



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

**INGEMMET**

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

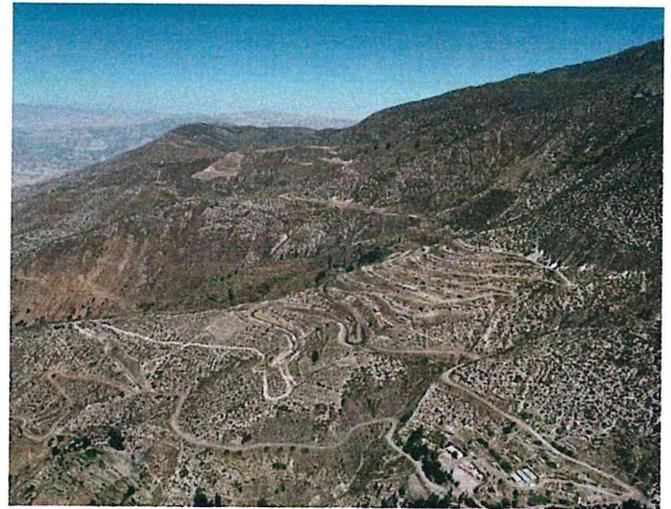
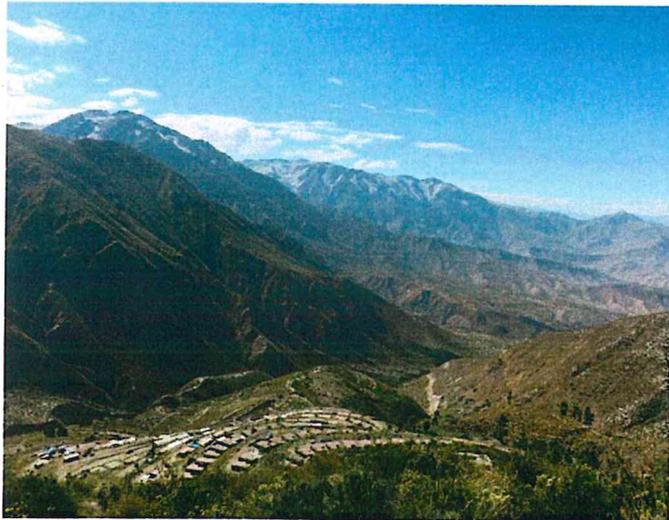
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A6935**

# **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE LA ZONA PROPUESTA PARA REUBICACIÓN EN EL SECTOR DE AMATA**



Región Moquegua  
Provincia General Sánchez Cerro  
Distrito Coalaque



SEPTIEMBRE  
2019

## CONTENIDO

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1 Metodología de trabajo.....	2
2.2 Objetivo del estudio.....	2
3. GENERALIDADES.....	2
3.1 Ubicación y accesibilidad .....	2
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS .....	4
4.1 Unidades Litoestratigráficas.....	4
4.2 Unidades Geomorfológicas.....	10
5. PELIGROS GEOLÓGICOS .....	11
5.1 Erosión de laderas (Cárcavas) - Concepto .....	12
5.2 Caídas o desprendimientos de rocas - Concepto .....	12
5.3 Deslizamiento - Concepto .....	13
5.4 Peligro por caídas de tefras (cenizas y lapilli de pómez) – Concepto.....	14
6. PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE REUBICACIÓN DE AMATA.....	15
6.1 Erosión de laderas (cárcavas) en la zona de reubicación de Amata .....	15
6.2 Caída de rocas en la parte baja de la zona de reubicación de Amata. ....	16
6.3 Deslizamientos en inmediaciones del sector de la reubicación de Amata.....	17
6.4 Deslizamiento actual en Amata antiguo.....	19
6.5 Peligro volcánico por caída de tefras (cenizas y lapilli de pómez) en la zona de reubicación de Amata.....	20
6.6 Mapa de peligros geológicos de la zona de reubicación de Amata .....	21
7. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EROSIÓN DE LADERAS (CÁRCAVAS) Y CAÍDAS DE ROCAS EN LA ZONA DE REUBICACIÓN.....	23
CONCLUSIONES.....	27
RECOMENDACIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA.....	28

## 1. RESUMEN

El informe de inspección contiene datos de observaciones realizadas en la zona propuesta para reubicación en Amata, distrito de Coalaque, provincia General Sanchez Cerro, departamento Moquegua.

En el área de estudio, afloran rocas de la Formación Cachios (Grupo Yura) compuestas por capas de arcillitas muy deleznable. Estas rocas son inestables ante la infiltración de aguas. Geomorfológicamente el área propuesta se encuentra sobre una ladera de montaña en roca sedimentaria de la Formación Cachios.

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 proximidad de la zona a centros volcánicos. El principal peligro geológico que se encuentra en este sector son erosiones de laderas.

De acuerdo a la evaluación de peligros geológicos, el terreno propuesto en Amata se considera apto para la reubicación. Sin embargo, este terreno deber ser utilizado únicamente para vivienda.

## 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.

El Gobierno Regional de Moquegua, mediante el oficio N° 130-2019-GRM-GRRNA, de fecha 05 de junio del presente año, dirigido al presidente ejecutivo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, solicitó una evaluación técnica en la zona propuesta para reubicación en el sector de Amata, distrito de Coalaque, provincia General Sanchez Cerro.

Para la evaluación de peligros geológicos del sector mencionado, el INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, dispuso una brigada especializada en peligros geológicos para que evalúe la zona propuesta para reubicación en el sector de Amata. La brigada estuvo conformada por los ingenieros, Yhon Soncco y Jessica Vela. La inspección técnica se realizó los días 17, 18 y 19 de julio del 2019.

## 2.1 Metodología de trabajo

La metodología para la elaboración del presente informe consta básicamente de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y trabajo de gabinete, las cuales se describen abajo. El desarrollo del informe inició con una salida de campo a la zona de estudio el 17 de julio 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 agosto 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 un modelo de elevación digital de la zona de estudio.

### 2.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa fueron de construcción del modelo de elevación digital de la zona de estudio (DEM de 10 cm de celda), en base a los trabajos de fotogrametría de campo. Los trabajos culminaron con la redacción del informe técnico.

## 2.2 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.

## 3. GENERALIDADES

### 3.1 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se localiza en el sector de Amata, distrito Coalaque, provincia Sánchez Cerro, departamento Moquegua, en la margen derecha del río Amarillo (figuras 1 y 2). Se encuentra a 24 km al oeste del cráter del volcán Huaynaputina.

La zona es accesible desde Arequipa por la carretera asfaltada de Characato, luego se continúa por una carretera afirmada hasta Coalaque, pasando por Pocsi, Polobaya y Puquina. A unos 20 km antes de llegar a Coalaque, se toma un desvío en trocha de 7 km hacia el poblado de Amata.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración (h)
Characato	Coalaque	107	afirmada	3.03
Coalaque	Amata	7	trocha	0.30

Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son:

