

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7306**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE UBINAS

Departamento Moquegua  
Provincia General Sánchez Cerro  
Distrito Ubinas



OCTUBRE  
2022

***EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE UBINAS***  
*(Distrito Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua)*

Elaborado por la  
Dirección de Geología  
Ambiental y Riesgo  
Geológico del  
Ingemmet

*Equipo de investigación:*

*David Valdivia Humerez  
Yhon Soncco Calsina*

**Referencia bibliográfica**

*Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos en el sector de Ubinas, distrito Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua., Lima: INGEMMET, Informe Técnico **A7306**, 35p.*

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
1.1 <b>Objetivos del estudio</b> .....	<b>5</b>
1.2 <b>Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	<b>5</b>
1.3 <b>Aspectos generales</b> .....	<b>6</b>
<b>2. GLOSARIO</b> .....	<b>7</b>
<b>3. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	<b>8</b>
3.1 <b>Unidades litoestratigráficas</b> .....	<b>8</b>
3.1.1 <b>Depósitos de avalanchas de escombros (P-U2)</b> .....	<b>8</b>
3.1.2 <b>Secuencia de flujos piroclástico de pómez y ceniza, de bloques y ceniza (P-U5)</b> .....	<b>8</b>
<b>4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	<b>11</b>
4.1 <b>Pendientes del terreno</b> .....	<b>11</b>
4.2 <b>Unidades geomorfológicas</b> .....	<b>11</b>
4.2.1 <b>Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional</b> ..	<b>12</b>
4.2.2 <b>Geoformas de carácter tectónico deposicional y agradacional</b> .....	<b>13</b>
<b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	<b>14</b>
5.1 <b>Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	<b>14</b>
5.1.1 <b>Deslizamientos en el Sector de Ubinas</b> .....	<b>14</b>
5.1.2 <b>Caída de rocas</b> .....	<b>23</b>
5.1.3 <b>Erosión de laderas</b> .....	<b>24</b>
5.2 <b>Mapa de peligros volcánicos múltiples del volcán Ubinas</b> .....	<b>24</b>
5.2 <b>Factores condicionantes</b> .....	<b>27</b>
5.3 <b>Factores desencadenantes</b> .....	<b>27</b>
<b>Figura 24 Precipitaciones en el distrito de Ubinas, estación Ubinas de los años: A.2018, B.2019, C.2020, D.2021, E. 2022. (SENAMHI)</b> .....	<b>29</b>
<b>6 CONCLUSIONES</b> .....	<b>31</b>
<b>7 RECOMENDACIONES</b> .....	<b>32</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>33</b>
<b>ANEXO 1: MAPAS</b> .....	<b>34</b>
<b>ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b> .....	<b>37</b>
<b>Mitigación de peligros por deslizamientos</b> .....	<b>37</b>
<b>Mitigación de peligros por flujo de detritos (huaicos)</b> .....	<b>34</b>

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos, realizados en el sector de Ubinas, distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua. Con este trabajo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Ingemmet cumple con la función de brindar asistencia técnica en el tema de peligros geológicos a los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el área, afloran depósitos volcánicos, como flujos piroclásticos de bloques y ceniza; flujos piroclásticos de pómez y ceniza; depósitos de avalanchas de escombros, y lahares antiguos, conformada de bloques lávicos subangulosos de tamaños métricos, la mayoría hidrotermalizados, con algunos bloques fracturados.

Según su tipo de origen, las subunidades geomorfológicas corresponden a colina modelada en roca volcánica; vertiente o piedemonte aluvio- torrencial y terrazas formadas por lahares antiguos que provinieron del volcán Ubinas.

Los peligros geológicos identificados, corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos, caída de rocas y flujo de detritos (lahares); seguido de procesos de erosión de ladera (cárcavas) y peligros geohidrológicos, tipo erosión fluvial en el río Antapi.

En la parte alta del poblado de Ubinas, se observaron cuatro (4) deslizamientos antiguos, etiquetados como **DA1, DA2, DA3 y DA4**, y un deslizamiento reciente **DR1**. Además, en la parte baja del poblado de Ubinas se encuentra el deslizamiento antiguo Antapi (**DA5**), con una zona de reactivación (**DR2**). Este último evento muestra agrietamientos con longitudes de 30 m, ancho de hasta 55 cm y profundidades comprobadas de 5 a 7 m; que han afectado terrenos de cultivo y la carretera Ubinas – Tonohaya en un tramo de 10 m.

