciones de campo, se han identificado dos escarpes de deslizamientos activos (A y B), es decir, se aprecia evidencias de colapsos, el cual corresponde a un deslizamiento de tipo traslacional, (figura 20).

#### **– Características de los deslizamientos**

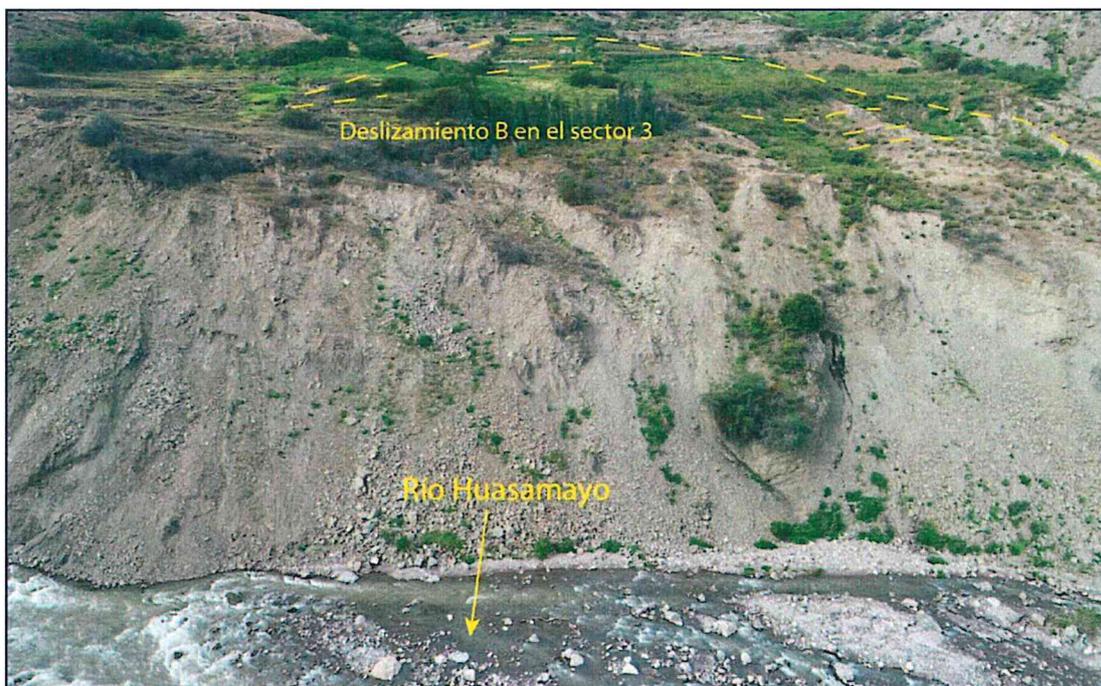
Los deslizamientos A y B representados en las (figuras 20 y 21) tienen una corona del deslizamiento de forma regular. El deslizamiento A mide 280 m, mientras que el deslizamiento B mide 200 m.

El pie de los deslizamientos A y B se encuentra al fondo del río Huasamayo. Estos deslizamientos recientes son producto de la reactivación de un segmento del deslizamiento antiguo ubicado en este sector.

Se estima que la masa movilizada del deslizamiento A, afectó un área de 22000 m<sup>2</sup>. Mientras que el deslizamiento B afectó un área de 13000 m<sup>2</sup>.



*Figura 20. Muestra el deslizamiento traslacional "A" en el sector 3.*



*Figura 21. Muestra el deslizamiento traslacional "B" en el sector 3.*

– **Causas del deslizamiento**

Las causas para la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno, presencia de agua en los materiales (rocas y suelos) y erosión de las partes bajas de las laderas.

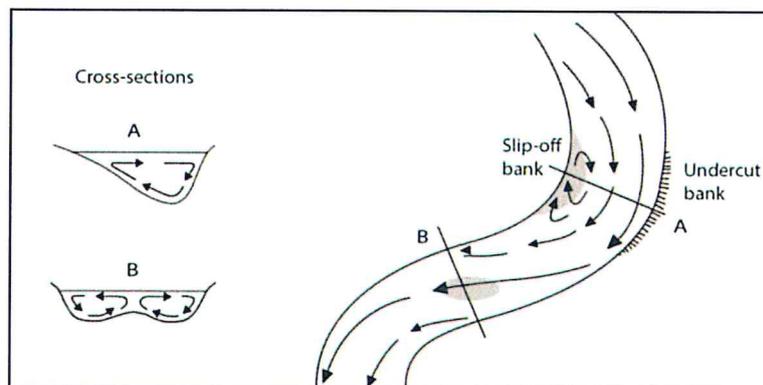
Las causas son:

- Rocas de mala calidad, conformadas principalmente por lutitas, calizas y arenisca, de edades Jurásico – Cretácicas, rocas inestables si se saturan de agua.
- El sector 3 posee un pendiente del terreno, entre 25° a 35°, que permite que la masa inestable se desestabilice y se desplace cuesta abajo.
- Intensa erosión fluvial de las aguas provenientes de las Quebradas Petaqueros, Ullpay y las aguas del río Huasamayo, que afecta la parte baja (pie del deslizamiento), el cual se intensifica en temporadas de lluvia.
- La infiltración de aguas utilizadas para riego por gravedad mediante canales, que no cuentan con el revestimiento necesario para evitar la infiltración de agua en las partes altas de la ladera izquierda del sector Husamayo.