Latitud: 16°37'11.42"S  
 Longitud: 71° 4'48.83"O

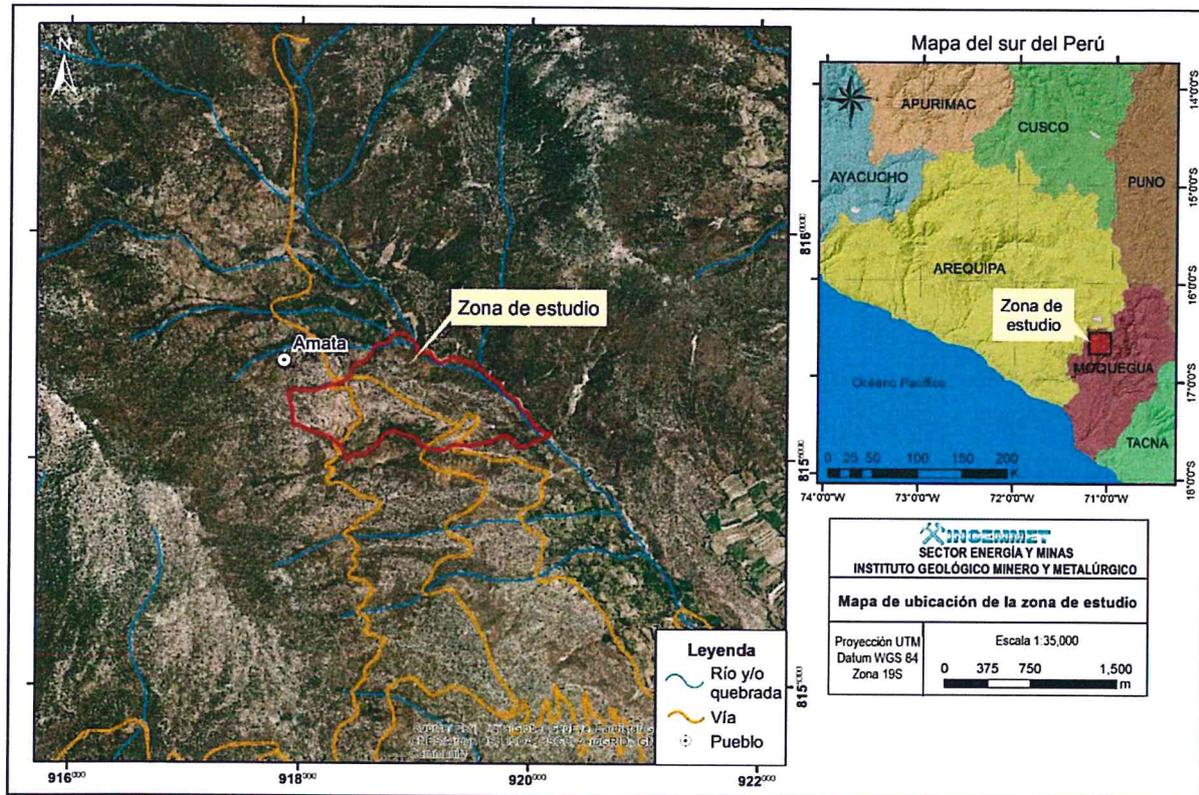
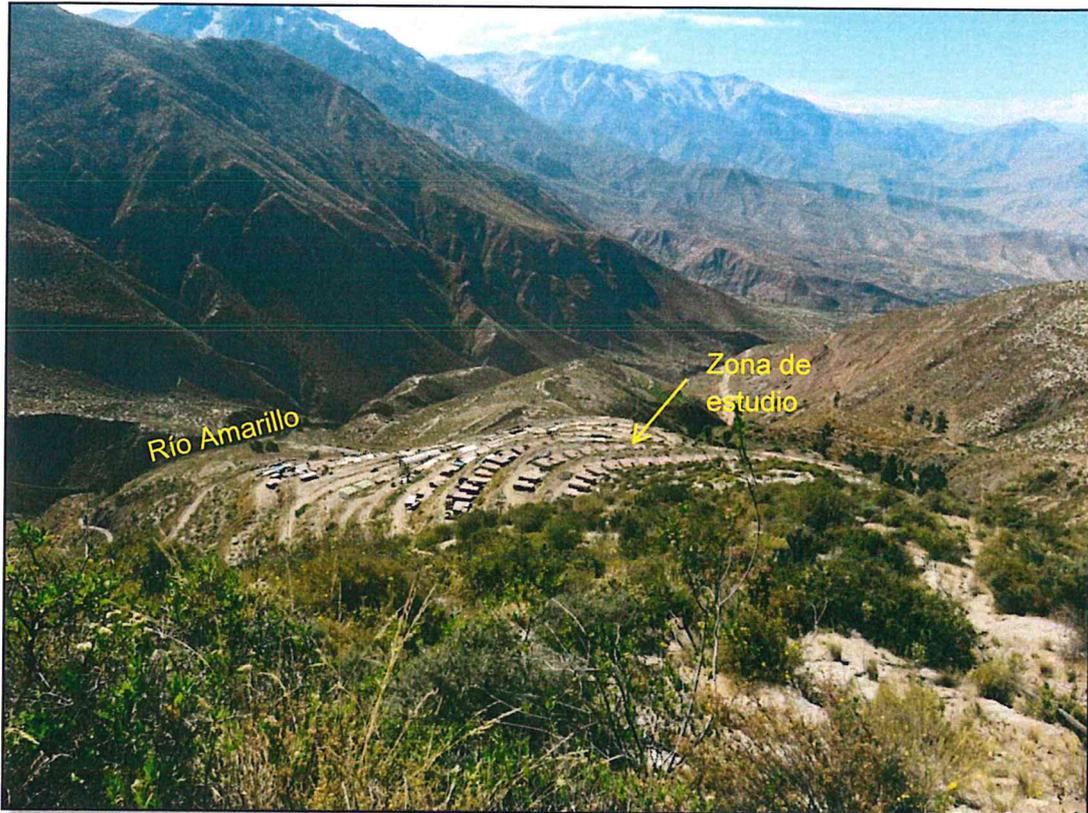


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio



*Figura 2. Vista panorámica de la zona de estudio.*

#### **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 Puquina (34-t), Darwin Romero (2000) y Wilfredo G. (1978).

- a) **Complejo basal de la costa:** Aflora a 1.7 km al noreste de la zona de estudio (figura 3). Se trata de rocas tipo gneises, que conforman la unidad geológica más antigua. Sus principales afloramientos se localizan en el valle de Coalaque, constituyendo un cuerpo continuo hacia el sector de Omate. Los gneis son cuerpos bandeados, en el que se distingue feldespato potásico y cuarzo hialino en las bandas claras, micas (biotita) y hornblenda en las bandas oscuras. Esta unidad en toda su extensión se encuentra asociado a vetas de cuarzo poco deformadas, Darwin (2000). Estos depósitos son susceptibles a generar caída de rocas y derrumbes.

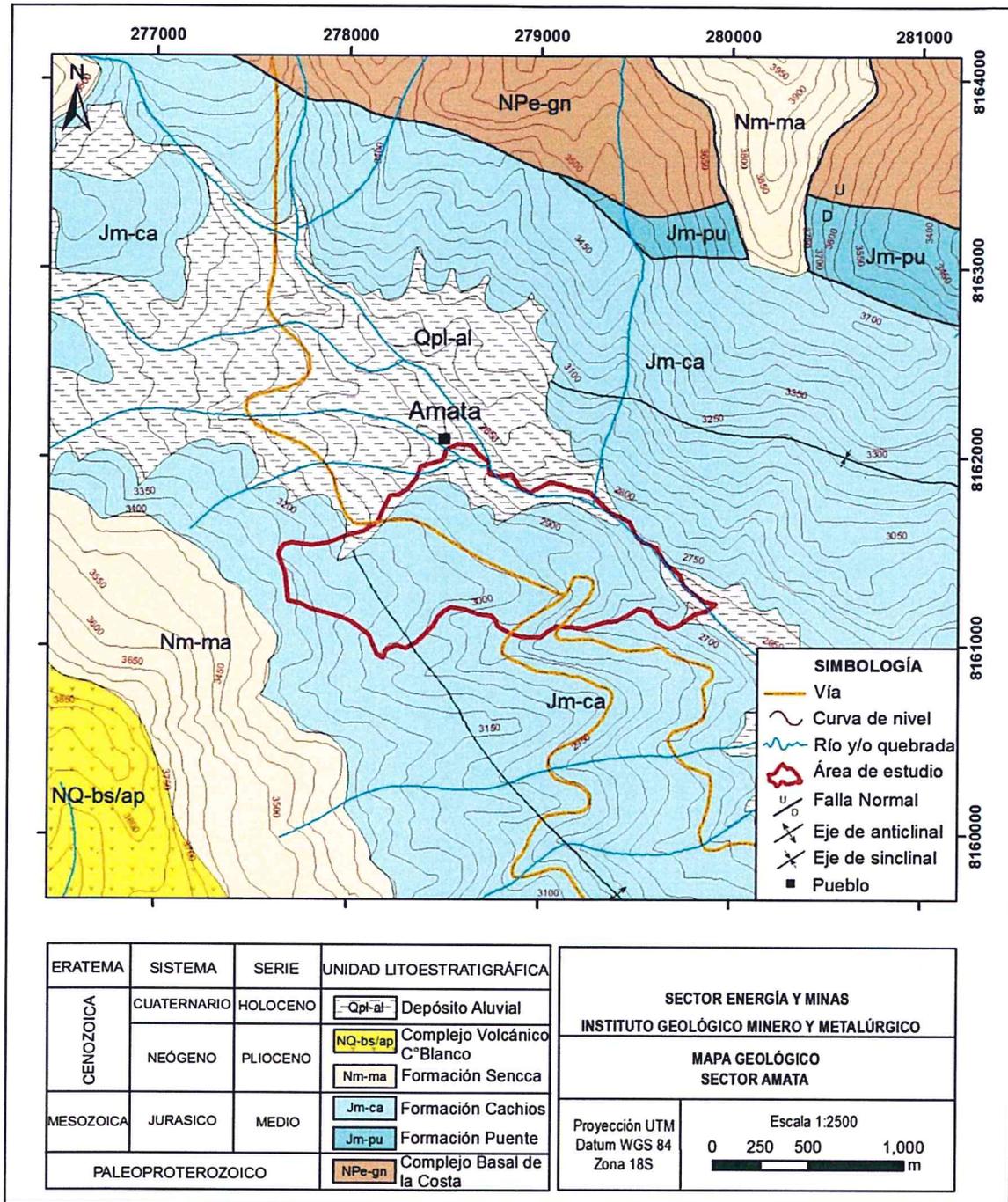


Figura 3. Mapa geológico del área de estudio

b) **Grupo Yura:** Es la unidad litoestratigráfica más extensa del área de estudio. Aflora en diversos lugares del cuadrángulo de Puquina y Omate. Se distinguen afloramientos de una gruesa secuencia de rocas mayormente clásticas de ambiente marino que guardan similitud litoestratigráfica e idéntico contenido de fauna (ammonites) con los depósitos de la formación Yura descritos por Jenks en los alrededores de Arequipa, lo cual indica que se trata de la misma unidad estudiada por dicho autor (1948).

En la zona de estudio y alrededores se han identificado las Formaciones Puente y Cachios del Grupo Yura de edad Jurásico medio (Jenks, 1948). Estas formaciones presentan moderada susceptibilidad a ser afectados por caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.