En la parte alta del poblado de Ubinas, en el cerro Corahuya, se ha identificado una zona de probable caída de rocas; sobre el talud de fuerte pendiente, se observan rocas colgadas, si estos pierden el soporte, podrían caer pendiente abajo hacia el poblado de Ubinas.

Por otro lado, el poblado de Ubinas, se localiza en una zona de **alto peligro volcánico, por caída de ceniza**. Para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3), el espesor de la ceniza podría llegar a un espesor de 3 cm (Figura 21). Mientras que en el mapa de peligros proximales (Figura 20) el poblado se encuentra en la zona de **Peligro Moderado**.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, entre otros, se atribuyen a:

- De depósitos no consolidados: avalancha de escombros, secuencia de flujos piroclásticos y depósitos de lahares, que provinieron de las erupciones del volcán Ubinas.
- Pendientes del terreno variables, van desde llanos a suavemente inclinados (1°-5°) en el poblado de Ubinas, ascendiendo a muy fuerte (25°-45°), a abrupto y escarpados (> 45°), en la parte alta y vertientes de las quebradas.
- Factor antrópico, sistema de riego por inundación, que llega a saturar el terreno e inestabilizar las laderas.

Los factores desencadenantes son:

- Lluvias intensas y/o prolongadas, como la que se presentó el 20 de marzo del

- 2020, llegando hasta 42.8 mm/día (SENAMHI),
- Sísmico, por encontrarse en la zona sísmica 3 (Alto peligro sísmico), donde se pueden presentar sismos de gran magnitud.

En base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el poblado de Ubinas y alrededores se considera de **Peligro Moderado a Alto** por movimientos en masa, sujeto a deslizamientos y flujos de detritos (huaico) que se podrían generar en temporadas de lluvias. Estos podrían afectar terrenos agrícolas e infraestructuras que se encuentran en los cauces de las quebradas.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes pongan en práctica en las zonas de estudio, ya se plantean con la finalidad de minimizar y reducir los daños que pueden ocasionar los procesos identificados; así como también evitar la generación de nuevos riesgos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad distrital de Ubinas, según Oficio N°009-2022-A/MDU, en el marco de nuestras competencias el 18, 19 y 20 de mayo del presente año, se realiza la evaluación de los peligros geológicos en el sector de Ubinas (zona urbana).

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos GPS, fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración del distrito de Ubinas, la Municipalidad Provincial de General Sánchez Cerro, Gobierno Regional de Moquegua, oficina de INDECI y COER - Moquegua, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 1.1 Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en el centro poblado de Ubinas, los cuales comprometen la seguridad física de personas, viviendas, medios de vida (cultivos agrícolas) e infraestructura (vías de comunicación, entre otros).
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados

### 1.2 Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional se tienen:

- A. Rivera et al. (2011) – Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 46, 83 p., 2 mapas. Donde mencionan que se produjo un colapso del flanco sur del edificio volcánico “Ubinas I” generando un depósito de avalancha de escombros, que fue canalizado en los valles de Ubinas y Para. La avalancha está constituida de bloques lávicos subangulosos de tamaños métricos hasta decimétricos, la mayoría están hidrotermalizados, los bloques presentan fracturas de tipo “jigsaw”.
- B. Informe Técnico N° A6745.” Lahares emplazados en el valle de Ubinas en febrero del 2016: geología, impacto, modelamiento y evaluación de peligros,

Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua” 19p. Menciona que los lahares secundarios del volcán Ubinas, llegaron hasta la confluencia de los ríos Ubinas y Tambo, generando un dique natural, que embalsó las aguas de los ríos Tambo, posteriormente afectando los terrenos agrícolas del anexo de Huarina.

- C. En el Informe Técnico N° A6916. 22p, se describe el deslizamiento antiguo “Antapi”, con reactivación de un segmento, causados por la mala calidad del substrato rocoso, fuerte pendiente del terreno (15 ° – 25 °), la erosión fluvial del río Antapi y el sistema de riego por inundación utilizado para sus cultivos en la zona.
- D. Informe Técnico N° A6990. 31 p -Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Evaluación de peligros volcánicos de los poblados de Ubinas, Escacha, Sacohaya, San Miguel, Querapi y Anascapa, Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua: Ingemmet. Aquí se describen que el poblado de Ubinas se encuentra en la zona de peligro moderado, este puede ser afectado por la caída de ceniza y pómez, flujos piroclásticos, flujos de lahares (lodo), avalanchas de escombros, flujos de lava y gases volcánicos generados por una erupción del volcán Ubinas y además por flujos de lahares (Huaycos volcánicos) en temporada de lluvias.