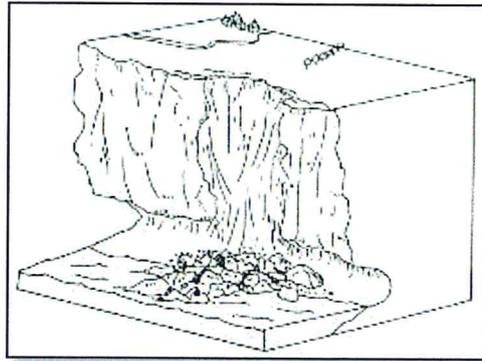
El factor desencadenante son las precipitaciones pluviales del periodo lluvioso, que ocurre anualmente.

El factor desencadenante es la constante erosión fluvial de la parte baja del sector Huasamayo. La erosión fluvial en el río Huasamayo se intensifica debido a los flujos de detritos (huaicos) que descienden desde las partes altas en temporada de lluvia.

En el sector tres, en el río Huasamayo, se observan derrumbes originados por el socavamiento lateral que produce la crecida del río en temporadas de lluvia. El socavamiento lateral desestabilizó las laderas de la margen izquierda del río Huasamayo, tal como se aprecia en los ejemplos de las (figuras 22 y 23). El socavamiento lateral es el principal desencadenante para la activación de los deslizamientos en este sector.



**Figura 22.** Vista en planta de la dinámica fluvial en cauces sinuosos (Huggett, 2007).



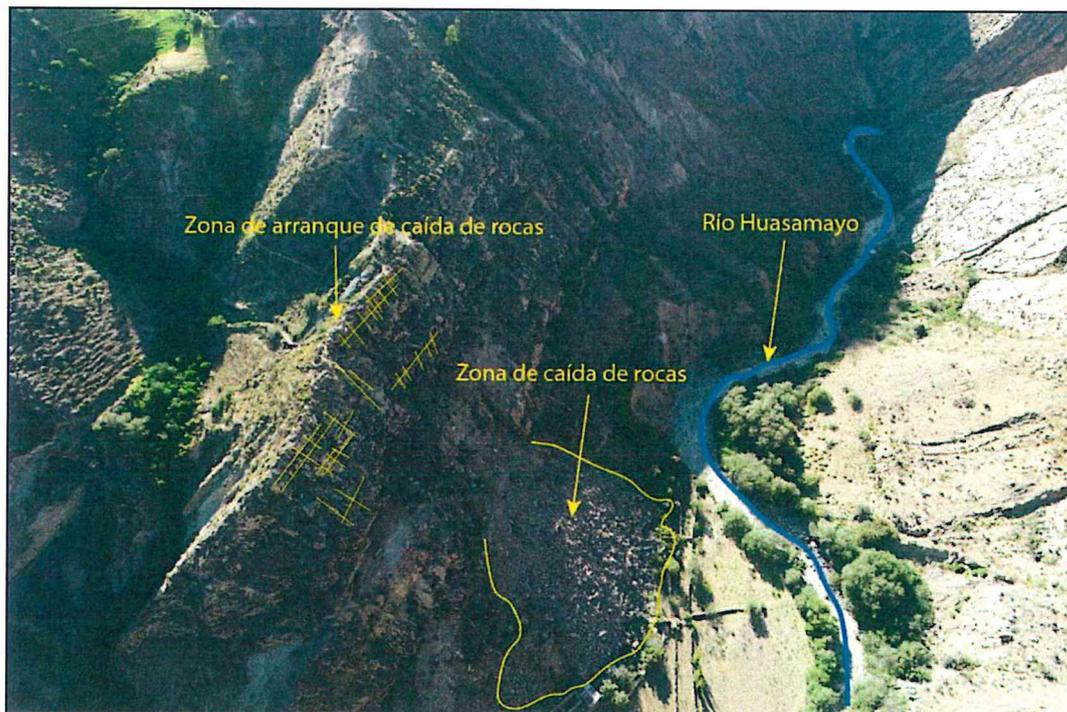
**Figura 23.** Esquema de un socavamiento lateral, que origina derrumbes y deslizamientos (PMA, 2007).

### 5.3 Caída de rocas en el sector Huasamayo

En el sector de Huasamayo, el arranque de la caída de rocas se encuentra en escarpes de moderada a alto pendiente, entre 20° hasta 35° (figura 24).

La roca se encuentra poco a medianamente fracturada, por lo que en la caída de rocas se tienen bloques entre 0.20 a 3 m de diámetro, mostrando un GSI entre 55 – 65 (Tabla °1).

En el mapa de peligros geológicos de la zona evaluada (figura 27), se puede observar que la caída de rocas ocurre en las laderas del río Huasamayo, al sur de la zona evaluada.