- **Formación Puente:** Aflora a 1.6 km al noreste de la zona de estudio (figura 3). Litológicamente, está representado por una secuencia de rocas clásticas que consisten mayormente en areniscas cuarzosas de color pardo y lutitas carbonosas, con algunas intercalaciones de derrames volcánicos. Las areniscas cuarzosas son de grano fino a medio, en superficies frescas tiene color gris, gris verdoso y pardo amarillento que por acción del intemperismo cambian a pardo rojizo, presentando manchas marrón-rojizo producidas por la alteración de minerales de fierro, siendo frecuente distinguir en su masa limonita y pirita. Las areniscas casi no varían su carácter y están estratificadas en capas delgadas con disyunción en lajas, Wilfredo (1978). En aquellos lugares donde las areniscas se tornan más cuarzosas, los mantos varían de grosor de 0.30 a 1.00 m. Las lutitas son carbonosas, fisibles, con algunas estructuras arriñonadas y altamente fracturadas, de color gris oscuro a negras.
  
- **Formación Cachios:** Las principales rocas que afloran en el área de Amata son rocas de la formación Cachios (figura 4). La zona de estudio se encuentra sobre estos depósitos. Litológicamente están conformadas por arcillitas de colores negros, grises, verdes, marrones, pardo amarillentas, etc., cubiertas en algunas partes por costras blancas. Las arcillitas se presentan en capas delgadas, friables, apreciándose algunas estructuras arriñonadas y fácilmente deleznable; con frecuentes nódulos de núcleo mayormente arenoso de grano fino. Estas capas se intercalan con algunos lechos de areniscas de colores claros y de grano fino. El miembro Cachíos descansa concordantemente sobre las areniscas y arcillitas del miembro Puente. Su contacto inferior queda establecido en los lugares donde son escasas las capas de areniscas que se intercalan en la secuencia de arcillitas. El contacto superior ofrece un cuadro similar, debido a que el miembro Labra que lo suprayace posee características litológicas semejantes a las del miembro Puente, Wilfredo (1978).



*Figura 4. Afloramiento de arcillitas gris oscuras intercalado con niveles de areniscas de la Formación Cachios, en el sector de Amata.*

En la zona de estudio se ha observado depósitos coluviales y depósitos de lapilli de pómez sobre los afloramientos de la Formación Cachios. Los depósitos coluviales están compuestos por gravas envueltas en una matriz limoarcillosa; con clastos de granodiorita y areniscas, de formas sub-redondeadas y diámetros de hasta 0.70 m (figura 5). Los depósitos de caída de lapilli de pómez son producto de la última erupción del volcán Huaynaputina (figura 6). El depósito de caída es rico en pómez, de color blanquecino, con gradación inversa de la base hacia la parte media, luego continua una gradación normal hacia el tope; las pómez miden hasta 0.5 cm de diámetro y tienen formas redondeadas. En este depósito también se observa líticos oxidados y accesorios de hasta 0.5 cm de diámetro, de formas angulosas.



*Figura 5: Afloramiento en la zona de estudio. Muestra depósito de lapilli de pómez del volcán Huaynaputina sobreyaciendo a depósitos coluviales. Ambos depósitos sobreyacen a las arcillitas de la formación Cachios.*



*Figura 6: Calicata de 2.5 m de profundidad en la zona de estudio. Se observa depósito de lapilli de pómez del Huaynaputina sobre depósitos de la Formación Cachios.*

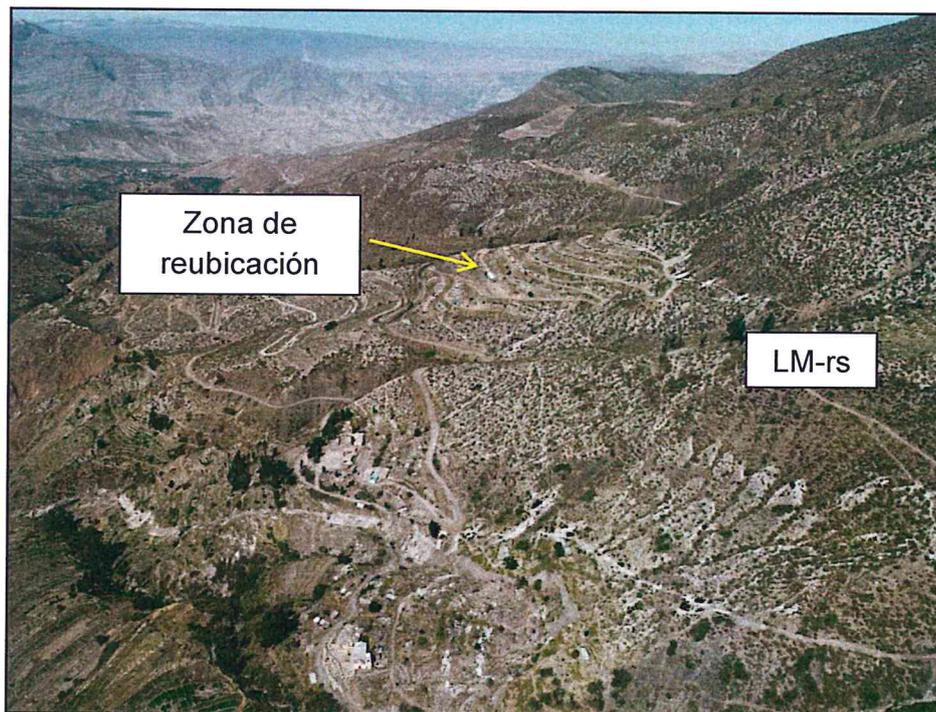
- c) **Formación Sencca:** Aflora a 300 m al oeste de la zona de estudio. Corresponde a ignimbritas de composición riolítica, de color rojizo. Sobreyace discordantemente al Grupo Yura (formaciones Puente, Cachíos). Se tienen afloramientos de tobas blancuecinas con cristales de cuarzo-plagioclasa y biotita. No se tiene datación alguna para dichas unidades, sin embargo, se tiene referencia de una datación efectuada por Laharie (1973), dándole una edad de 3.05 Ma. Estos depósitos son susceptibles a ser afectados por caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.
- d) **Grupo Barroso (Complejo Volcánico Cerro Blanco - Cerro Sataico):** Aflora a 1 km al oeste de la zona de estudio. En este complejo volcánico se puede reconocer hasta tres secuencias lávicas: la secuencia inferior corresponde a un flujo lávico traquiandesítico gris oscuro, seguido de una secuencia de lavas andesíticas grises, lavas porfiríticas grises de composición andesítica. La dirección lávica de estos flujos tiene una tendencia noreste a suroeste y se encuentran cubriendo terrenos Precámbricos, Darwin (2000). Estos depósitos son susceptibles a ser afectados por caídas de rocas.
- e) **Depósitos aluviales:** Formados por materiales poco consolidados, carentes de selección. Litológicamente corresponde a arenas, arcillas, cenizas retrabajadas y cantos que cubren indistintamente a los diversos afloramientos, conformando terrazas apropiadas para la agricultura.

## 4.2 Unidades Geomorfológicas

La principal unidad geomorfológica identificada en la zona de estudio es la siguiente:

**4.2.1 Unidad de Montañas:** Se considera dentro de esta unidad a las geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza. Se encuentran conformadas por alineamientos alargados, constituidos principalmente de rocas sedimentarias. Dentro de esta unidad se tienen la siguiente subunidad:

**Ladera de montañas en roca sedimentaria. (LM-rs):** Están conformadas por laderas de montañas que han sido modeladas en rocas sedimentarias (lutitas de la Formación Cachios). La altitud de las montañas desde el fondo de valle del río Amarillo hasta la cima corresponde de 2700 hasta 3800 m s.n.m. respectivamente (figura 7). Debido a la forma del terreno mixto (cóncavo y convexo) las pendientes de la ladera de las montañas varían principalmente de 35° a 45° considerada como pendiente muy fuerte, dentro de este rango de pendientes se puede encontrar áreas que tienen pendientes muy escarpadas (>45°). 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.



*Figura 7. La zona de estudio se encuentra sobre la unidad geomorfológica ladera de montañas en roca sedimentaria (LM-rs)*

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

La zona de reubicación de Amata, geomorfológicamente se ubica en una ladera de montaña con una pendiente pronunciada, sobre el cual se ha acumulado material coluvial, depósitos de caída de lapilli pómez y ceniza de la erupción del volcán Huaynaputina ocurrido en el año 1600. El volcán Huaynaputina se ubica a 24 km al este de la zona de estudio, (figura 8).