### 1.3 Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

El área evaluada correspondiente en el sector de Ubinas, está ubicado en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua (Figura 1), dentro de las coordenadas siguientes:

**Cuadro 1.** Coordenadas del área evaluada en el poblado de Ubinas.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	300659.00 m E	8188092.00 m S	16° 22' 48.733" S	70° 51' 59.177" W
2	302522.00 m E	8188092.00 m S	16° 22' 49.288" S	70° 50' 56.405" W
3	300659.00 m E	8186837.00 m S	16° 23' 29.555" S	70° 51' 59.566" W
4	302522.00 m E	8186837.00 m S	16° 23' 30.109" S	70° 50' 56.79" W
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
<i>Zona central</i>	301590.5 m E	8187464.5 m S	16° 23' 9.422" S	70° 51' 27.984" W

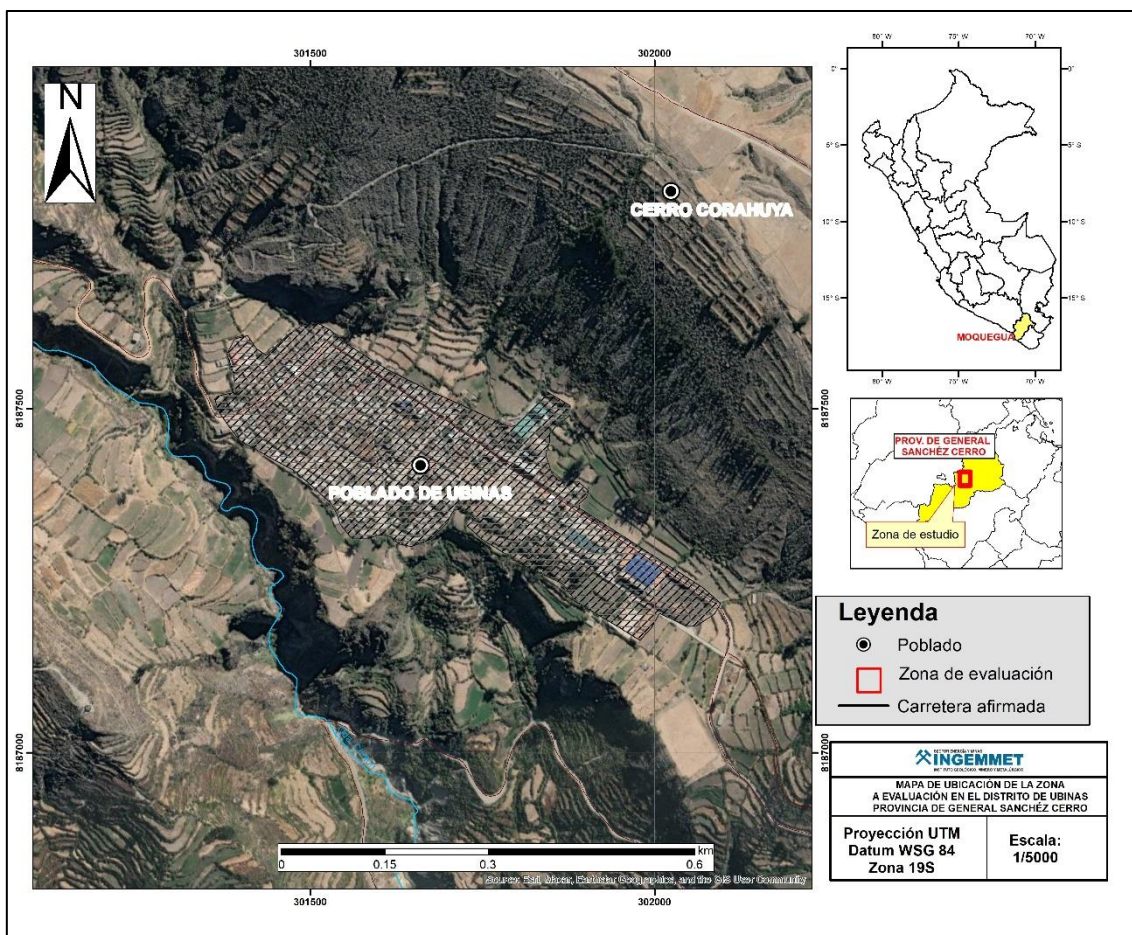


Figura 1. Mapa de ubicación del poblado de Ubinas.