**Figura 24.** Muestra una de las zonas afectadas por caída de rocas.

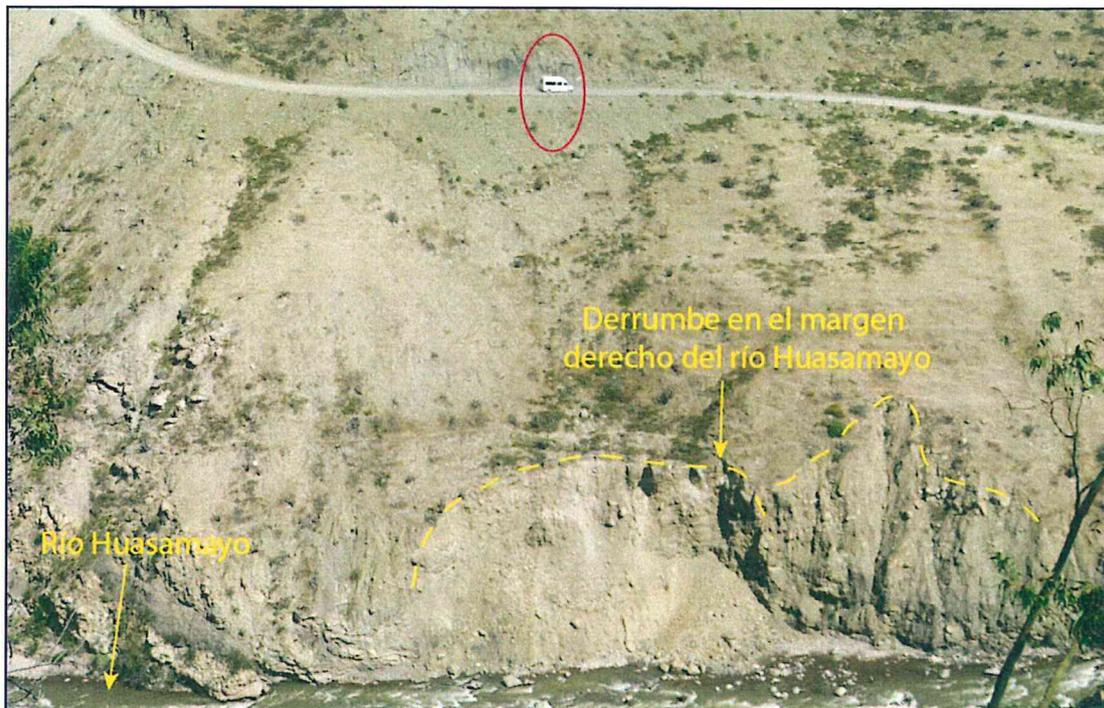
El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

<p>ROCAS DIACLASADAS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>A partir de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades, se estima un valor promedio del GSI. No se debe tratar de ser muy preciso. Un rango de 33-37 es más realista que un GSI=35. Note que la tabla a macizos estructuralmente controlados por fallas, donde planos estructurales débiles están presentes en una dirección desfavorable con respecto al frente de excavación, estos podrán dominar el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteración como resultado de los cambios de humedad que pueden reducirse cuando el agua está presente. Cuando trabajamos en rocas de regular o mala calidad, cambian las condiciones por el cambio de humedad. La</p>		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
		MUY BUENAS	BUENAS	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		<p>Superficies muy rugosas, superficies no meteorizadas, frescas</p> <p>Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro</p> <p>Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas</p> <p>Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización y rellenos compactos o rellenos de frag.</p> <p>Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos de arcilla suave.</p>				
		<p>DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE</p> <p>⇩</p>				
 <p>INTACTA O MASIVA - Especímenes de roca intacta o masiva in-situ, roca con discontinuidades amplias y espaciadas</p>	90			N/A	N/A	
 <p>FRACTURADA - Macizo rocoso con bloques entrelazados, consistente en bloques cúbicos formados por tres intersecciones de</p>	80	70				
 <p>MUY FRACTURADA - Macizo parcialmente perturbado con bloques entrelazados y angulares, formados por cuatro o más</p>		60	50			
 <p>FRACTURADA / PERTURBADA - Macizo rocoso plegado formado por bloques angulares formados por la intersección de varios</p>			40			
 <p>DESINTEGRADA - Macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente</p>				30		
 <p>FOLIADA / LAMINADA - Se carece de bloques debido a débil material presente en los planos de foliación o de cizalla</p>				20		
					10	
		<p>DECRECE EL ENTRABAMIENTO DE LOS BLOQUES</p> <p>⇩</p>				
		N/A	N/A			

**Tabla 1.** Caracterización del macizo rocoso GSI, basado en las condiciones litológicas, estructura y superficiales de las discontinuidades (fuente: modificado Hoek, 2002)

#### 5.4 Derrumbes en el sector Huasamayo

Los márgenes del río Huasamayo son de alta susceptibilidad a la ocurrencia de derrumbes, esto se debe a las condiciones que se presentan en algunas zonas, tales como rocas fracturadas, sistema de diaclasamiento de la roca a favor de la pendiente y material suelto en la ladera (inestable). Estas condiciones se aprecian en ambos márgenes del río Huasamayo. La ocurrencia de estos eventos podría afectar el cauce natural del río Huasamayo, generando embalsamientos, los cuales pueden colapsar e inundar zonas ubicadas aguas abajo (figura 25).



**Figura 25.** Muestra una de las zonas afectadas por derrumbes en el sector Huasamayo.

#### 5.5 Erosión de laderas (cárcavas) en el sector Huasamayo

En el sector Huasamayo se tienen principalmente lutitas, calizas y areniscas. En época de lluvias intensas estos materiales son afectados por erosión de ladera (figura 26). Se ha evidenciado cárcavas que tienen anchos máximos de 3 a 5 m. y profundidades de 2 a 5 m. El material erosionado aporta material suelto a las quebradas, contribuyendo a la generación de flujos no canalizados.



**Figura 26.** Muestra la erosión de laderas por cárcavas en el sector Huasamayo.

## 5.6 Mapa de peligros geológicos del sector Huasamayo

En base al cartografiado de peligros geológicos del sector de Huasamayo, se logró elaborar un mapa de peligros geológicos (figura 27), el cual incluye todos los peligros geológicos por movimientos en masa descritos anteriormente.

En el mapa se puede observar que en la parte alta de la margen izquierda del río Huasamayo, los canales de riego se encuentran sin revestimiento alguno (en el mapa está representado con líneas de color azul).