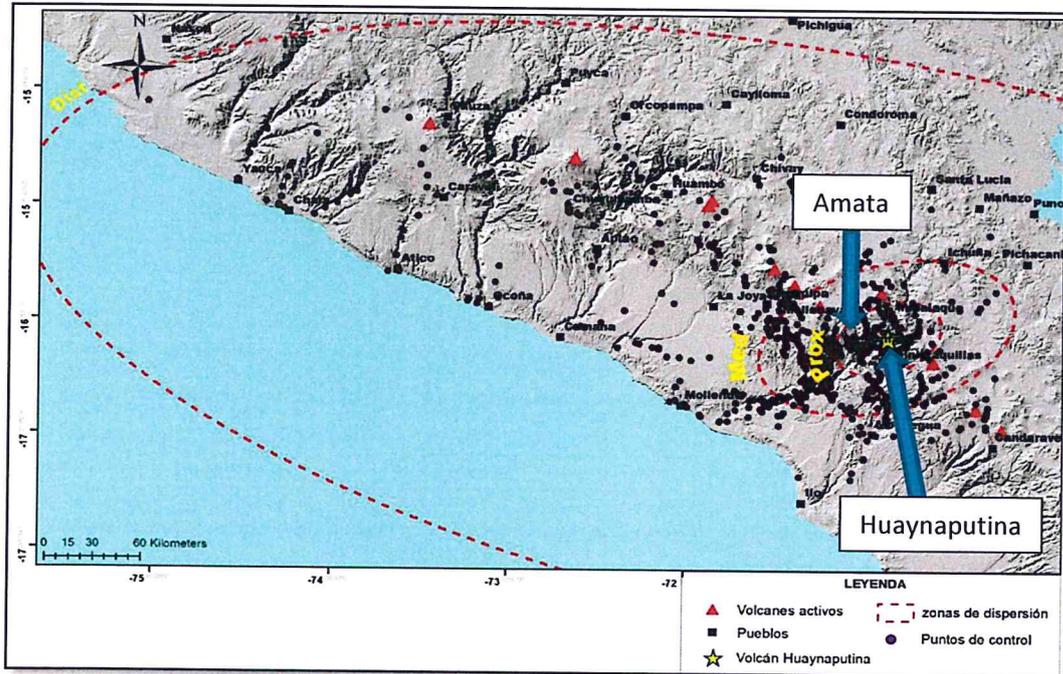


Figura 8. Zona de dispersión del depósito de caída pliniana, de la erupción del volcán Huaynaputina en el año 1600 d.C. (Muestra las zonas, proximal, medial y distal) Japura, S. (2018)

Los trabajos de elaboración del presente estudio, permitió identificar en la zona de reubicación del centro poblado Amata los siguientes peligros geológicos, que a continuación se mencionan de manera jerárquica:

- a) Peligros por erosión de laderas (Cárcavas), cuya condicionante principal es el tipo de roca.
- b) Peligros por caída o desprendimiento de rocas, este tipo de peligros se presenta de manera puntual en la parte baja de la zona de reubicación del centro poblado de Amata.
- c) Peligros por deslizamientos, cabe mencionar que este tipo de peligros se incluye únicamente debido a que, a menos de 500 m al noreste de la zona de reubicación, se observa un gran deslizamiento antiguo. Además, este deslizamiento ha presentado reactivación en la parte baja de su cuerpo.
- d) Peligro volcánico, por caída de lapilli pómez y ceniza, debido a la proximidad de la zona de estudio hacia el volcán Huaynaputina

Los factores condicionantes o intrínsecos que favorecen la ocurrencia de erosión de ladera son la litología (calidad de la roca, permeabilidad, material suelto), morfología y la pendiente del terreno.

## 5.1 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 9).

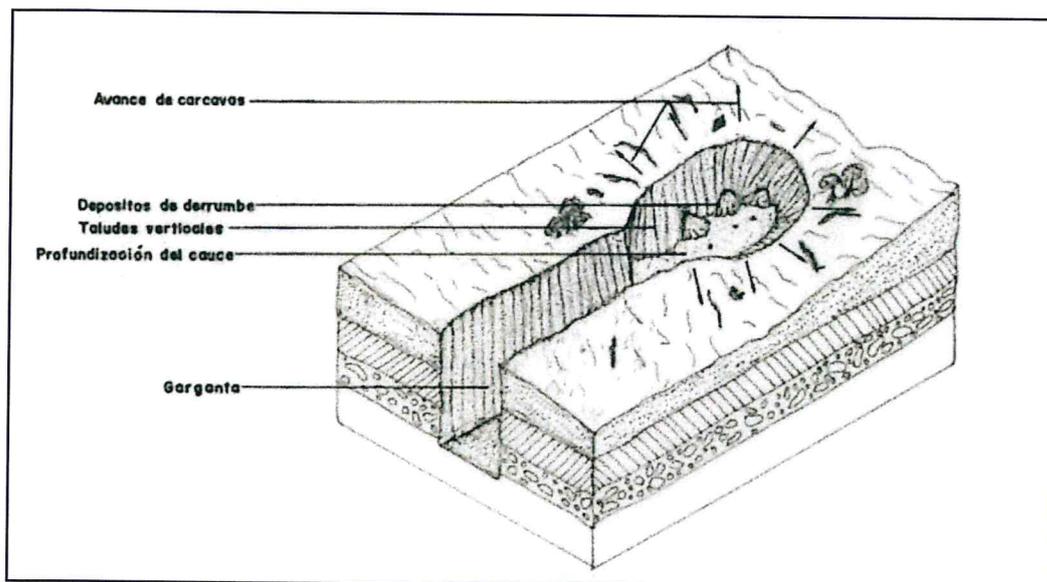


Figura 9. Proceso de formación de cárcavas

## 5.2 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 10). 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.

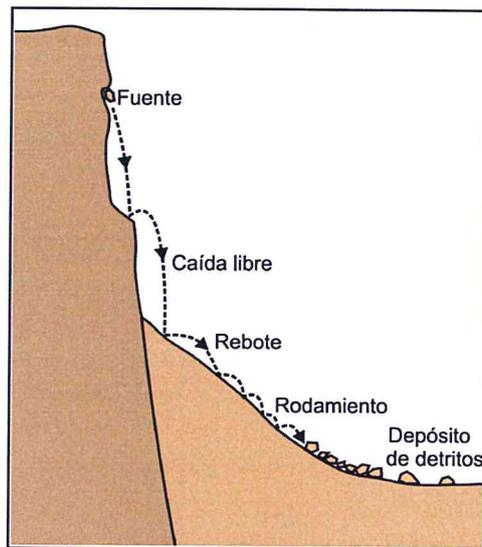


Figura 10. Esquema de la caída de rocas

### 5.3 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 11), 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.

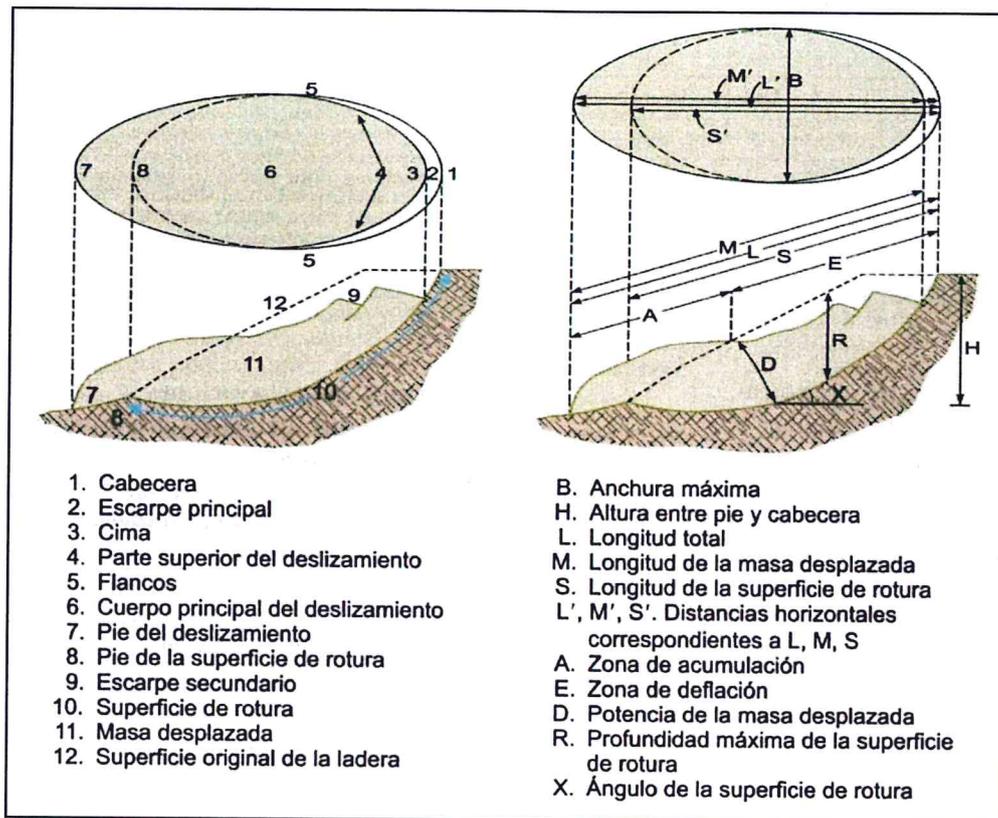


Figura 11. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo., (2002).

#### 5.4 Peligro por caídas de tefras (cenizas y lapilli de pómez) – Concepto

Las caídas de piroclastos se generan durante erupciones explosivas, cuando los fragmentos de roca son expulsados hacia la atmósfera de forma violenta, formando una columna eruptiva que puede alcanzar varias decenas de kilómetros sobre la superficie y que posteriormente caen sobre la superficie terrestre. Los fragmentos más grandes y densos caen cerca del volcán y se denominan bombas o bloques (>64 mm), mientras que las partículas de menor tamaño, denominadas lapilli (2-64 mm) y ceniza (<2 mm) son llevadas por el viento a grandes distancias, luego caen y forman una capa de varios milímetros o centímetros de espesor Walker. (1971). Las partículas pueden afectar extensas áreas, de algunas centenas de km<sup>2</sup> a mayores de 800 km<sup>2</sup> Cas y Wright, (1987).

Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, colapsar los techos por el peso acumulado, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros Tilling. (1989).