### 1.3.2. Accesibilidad

El acceso se realiza por vía terrestre, desde Arequipa mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa - Chiguata	Asfaltada	24.4	47 min
Chiguata – Ubinas	Asfaltada	82.4	2 h 5 min

## 2. GLOSARIO

**Deslizamiento.** - Llamado también 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).

**Caídas de rocas.** - 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 un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede 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 & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s. En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

**Flujo de lahar (Flujo de detritos).** - Son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua y que fluyen rápidamente (20-60 km/h) por valles y quebradas originados en los volcanes (Tilling, 1993). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica (Tilling, 1993). El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve, ríos, o lagunas cratéricas. Los lahares viajan a lo largo de quebradas o ríos y eventualmente pueden salir de estos cauces en los abanicos de inundación, como ocurrió con los lahares que destruyeron la ciudad de Armero en Colombia, luego de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985 (Naranjo, et al., 1986; Thouret et al., 1990). El área afectada depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles en el cauce de las quebradas o valles, así como de la pendiente y topografía del terreno. Normalmente destruyen todo a su paso (Tilling, 1993).

**Mapa de peligros volcánicos.** - Son representaciones visuales y geoespaciales que muestra el grado de peligrosidad, así como las áreas que podrían verse afectadas por diversos fenómenos volcánicos durante o después de una erupción volcánica.

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico, se elabora teniendo como base la geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas, del Boletín C 46, elaborados a escala 1:25,000 por Rivera et., at., 2011.

#### 3.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes son de origen volcánico, describiéndose depósitos de avalanchas de escombros, flujos de bloques y cenizas, flujos de pómez; y ceniza; y lahares antiguos (Mapa 1 y Figura 2 y 4).

##### 3.1.1 Depósitos de avalanchas de escombros (P-U2)

Después de la construcción del estrato-volcán antiguo del Ubinas ( $\geq 370$  ka) se produjo un colapso del flanco sur del edificio volcánico generando un depósito de avalancha de escombros cuyo volumen es de  $\sim 2,8$  km<sup>3</sup>, que fue canalizado en los valles de Ubinas y Para (Figura 2). Estos depósitos están constituidos de bloques lávicos subangulosos de tamaños métricos hasta decimétricos, la mayoría están hidrotermalizados. La mayoría de bloques presentan fracturas de tipo «jigsaw» o «dientes de serrucho» (Rivera et al., 2011).

##### 3.1.2 Secuencia de flujos piroclástico de pómez y ceniza, de bloques y ceniza (P-U5)

Después del emplazamiento de flujos de pómez y cenizas, la actividad ha alternado con una etapa de crecimiento y destrucción de domos que generaron flujos de bloques y cenizas, y emisiones de lava, interrumpidos por algunos episodios explosivos. Un domo dacítico que aflora al pie del flanco Sureste (4100 msnm.) de aproximadamente 600 m de altura ha sido datado por Thouret et al. (2005) en  $250 \pm 20$  Ma (fig. 3.16). Ese domo

se construyó y destruyó produciendo depósitos de flujo piroclástico de bloques y cenizas, que fueron depositados en el fondo del valle de Ubinas a 8 km al SE del volcán (carretera Ubinas – reservorio de agua) y en la quebrada Infiernillo (6 km al SE del cráter) en donde miden 20 m de espesor. Un depósito de flujo de bloques y cenizas de 30 m de espesor que aflora a 8 km del cráter, en la parte superior de una secuencia piroclástica ha sido datada en  $176 \pm 64$  (Rivera, 2011). Ese depósito contiene bloques lávicos andesíticos y fragmentos líticos incluidos dentro de una matriz cenizosa de color ocre y gris claro. Estos depósitos volcánicos se encuentran poco compactados, con bloques fracturados, alterados e hidrotermalizados.