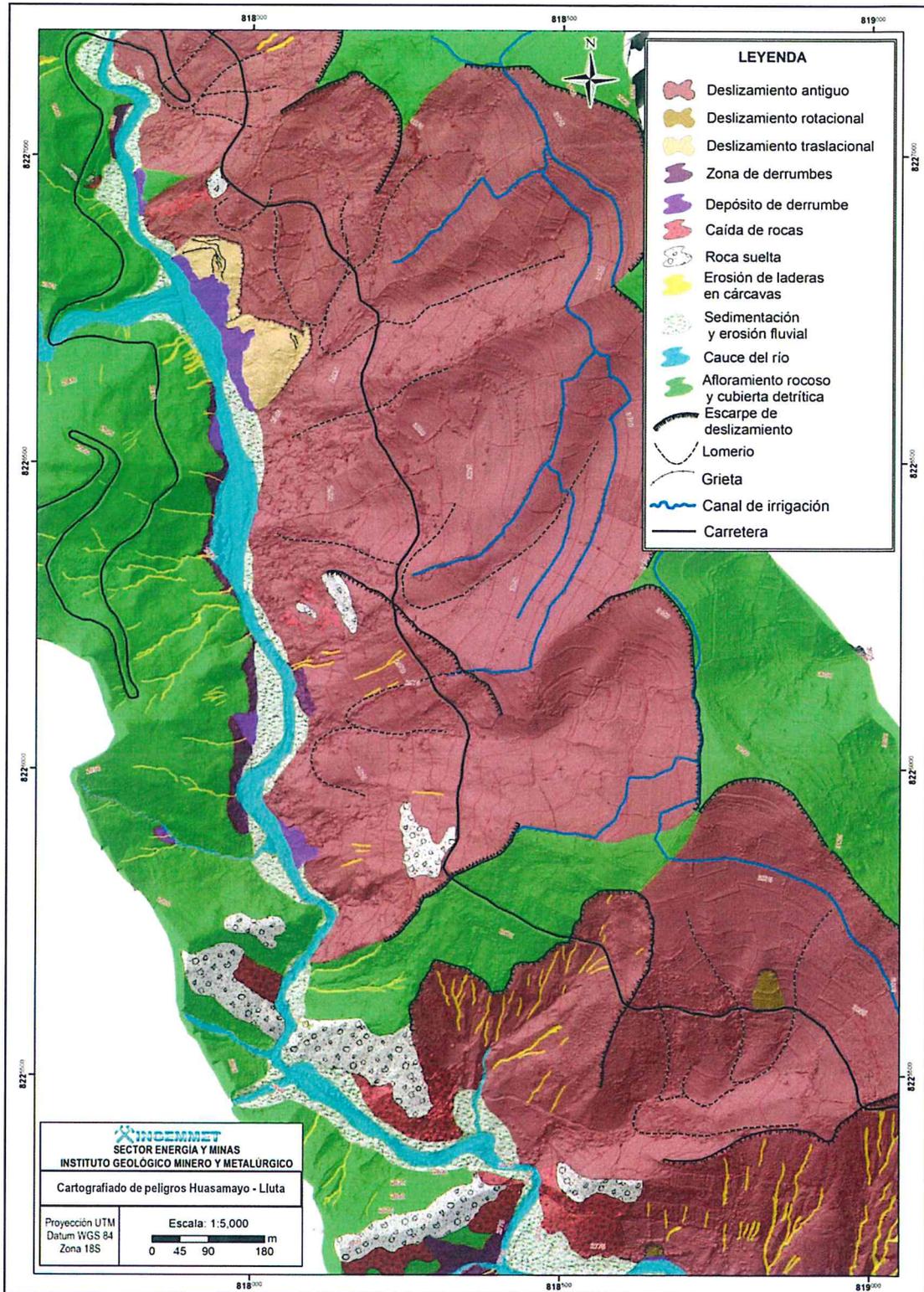


Figura 27. Cartografiado de peligros geológicos del sector Huasamayo

## 7. MEDIDAS PARA DESLIZAMIENTOS, DERRUMBES Y CAÍDAS DE ROCAS

Las medidas correctivas se pueden realizar en: 1) taludes en construcción, 2) laderas que tienen pendientes fuertes y es necesaria su estabilización, 3) para estabilizar fenómenos de rotura, sobre todo aquellos que pueden trabajarse a nivel de construcción. Para definir la solución ideal es necesario valorar 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.

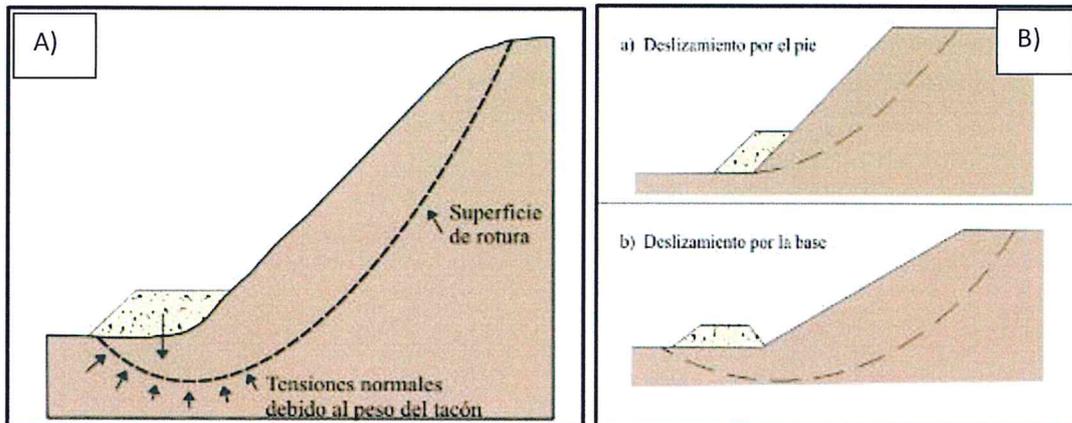
**Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante.** En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello 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, (figura 28).

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 cómo un elemento resistente propiamente dicho.