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE REUBICACIÓN DE AMATA

### 6.1 Erosión de laderas (cárcavas) en la zona de reubicación de Amata

En este sector ubicado a 3200 m s.n.m. se observan principalmente depósitos de caída de lapilli de pómez y depósitos de ceniza de la erupción del volcán Huaynaputina.

En época de lluvias intensas estos materiales son afectados por erosión de ladera (cárcavas), figuras 12 y 13. Se ha evidenciado en algunos sectores que las 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.

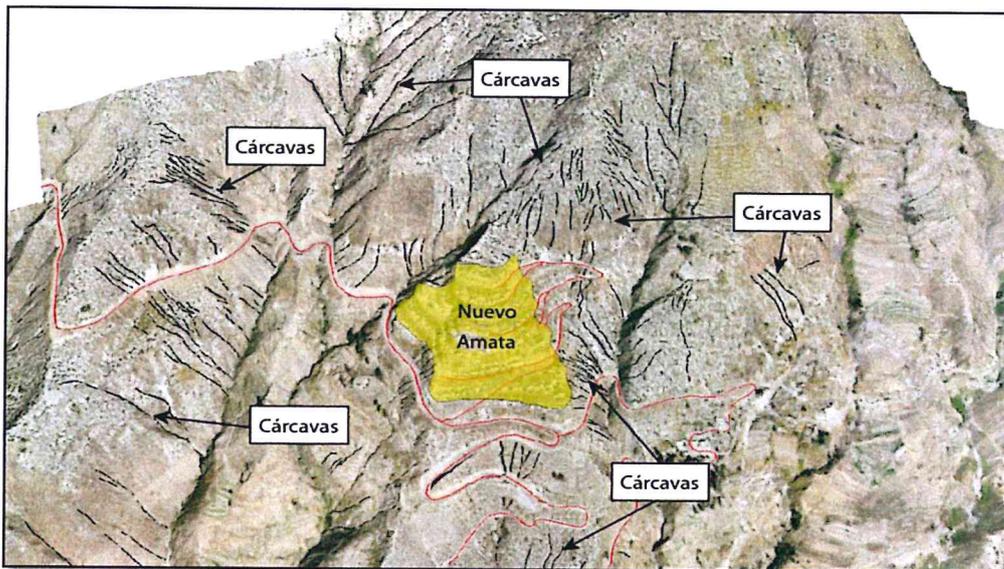


Figura 12. Muestra la erosión de laderas por cárcavas en inmediaciones de la zona de reubicación de Amata.

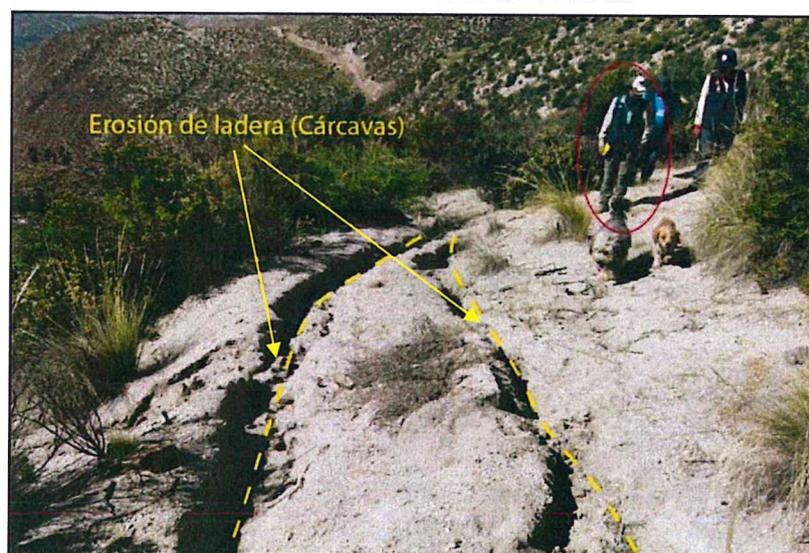


Figura 13. Muestra la erosión de laderas en la parte alta de la zona de reubicación de Amata.

## 6.2 Caída de rocas en la parte baja de la zona de reubicación de Amata.

En inmediaciones de la zona de reubicación del nuevo Amata, el arranque de la caída de rocas se encuentra a unos 700 m. abajo. Donde se presentan escarpes de moderada a alta pendiente, entre 30° hasta 35° (figura 14). Corresponden a taludes formados por el corte de una antigua carretera.

La roca se encuentra poco a medianamente fracturada. Se tienen bloques entre 0.20 a 1 m de diámetro, mostrando un GSI entre 55 – 65 (Tabla N° 1).

En el mapa de peligros geológicos de la zona evaluada, se puede observar que la caída de rocas ocurre en zonas puntuales dentro de la zona evaluada.

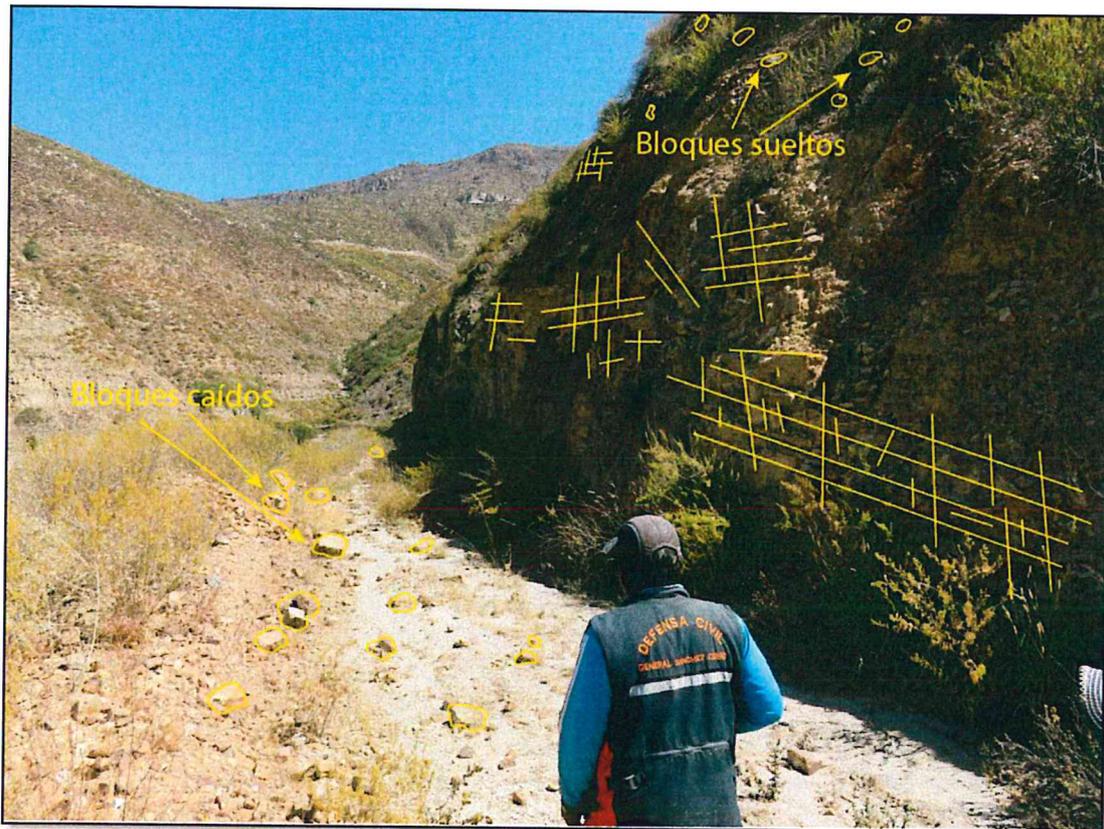


Figura 14. Muestra una de las zonas afectadas por caída de rocas.

El Índice de Resistencia Geológica (Geological Strength Index-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><b>ROCAS DIACLASADAS (Hoek and Marinos, 2000)</b> 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 mas 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 esta presente. Cuando trabajamos en rocas de regular o mala calidad, cambian las condiciones por el cambio de humedad. La</p>		<p><b>CONDICIONES DE SUPERFICIE</b></p> <p>MUY BUENAS Superficies muy rugosas, superficies no meteorizadas, frescas</p> <p>BUENAS Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro</p> <p>REGULAR Superficies isas, moderadamente meteorizadas y alteradas</p> <p>POBRE Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización y rellenos compactos o rellenos de frag.</p> <p>MUY POBRE Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos de arcilla suave.</p>				
<p><b>INTACTA O MASIVA</b> -Especímenes de roca intacta o masiva in-situ, roca con discontinuidades amplias y espaciadas</p> <p><b>FRACTURADA</b> - Macizo rocoso con bloques entrelazados, consistente en bloques cúbicos formados por tres intersecciones de</p> <p><b>MUY FRACTURADA</b> - Macizo parcialmente perturbado con bloques entrelazados y angulares, formados por cuatro o mas</p> <p><b>FRACTURADA / PERTURBADA</b> - Macizo rocoso plegado formado por bloques angulares formados por la intersección de varios</p> <p><b>DESINTEGRADA</b> - Macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente</p> <p><b>FOLIADA / LAMINADA</b> - Se carece de bloques debido débil material presente en los planos de foliación o de cizalla</p>		<p><b>DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE</b> →</p> <p><b>DECRECE EL ENTRETRABAMIENTO DE LOS BLOQUES</b> ↓</p>				
	<p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	
	<p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	
	<p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	
	<p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	
	<p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	
	<p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	