**Figura 2.** Unidades geológicas en los alrededores del poblado de Ubinas, UTM E: 302277, N: 8187172.

### 3.1.3 Flujos de detritos - lahares (Qh-L).

Estos depósitos se encuentran distribuidos en las quebradas que descienden por los flancos del volcán Ubinas. Están constituidos de bloques de lava y gravas, incluidos dentro una matriz fina areno-limosa bastante cohesiva. Poseen espesores de 1 a 6 m, y se prolongan a distancias de 4 a 5 km del volcán (Figura 3), hacia donde disminuyen de espesor. Además, lahares se encuentran hasta una distancia de 10 km del cráter (actual cauce del río Ubinas), formando terrazas escalonadas. En general, los lahares debieron generarse durante lluvias fuertes o también debieron provenir de las interacciones entre los productos eruptivos calientes y una parte de la nieve y el agua que se encontraban en la cumbre y caldera del volcán, o después de erupciones (Rivera et al.,2011).



**Figura 3.** Secuencia volcanoclástica de lahares y depósitos de caída piroclástica, río Antapi UTM E: 301320, N: 8187656.

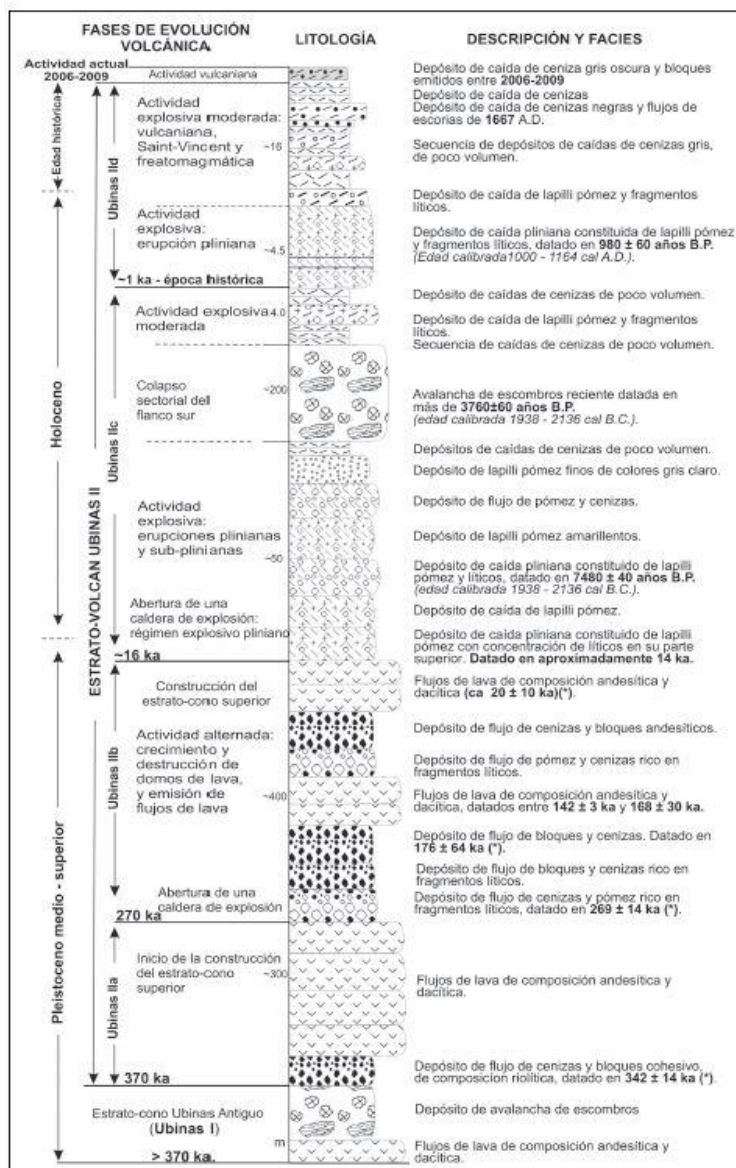


Figura 4. Columna estratigráfica del volcán Ubinas (Rivera et al., 2011).

## 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

### 4.1 Pendientes del terreno

Las pendientes de los terrenos en el sector de Ubinas van desde llanos, a suavemente inclinados a moderado suavemente ( $1^\circ$ - $5^\circ$ ) en el poblado de Ubinas, ascendiendo a muy fuerte ( $25^\circ$ - $45^\circ$ ), a abruptos y escarpados ( $>45^\circ$ ), en la parte alta y vertientes de las quebradas. Además, cabe recalcar que se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 3 m, a partir de imágenes satelitales Pléiades, realizado por el laboratorio de teledetección del INGEMMET en el 2016. (Mapa 2).