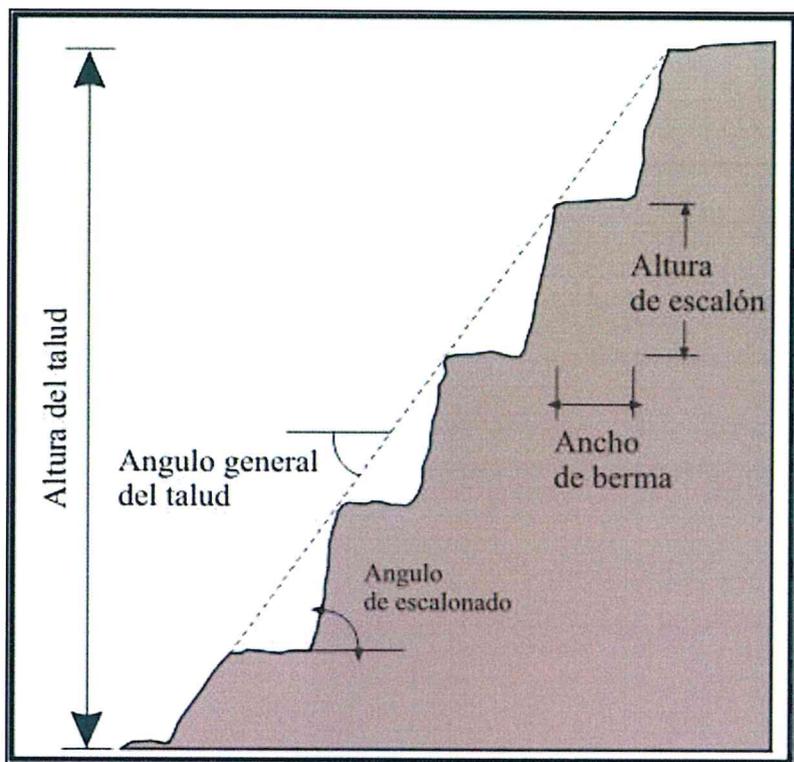
Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante pues en caso contrario su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud, para ello puede recurrirse al empleo de membranas geotextiles.



**Figura 28.** Muestra en A) Colocación de escolleras y en B) Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno.

**Tratamiento de taludes con escalonamiento:** Es una medida que puede emplearse tanto 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 —indeseables en todos los casos— 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 29).

Este escalonamiento se suele disponer en taludes en roca, sobre todo cuando es fácilmente meteorizable 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 29. Esquema de un talud con bermas intermedias.*

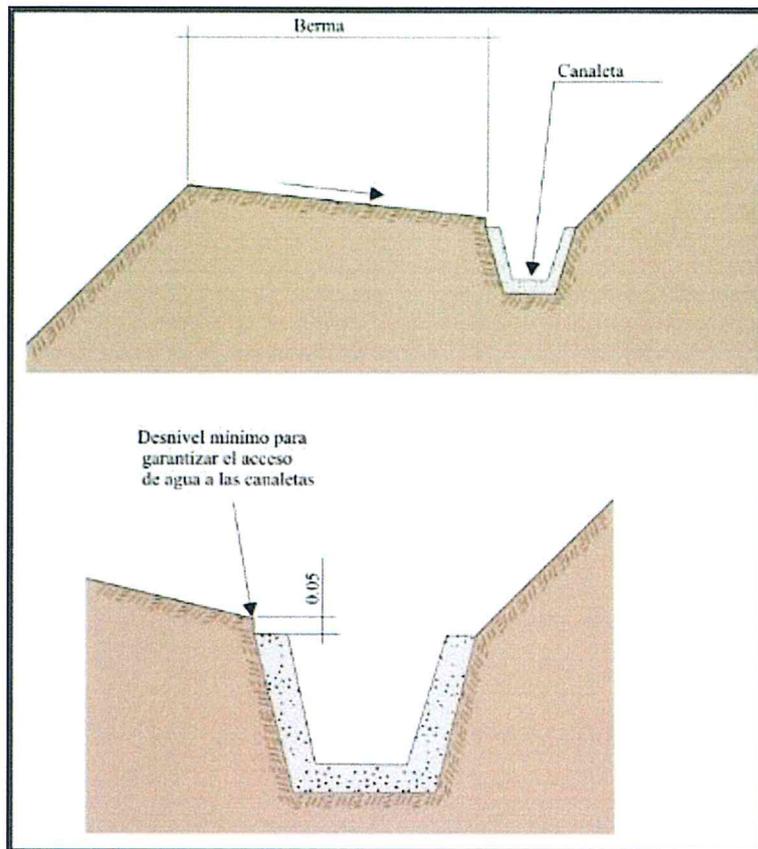
### **B) Corrección por drenaje**

Este tipo de corrección se efectúa con el objeto de reducir las presiones intersticiales que actúan sobre la superficie de deslizamiento (sea potencial o existente), lo que aumenta su resistencia y disminuye el peso total, y por tanto las fuerzas desestabilizadoras.

Las medidas de drenaje son de dos tipos:

**Drenaje superficial.** Su fin es recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, evitándose su infiltración (Figura 30).

Las aguas de escorrentía se evacuan por medio de zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud. Estas deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de la misma, de manera que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no. El cálculo de la sección debe hacerse con los métodos hidrológicos.



*Figura 30. Detalle de una canaleta de drenaje superficial.*

**Drenaje profundo.** La finalidad es deprimir el nivel freático con las consiguientes disminuciones de las presiones intersticiales. Para su uso es necesario conocer previamente las características hidrogeológicas del terreno.