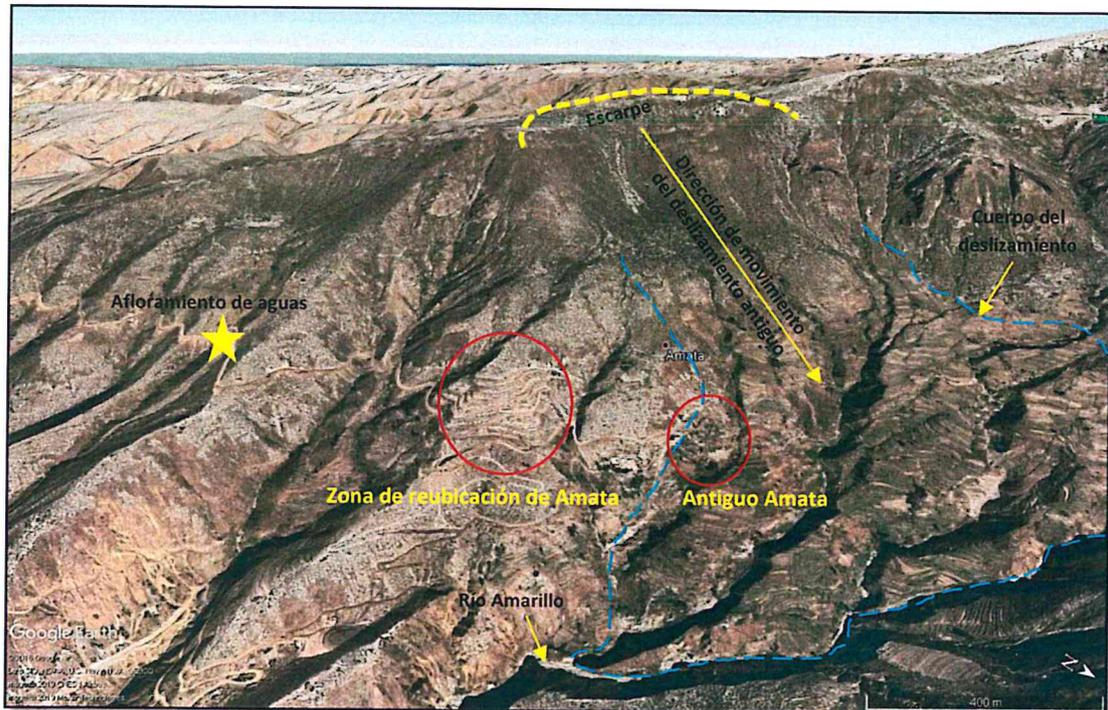
Tabla 1: Caracterización del macizo rocoso GSI, basado en las condiciones litológicas, estructura y superficiales de las discontinuidades (fuente: modificado Hoek, 2002)

### 6.3 Deslizamientos en inmediaciones del sector de la reubicación de Amata

Al oeste de la zona de reubicación de Amata, aproximadamente a 2 km en línea recta se evidencian una depresión con forma de herradura correspondiente a un deslizamiento antiguo (figura 15). La corona y el escape de este deslizamiento no se observa nítidamente debido a la intensa erosión que afecta este sector. La masa desplazada del deslizamiento llegó hasta el cauce del río Amarillo (río que cruza la parte baja del sector). En el cuerpo de los

deslizamientos se aprecian lomeríos y pequeñas quebradas, estas últimas generadas por la acción erosiva del agua.

La zona de reubicación del centro poblado de Amata se encuentra a una distancia aproximada de 500 m al sureste del cuerpo del deslizamiento antiguo.



*Figura 15. Muestra el deslizamiento antiguo a 500 metros de la zona de reubicación del centro poblado de Amata.*

La dirección del desplazamiento de la masa deslizada es hacia el este, es decir hacia el valle del río Amarillo. 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).

En la zona de reubicación del centro poblado Amata, no se ha encontrado indicios de asentamiento de terrenos que indiquen la formación de un deslizamiento; pero si se ha encontrado afloramientos de agua de infiltración que provienen de las partes altas (figura 15). La infiltración de agua es uno de los principales factores desencadenantes de deslizamientos (figura 16).



*Figura 16: Afloramiento de aguas provenientes de infiltración. La foto fue tomada a 1 km, al sur de la zona de reubicación del centro poblado de Amata.*

#### **6.4 Deslizamiento actual en Amata antiguo**

En el sector de Amata antiguo se aprecia un deslizamiento rotacional activo, el cual se desarrolla dentro de un deslizamiento antiguo, ubicado al norte de la zona de reubicación. Corresponde a un deslizamiento en la margen izquierda del río Amarillo, sobre los 3100 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.

Según las manifestaciones de los pobladores, este deslizamiento presentó una reactivación considerable en el mes de febrero del presente año, afectando por completo al centro poblado del antiguo Amata, (figura 17).

##### **– Características del deslizamiento**

Se trata de un deslizamiento tipo rotacional. La corona del deslizamiento posee forma irregular, mide 1000 m de longitud de escarpe; el salto del escarpe principal del deslizamiento posee un máximo de 9 m; el deslizamiento se desarrolla entre las cotas 3100 a 2850, es decir tiene un desnivel de 250 m.

Se estima que la masa movilizada afectó un área aproximada de 280 000 m<sup>2</sup>. Este deslizamiento es la reactivación de un segmento del deslizamiento antiguo ubicado en esta zona.

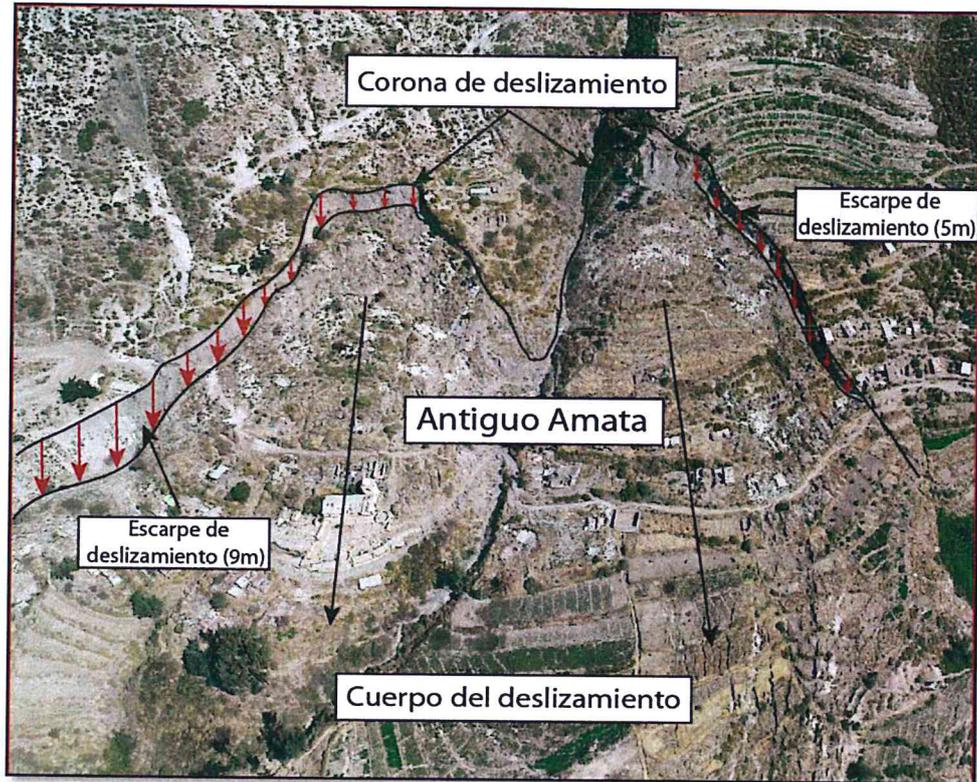


Figura 17. Muestra el deslizamiento rotacional en el centro poblado antiguo Amata

#### – Causas del deslizamiento

Las causas de la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno, presencia de agua en los materiales (roca, suelos).

Las causas son:

- Rocas de mala calidad, conformadas principalmente por suelos retrabajados, provenientes de deslizamientos antiguos en el sector. Suelos inestables cuando se saturan de agua.
- El sector posee una pendiente del terreno de 25°, que permite que la masa inestable se desestabilice y se desplace cuesta abajo.
- La infiltración de aguas utilizadas para riego de cultivos por gravedad mediante canales, que no cuentan con el revestimiento necesario para evitar la infiltración.

El factor desencadenante son las precipitaciones pluviales en periodos de lluvia, que ocurre anualmente.

#### 6.5 Peligro volcánico por caída de tefras (cenizas y lapilli de pómez) en la zona de reubicación de Amata

En la zona de reubicación del centro poblado de Amata, se ha encontrado depósitos de caída de lapilli de pómez de hasta 1 m de potencia, así como niveles

centimétricos de ceniza. Estos corresponden a depósitos emplazados durante la erupción del volcán Huaynaputina en el año 1600. En el estudio sobre dispersión de ceniza realizado por Japura, S. (2018) del volcán Huaynaputina, se consideraron tres zonas de dispersión de ceniza: zona proximal de 0 a 32 km con espesores de ceniza de 0.4 a 12 m, zona media de 32 a 78 km con espesores de ceniza que van de 0.1 a 0.4 m y finalmente la zona distal, superior a 78 km con espesores de ceniza entre 0.01 a 0.1 m.