### 4.2 Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Degradacionales o denudativos
- Agradacionales o deposicionales

El área de estudio se encuentra por entre los 3000 y 3700 m.s.n.m. con vertientes de colinas o lomadas (vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at), Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) y terrazas de lahares antiguos (Ti)., de pendientes suaves a fuertes, asociadas a la incisión del río Ubinas. Siendo estos las de mayor susceptibilidad a genera movimientos en ((Mapa 3 y Figura 5).

#### **4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y denudacional**

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades:

##### **4.2.1.1 Unidad de relieve volcánico**

En esta unidad de relieve volcánico se agrupan los paisajes geomorfológicos determinados por el vulcanismo que ha sufrido una determinada zona (Villota, 2005).

##### **Sub-Unidad Estratovolcán**

El volcán Ubinas está conformado por una potente intercalación de flujos de lavas y flujos piroclásticos, en la que predominan las lavas. Estos depósitos en su conjunto le dan una geometría cónica asimétrica de ~1200 m de espesor (fig. 3.13) ligeramente alargada de Sureste a Noroeste. Sobre su estructura lávica yacen depósitos de caídas piroclásticas emplazadas entre el Holoceno y la época histórica. El estratovolcán posee un volumen aproximado de 54 km<sup>3</sup>. Este estratovolcán se ha instalado sobre el borde de una altiplanicie y en la cabecera del valle del río Ubinas. La altiplanicie es visible al pie de los flancos Norte y Oeste del Ubinas. La parte baja presenta lavas de suaves pendientes y hacia la parte alta, los flujos de lavas están muy inclinados (>40°). La actividad glacial acaecida desde el Pleistoceno ha producido una profunda erosión en la estructura volcánica, generando consecuentemente circos glaciares y depositando morrenas localizadas al pie del edificio volcánico (flancos Este, Norte y Oeste) (Rivera et al., 2011).

##### **4.2.1.2 Unidad de colinas**

Esta unidad está conformada por relieves moderados, se caracteriza por su altitud entre los 100 y 300 m y por pendientes muy fuertes en sus laderas.

**Sub Unidad de lomada en roca volcánica (RCL-rv):** En el área de estudio se identificó la unidad morfológica de colina o lomada desarrollada en rocas volcánicas. Litológicamente corresponde a flujos de bloques y ceniza; y flujos de pómez y ceniza, producto del crecimiento y destrucción de domos; y al colapso de la caldera del volcán Ubinas, muestra en sus laderas pendientes que varían entre 25° a 45°. Dentro de esta unidad geomorfológica las elevaciones existentes son parte de la actividad volcánica del Cenozoico y han sido modeladas por procesos exógenos degradacionales

determinados por la lluvia-escorrentía. En esta unidad se asocia procesos de erosión de ladera en cárcavas (Figura 5).

#### **4.2.2 Geoformas de carácter tectónico deposicional y agradacional**

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

##### **4.2.2.1 Unidad de Piedemonte**

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Las unidades de piedemonte identificadas son las siguientes:

**Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at):** Es una planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional (Figura 5). En el área de evaluación se ubica en las partes bajas del área agrícola, en inmediaciones del río Ubinas. Es una de las unidades con mayor susceptibilidad a generar peligros por movimientos en masa.

**Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd):** Están referidos a acumulaciones de depósitos de vertiente con taludes de pendiente fuerte a muy fuerte (15°-45°). Se les encuentra como depósitos masivos conformados por bloques angulosos a subangulosos, de tamaños heterométricos, englobados en una matriz fina limo-arenosa. Esta unidad corresponde a las acumulaciones de laderas inestables, originadas por procesos de movimientos en masa, así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan sucesivamente al pie de laderas.

##### **4.2.2.2 Unidad de planicies**

**Terrazas lahares antiguos (Ti):** Subunidad geomorfológica caracterizada por presentar relieve plano con escasos sectores ondulados, constituida por acumulación de material de lahares antiguos cohesivos producto de las fuertes lluvias o también debieron provenir de las interacciones entre los productos eruptivos calientes y una parte del glaciar antiguo que encontraban en la cumbre y caldera del volcán (Figura 5), sus pendientes corresponden a inclinación moderada (5°-15°).