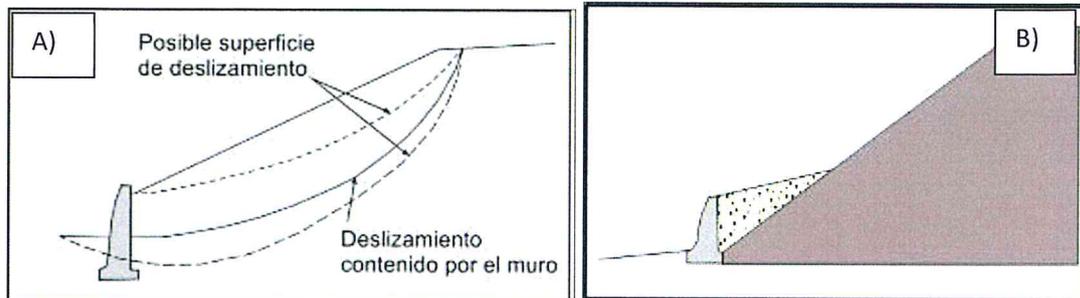
### C) Corrección por elementos resistentes

**C.1) Muros.** Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 31-A).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (figura 31-B). 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.

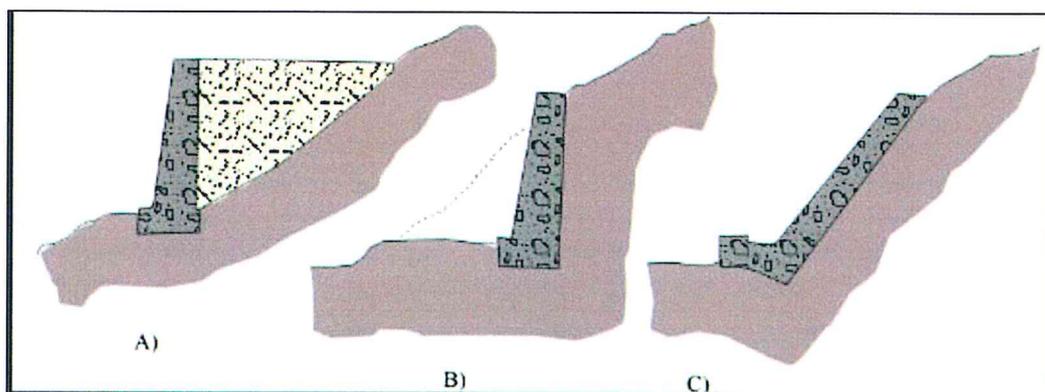


**Figura 31.** Muestra en A) Contención de un deslizamiento mediante un muro, en B) Relleno estabilizador sostenido por el muro.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (Figura 32)

- 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 32.** a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento.

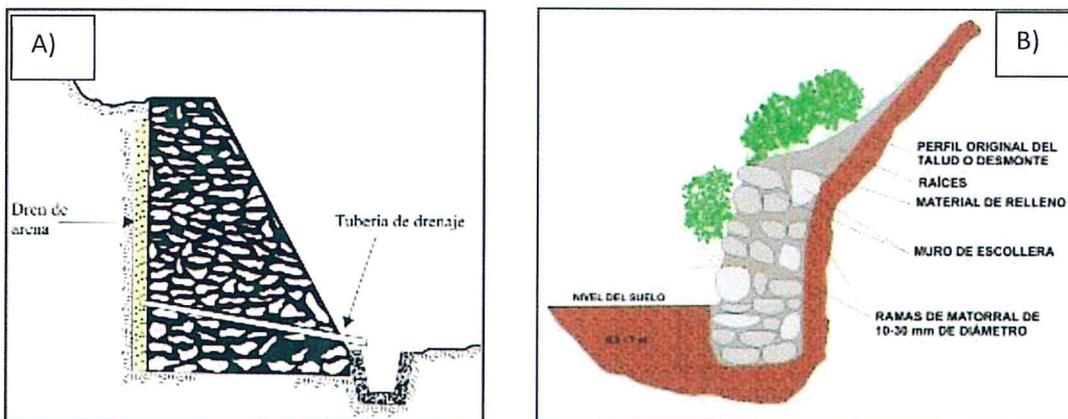
Las comprobaciones que deben efectuarse en un caso típico son las siguientes:

- 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

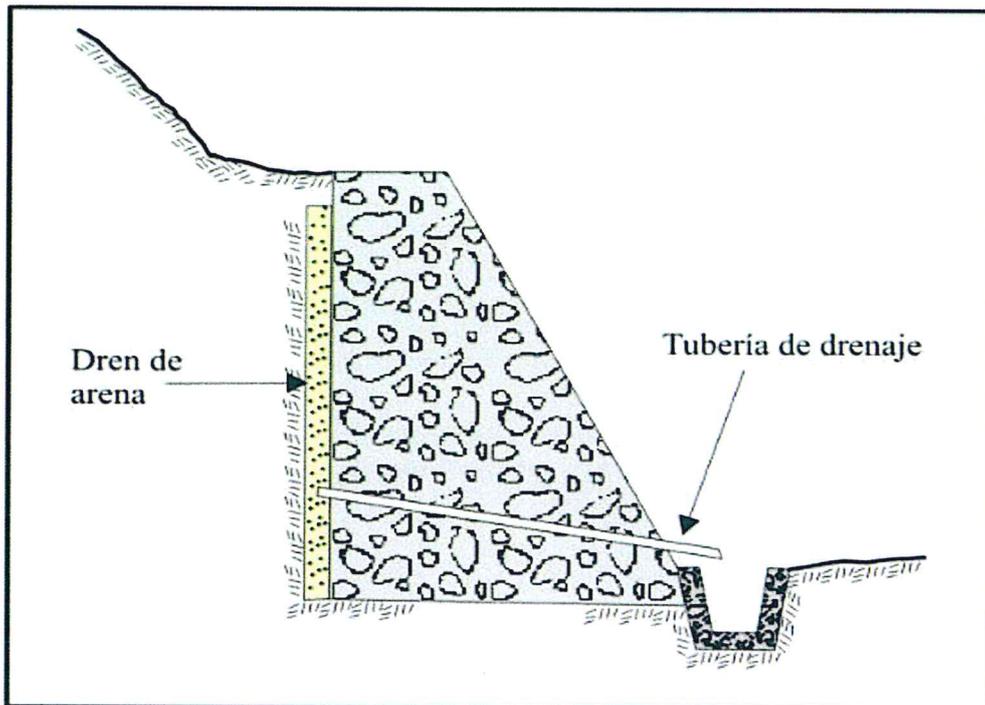
### Tipos de muros

**Muros de gravedad:** Son los muros más antiguos, son elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (figuras 33 y 34).