Según el mapa de isópacas, la zona de reubicación de Amata se encuentra en el eje de dispersión de la erupción del 1600 del volcán Huaynaputina. Además, se encuentra en la zona proximal por caída de ceniza, por ubicarse aproximadamente a 24 km del cráter del volcán Huaynaputina, (figura 18).

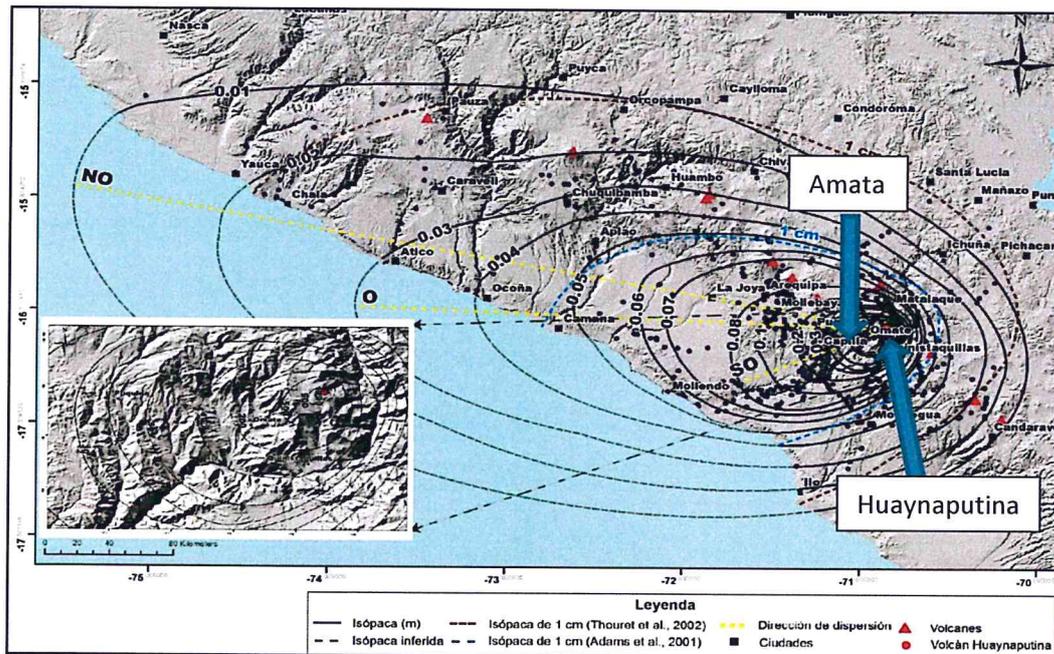


Figura 18. Mapa de isópacas del depósito de caída pliniana, donde se muestra la variación del espesor (cm) con la distancia respecto al cráter. Japura, S. (2018)

## 6.6 Mapa de peligros geológicos de la zona de reubicación de Amata

En base a la cartografía de peligros geológicos en las inmediaciones de la zona de reubicación de Amata, se ha elaborado un mapa de peligros geológicos (figura 19), el cual incluye principalmente peligros por erosión de ladera (cárcavas), peligros por caída de rocas, peligros caída de tefras, este último en base a los depósitos encontrados en campo y los mapas de isópacas presentados en el estudio de Japura, S. (2018).

La cartografía de los peligros, se realizó en imágenes de alta resolución obtenidas mediante fotogrametría, empleando drone.

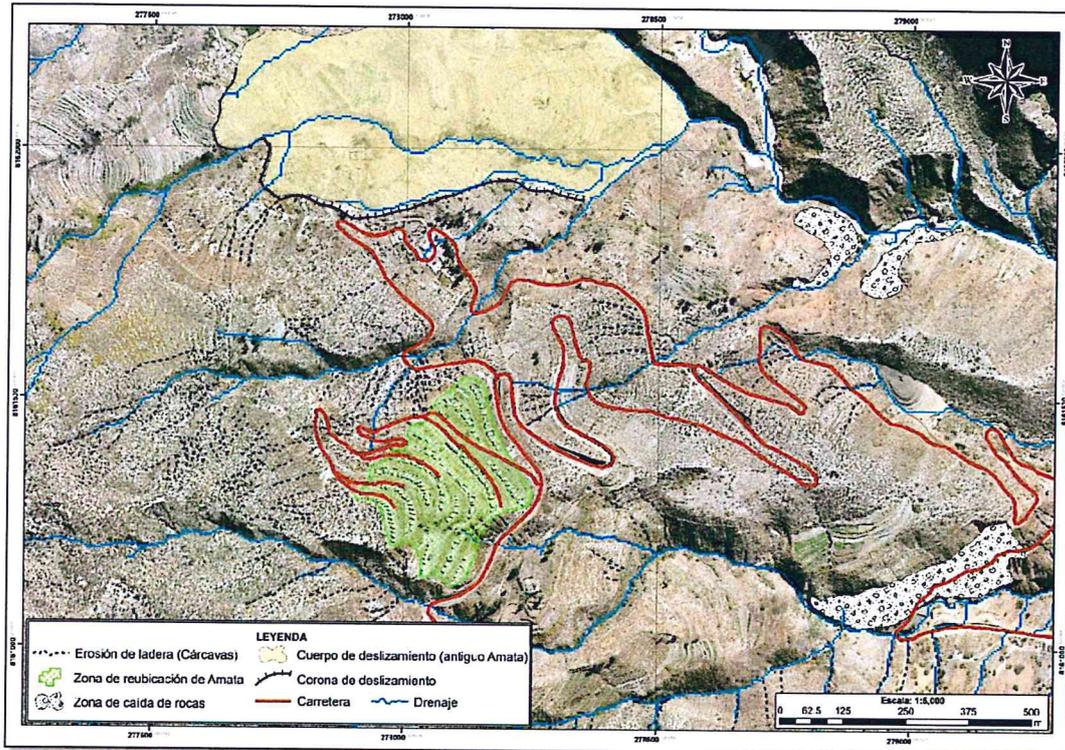


Figura 19. Mapa de peligros geológicos de la zona de reubicación del centro poblado de Amata.

## **7. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EROSIÓN DE LADERAS (CÁRCAVAS) Y CAÍDAS DE ROCAS EN LA ZONA DE REUBICACIÓN**

Las medidas preventivas y/o correctivas se pueden realizar en: 1) taludes en construcción y 2) laderas que tienen pendientes fuertes y es necesaria su estabilización. Para definir la solución ideal es necesario valorar diferentes parámetros, sean de tipo constructivo o económico.

### **A) 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:

#### **a.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.

#### **a.2) Sembrado de taludes**

Mantener una cobertura vegetal en un talud produce indudables efectos beneficiosos (figura 20), 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.

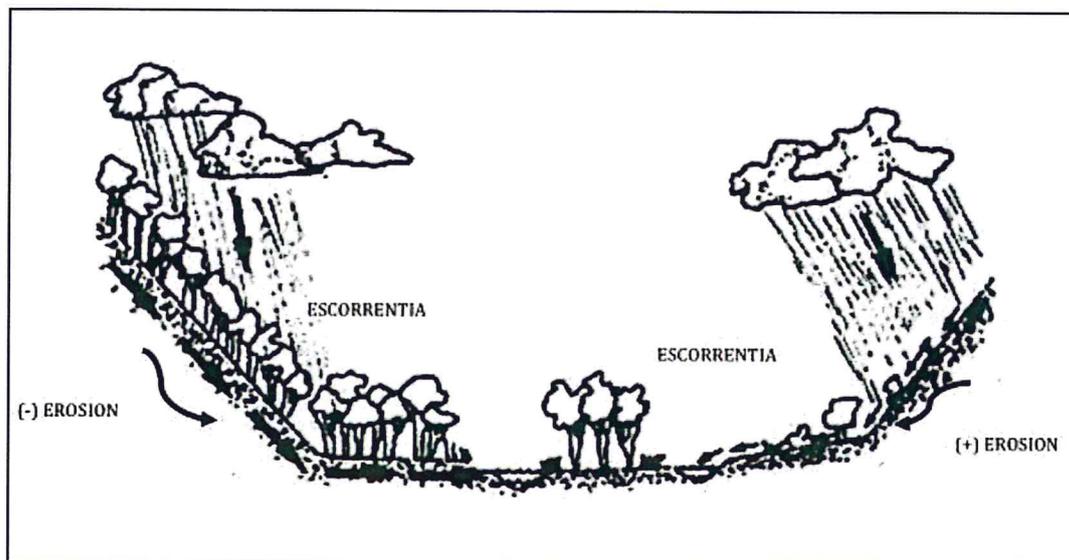


Figura 20. Interacción de suelos con y sin vegetación frente a la erosión.