**Figura 5.** Unidades geomorfológicas en los alrededores del poblado de Ubinas, UTM E: 302277, N: 8187172.

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el sector de Ubinas corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos, caídas de rocas y flujo (flujo de detritos). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno compuesto por depósitos volcánicos producto de las erupciones del volcán Ubinas y el colapso de formaciones volcánicas antiguas, además como la erosión sufrida por los afluentes de los ríos Ubinas y Para, esto conlleva a que la mayoría de los depósitos volcánicos sean poco consolidados y susceptibles a los movimientos en masa.

### 5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

En la zona de estudio y alrededores se identifican zonas de posible caída de rocas, flujos y deslizamientos, descritas a continuación:

#### 5.1.1 Deslizamientos en el Sector de Ubinas

##### a. Deslizamientos en el Cerro Corahuya (DA1, DA2, DA3, DA4)

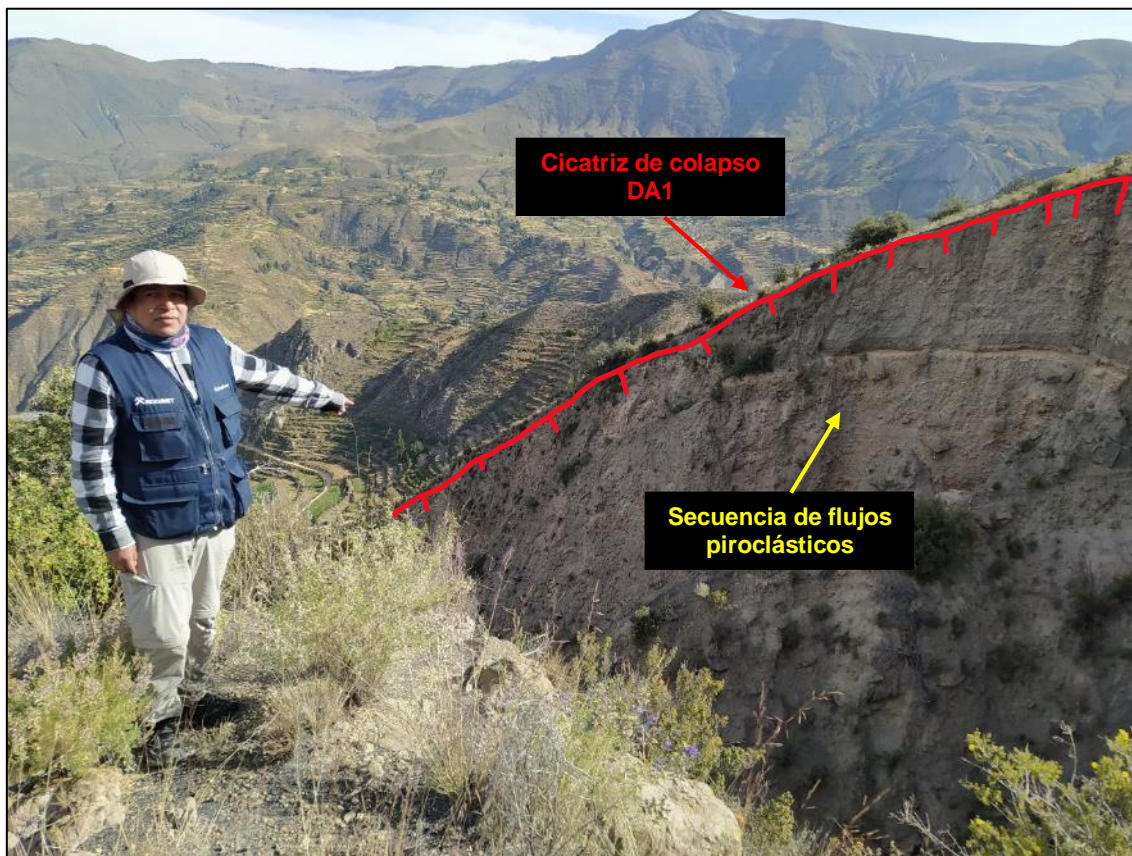
Comprenden cuatro (4) eventos de deslizamientos antiguos (**DA1, DA2, DA3, DA4**) (Figura 8); cuya corona y escarpe no se observan nítidamente, debido a la erosión y cobertura vegetal (tolares y pajonales).