Se construyen de hormigón en masa, pero también existen de ladrillo o mampostería y se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeño tamaño. Sus grandes ventajas son su facilidad constructiva y el bajo costo.



**Figura 33.** A). Muros de gravedad de piedra seca y B) Muros de gravedad de piedra argamasada.

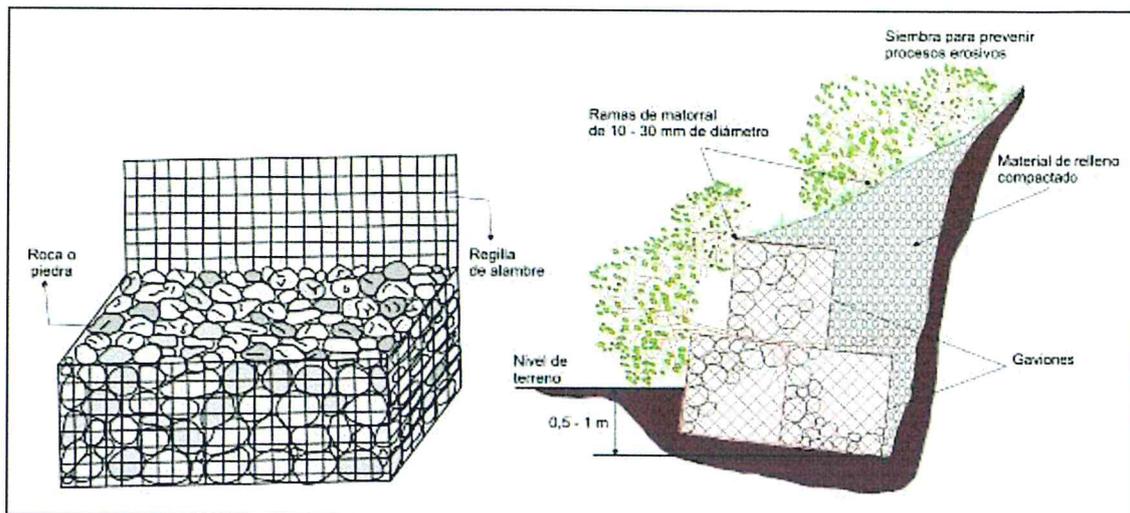


*Figura 34. Muros de gravedad de concreto ciclópeo.*

**Muros de gaviones.** Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (figura 35).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de la base del mismo es muy variable, y suele estar comprendida entre 1,7 a 2,4. Las ventajas que presenta son:

- Instalación rápida y sencilla.
- Son estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno.
- No tienen problemas de drenaje ya que son muy permeables.
- Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en el caso de un muro de gravedad.



**Figura 35.** Muro de gavión.

#### **D) Correcciones superficiales**

Las medidas de corrección superficiales se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno y tienen fundamentalmente los siguientes fines:

- Evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud.
- Eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en los taludes donde estos predominan.
- Aumentar la seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales.

Los principales métodos empleados son:

##### **d.1) Mallas de alambre metálico**

Se cubre con ellas la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, lo cual es siempre peligroso, especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud.

Las mallas de fierro galvanizado retienen los fragmentos sueltos de rocas y conducen los trozos desprendidos hacia una zanja en el pie del talud. Son apropiados cuando el tamaño de roca a caer se encuentra entre 0,60 y 1,00 m. La malla se puede fijar al talud de varias maneras: siempre en la parte superior del talud o en bermas intermedias. Como sistemas de fijación pueden emplearse bulones, postes introducidos en bloques de hormigón que pueden a su vez ir anclados o simplemente un peso muerto en la parte superior del talud. Durante la instalación se prepara una longitud de malla suficiente para cubrir el talud, con una longitud adicional que es necesaria para la fijación de la malla.

La malla se transporta en rollos hasta el talud, se fija en su parte superior y se desenrolla dejándola caer simplemente, fijándola en la superficie del talud; en la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de piedras.

## d.2) Sembrado de taludes

Mantener una cobertura vegetal en un talud produce indudables efectos beneficiosos, entre los cuales destacan los siguientes:

- Las plantaciones evitan la erosión superficial tanto hídrica como eólica, que puede ocasionar la ruina del talud en el largo plazo.
- La absorción de agua por las raíces de las plantas produce un drenaje de las capas superficiales del terreno.
- Las raíces de las plantas aumentan la resistencia al esfuerzo cortante en la zona del suelo que ocupan.

Para sembrar en taludes se emplean hierbas, arbustos y árboles, privilegiando especies capaces de adaptarse a las condiciones a las que van a estar sometidos (climas, tipo de suelo, presencia de agua, etc.); suelen convenir especies de raíces profundas y de alto grado de transpiración, lo que indica un mayor consumo de agua. Generalmente la colonización vegetal de un talud se hace por etapas, comenzando por la hierba y terminando por los árboles.

Es conveniente no dejar un talud muy plano, sino con salientes que sirvan de soporte, así cuando más tendido sea un talud resultará más fácil que retenga la humedad. Para mantener una cubierta vegetal es más favorable un terraplén que un desmonte.