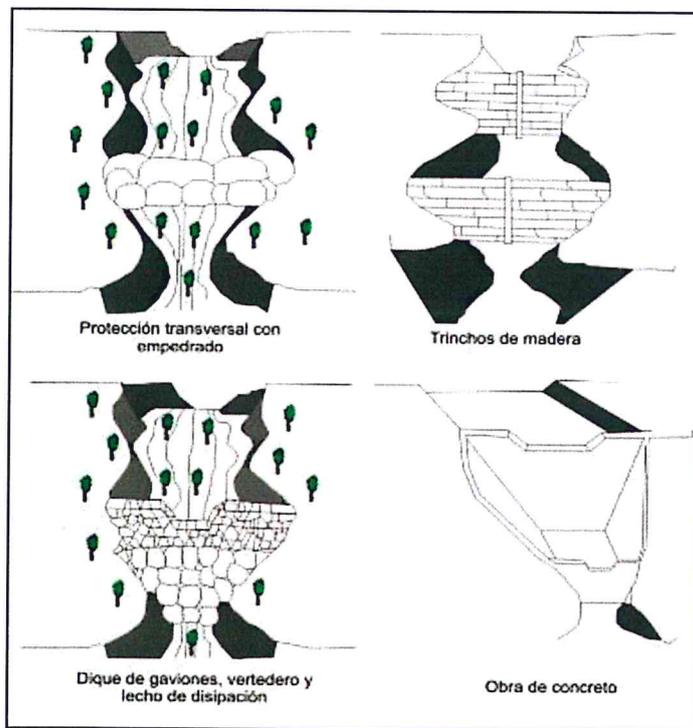
## B) Construcción de Obras Transversales.

Si bien se han descrito algunos trabajos correctivos de carácter transversal en su disposición sobre el terreno, en sentido perpendicular al eje principal de la cárcava o línea de flujo, se ha querido agrupar bajo esta denominación, aquellas técnicas que además de controlar el movimiento del agua en superficie, buscan, de forma clara, la generación de un proceso de sedimentación. De acuerdo con esto, su finalidad principal es retener los sedimentos producto del desgaste del

suelo, que provienen de la parte superior o ladera arriba, y suavizar la pendiente en el fondo de la cárcava; gracias a esto se produce una colmatación que, o bien es aprovechada por la vegetación para la colonización, o es ésta inducida mediante diferentes técnicas de repoblamiento vegetal.

Algunos autores (Fournier, 1975; SCS, 1973) las consideran obras complementarias en el sentido de que apoyan las actividades de remodelado de la pendiente y de establecimiento de coberturas vegetales, contribuyendo en la disipación de la energía hídrica. Por otra parte, las estructuras de tipo permanente tienen una duración mucho mayor; son construidas en concreto, cemento y otros tipos de materiales, y por contrapartida, son más costosas. Como ejemplo se tienen los diques de suelo cemento (figura 21).

Diques en suelo cemento. En lugar de ser rellenos los sacos con material de la cárcava, se hace con cemento y limo proveniente de ellas en proporción 1:10; el porcentaje de agua en la mezcla debe ser del 10 al 20% por peso y el suelo debe estar libre de terrones, siendo los tamaños de partículas recomendables menores de 9,5 mm o 3/8 pulgada. Se deben preparar cantidades en forma tal que puedan ser colocadas en un lapso de tiempo apropiado, para lo cual se citan volúmenes inferiores a 1 m<sup>3</sup> de material preparado; la altura de la estructura y las especificaciones restantes son las anotadas para la recién descrita.



*Figura 21: Obras hidráulicas transversales para cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales (Tomado de Instituto Nacional de Vías-Colombia-1998).*

### C. Incorporación de Material Vegetal.

Las estructuras transversales, además del objetivo de controlar el escurrimiento, tienen la función de propiciar las condiciones necesarias para la colonización y crecimiento de vegetación sobre las superficies de colmatación que favorecen; sin embargo, algunas de estas estructuras en su diseño, incorporan

expresamente la implementación de coberturas vegetales (caso de estacas vivas que complementan obras de carácter transversal). Asimismo, para la corrección de cárcavas, son formulados programas específicos de repoblamiento vegetal, que van desde la siembra y conformación de barreras vivas con plantas de porte herbáceo y arbustivo, hasta la reforestación de partes altas de las cuencas de drenaje y áreas cuya estabilización requiere de sistemas radiculares profundos (figura 22).

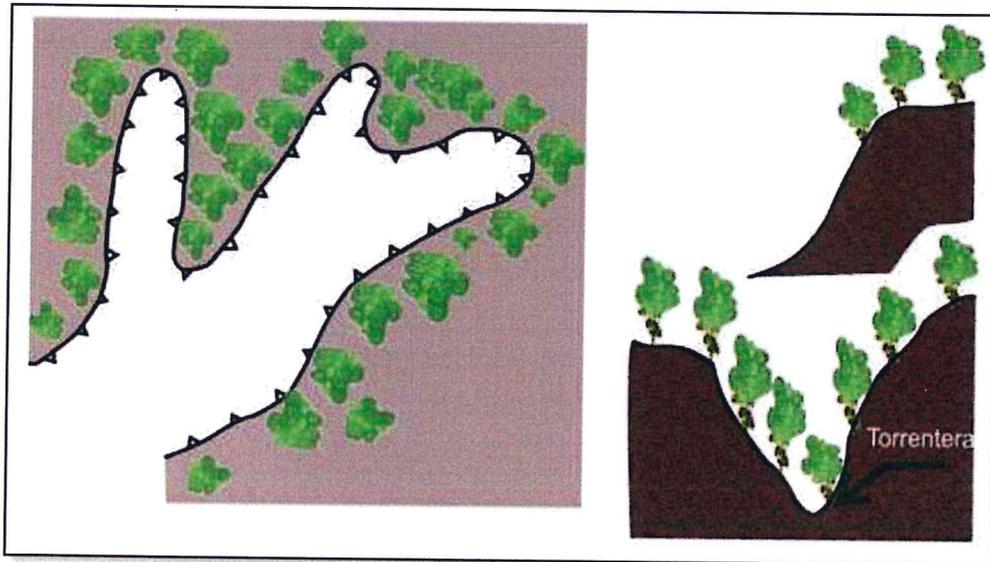


Figura 22. Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

## OTRAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA CÁRCAVAS

El proceso de cárcavas ocurre esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica mal desarrollada que acelera el proceso. Algunas, medidas que se proponen para el manejo de estas zonas son:

- Los canales deben ser revestidos para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- 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 construidos teniendo en cuenta los caudales máximos de las quebradas y deben ser cimentados a una profundidad de 1 m como mínimo.
- 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 alcancen 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.

## CONCLUSIONES

1. 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 proximidad de la zona a centros volcánicos.
2. De acuerdo al mapa por movimientos en masa, la zona de reubicación del centro poblado de Amata viene siendo afectado principalmente por erosión de ladera (cárcavas). Este fenómeno se intensifica en suelos sueltos poco compactos, que en este caso está representado por depósitos caída de lapilli pómez y ceniza, depositados durante la erupción del volcán Huaynaputina en el año 1600. Como medidas preventivas por erosión de laderas y cárcavas seguir las recomendaciones del ítem 6.
3. Desde el punto de vista de peligros volcánicos, la zona de reubicación del centro poblado de Amata podría ser afectada por caída de ceniza del Huaynaputina, ante una eventual reactivación de este volcán. Según los mapas de isópacas, la zona de reubicación se encuentra en la zona proximal de afectación por caída de cenizas y/o tetras del volcán Huaynaputina.
4. En el área de estudio, afloran rocas de la Formación Cachios (Grupo Yura) compuestas por capas de arcillitas muy deleznable. Estas rocas son inestables ante la infiltración de aguas. Por tal motivo es importante la implementación sistemas de drenaje que impidan las infiltraciones de agua en esta zona. Las infiltraciones de agua son detonantes para la desestabilización de estos terrenos.
5. El terreno propuesto en Amata es apto para la reubicación. Sin embargo, este terreno deber ser utilizado **ÚNICAMENTE PARA VIVIENDA**. El terreno no debe ser utilizado para agricultura.

## RECOMENDACIONES

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

- Se recomienda implementar por parte del COER MOQUEGUA un sistema de monitoreo instrumental (por ejemplo, instalación de puntos **GPS**), en la zona de reubicación del centro poblado de Amata. El sistema de monitoreo permitirá conocer si se activarían desplazamientos del terreno por la actividad antrópica de la nueva población.
- La ceniza volcánica que se encuentra sobre la zona de reubicación de Amata debe ser limpiada antes de que sea habitado para impedir que las viviendas colapsen.

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

- 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.

## 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, Transportatión researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Darwin R. (2000). Memoria descriptiva a la revisión y actualización del cuadrángulo de Puquina. Carta Geológica Nacional (Hoja 34-t). INGEMMET.
- Fournier, F. (1975). Conservación de Suelos. Madrid: Mundi-Prensa
- 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.
- 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.
- Huggett, R., (2007). Fundamentals of Geomorphology. Second Edition. Routledge fundamentals of physical geography. London UK. 483 pp.
- JENKS, W.f. 1948 - Geología de la Hoja de Arequipa. Bol. Inst. Geol. del Perú N° 9, Lima.
- LAHARIE R. (1973). Tectogenénesis y Orogénesis en los Andes del sur del Perú II ciclo de conferencias de Geomorfología UNSA Arequipa.
- 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.
- Tilling, R. Y Beate, B. (1989) - Los Peligros Volcánicos. Organización Mundial de Observatorios Volcánológicos (WOVO). California, USA.



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



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

- 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, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33.
- Walker, G. (1971) – Grain-size characteristics of pyroclastic deposits: Jour. Geology, v. 79, p. 696714.
- Wilfredo G. (1978). Geología del cuadrángulo de Puquina. Boletín N°29. Carta Geológica Nacional (Hoja 34-t). INGEMMET.