Los suelos arenosos y areno-arcillosos son ventajosos para un rápido crecimiento de la hierba. Las arcillas duras son inadecuadas a menos que se añadan aditivos o se are el terreno. Cuando la proporción de limo más arcilla es superior al 20% se puede esperar un crecimiento satisfactorio, pero si es inferior al 5% el establecimiento y mantenimiento de la hierba resultarán difíciles.

## **OTRAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA DESLIZAMIENTOS Y CÁRCAVAS**

El proceso de deslizamientos y cárcavas ocurre esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso; asimismo por el socavamiento del río al pie de deslizamientos, la utilización de canales sin revestir, etc. Algunas, medidas que se proponen para el manejo de estas zonas son:

- Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.
- Los canales deben ser revestidos para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- El sistema de cultivo debe ser por surcos en contorno y conectados al sistema de drenaje, para una evacuación rápida del agua.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece a la infiltración y saturación del terreno.

- La remoción de la tierra para realizar el cultivo debe ser superficial pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- En las cuencas altas se debe favorecer el cultivo de plantas que requieran poca agua y proporcionen una buena cobertura del terreno para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el terreno.
- El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Los tramos de carretera que cruzan cauces de quebradas, en donde se producen flujos, deben de ser protegidos por medio de gaviones para evitar los efectos de los huaycos y el socavamiento producido por avenidas en las quebradas. Los gaviones deben ser contruidos teniendo en cuenta los caudales máximos de las quebradas y deben ser cimentados a una profundidad de 1 m como mínimo.
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización, en la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzaran versus la pendiente y profundidad de los suelos, se recomienda que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración a curvas de nivel con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobre pastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal, se debe realizar un manejo de las zonas de pasturas mediante el repoblamiento de pasturas nativas, empleando sistemas de pastoreo rotativo, evitar la quema de pajonales.

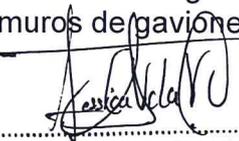
## CONCLUSIONES

1. En la ladera izquierda del valle del río Huasamayo se vienen produciendo varios deslizamientos. Estos eventos se habrían desarrollado sobre cuerpos de deslizamientos antiguos presentes en la zona.
2. Se considera como el factor desencadenante de los deslizamientos de los sectores 2 y 3, es la crecida del río Huasamayo producido por las precipitaciones pluviales periódicas y/o extraordinarias; y a la intensa erosión fluvial que erosiona el pie del deslizamiento y puede desestabilizar el cuerpo del mismo.
3. La activación del deslizamiento en el sector 1, está condicionado a la infiltración de aguas de irrigación desde las partes altas, así como por el corte de la carretera que pasa por la parte baja del deslizamiento, el cual le quita soporte.
4. Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada están condicionados por la naturaleza litológica de la zona, la pendiente de las laderas, la configuración geomorfológica y la presencia de materiales de remoción antigua de eventos antiguos reactivados.
5. Actualmente los deslizamientos en el sector Huasamayo, presentan sucesivas reactivaciones, los cuales se evidencian por la aparición de grietas tensionales dispuestos de manera escalonada a lo largo de las coronas de deslizamientos.
6. Se aprecian sectores puntales que actualmente están siendo afectados por derrumbes, caída de rocas y erosión de laderas, los cuales están representados en el mapa de peligros del sector Huasamayo.

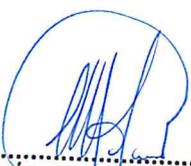
## RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones que deben tomarse en cuenta a corto y mediano plazo son las siguientes:

1. Esta zona debe contar con estudios geológicos, geodinámicos, geofísicos y geotécnicos detallados, considerando la información de este informe.
2. Se debe realizar el relleno y sellado de grietas abiertas, localizadas dentro del cuerpo y sobre la corona del deslizamiento, para evitar la infiltración de aguas de precipitación pluvial que favorecen la saturación de materiales y acelera el colapso de terreno inestable. Una vez tratadas, las grietas deberán inspeccionarse periódicamente y sellarse cada vez que sea necesario. La abertura de grietas reparadas es un signo de reactivación del movimiento en la ladera.
3. Para controlar la erosión fluvial en la margen izquierda del río Huasamayo, sería conveniente colocar muros de gaviones.

  
.....  
JESSICA CAROLINA VELA VALDEZ  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP N° 215198

4. Realizar trabajos de sensibilización con los pobladores de la zona en temas de peligros geológicos y gestión del riesgo de desastres, para que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de nuevos eventos que puedan afectar su seguridad física.



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



.....  
JESSICA CAROLINA VELA VALDEZ  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP N° 215198

## BIBLIOGRAFÍA

- Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre T aludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072
- Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Darwin R. (2003). Memoria descriptiva a la revisión y actualización del cuadrángulo de Huambo. Boletín N°46. Carta Geológica Nacional (Hoja 32-r). INGEMMET.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.
- Huggett, R., (2007). Fundamentals of Geomorphology. Second Edition. Routledge fundamentals of physical geography. London UK. 483 pp.
- Hoek, E. y Marinos, P. (2000). Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. En: Tunnels and tunneling International. Part 1-November 2000, Part 2-December 2000. 22 p.
- Jorge G. (1968). Geología del cuadrángulo de Aplao. Boletín N°20. Carta Geológica Nacional (Hoja 33-r). INGEMMET.
- Medina, L. (2014). "Peligros Geológicos en la Comunidad Campesina Jarahuaña". Distrito Patambuco, Provincia Sandia, Región Puno. INGEMMET. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe Técnico N°A6660. 33p.
- 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.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 176, p. 9-33.