Cabe mencionar que las masas deslizadas, se desplazan hacia el suroeste y sureste, llegando cerca al poblado de Ubinas, siendo en su momento utilizadas como terrenos

de cultivo.

A continuación, se describe cada proceso u evento:

**DA1:** Corresponde a un deslizamiento rotacional, de corona principal irregular y mide 790 m, y altura de escarpe principal de 90 m (comprendido entre las cotas 3727 m a 3525 m., es decir posee un desnivel de 202 m). La masa se movilizó en dirección sureste hacia el valle de Ubinas (Figura 6).



**Figura 6.** Escarpe del deslizamiento antiguo **DA1**, UTM E: 301389, N: 8188303.

**DA2:** Deslizamiento con corona de forma irregular y longitud de 124 m; la altura del escarpe es de 10 m (comprendido entre los 3537 m a 3503 m, es decir posee un desnivel de 34 m). El cuerpo del deslizamiento no se observa claramente, debido a la erosión fluvial en la parte baja, la vegetación y proceso de intervención antrópica que ha modificado el relieve para emplearlas como zonas agrícolas.

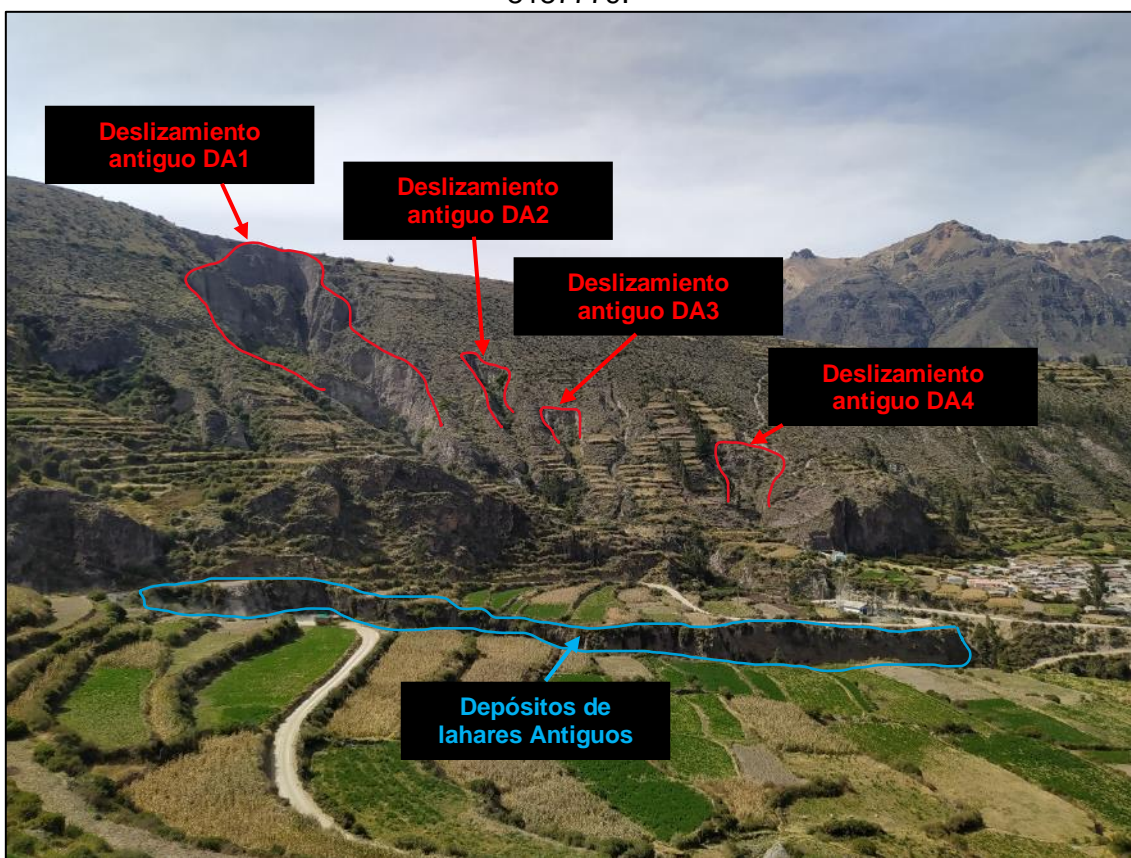
**DA3:** Deslizamiento con corona de forma irregular y mide 147 m, el escarpe tiene una altura aproximada de 5 m, este evento está comprendido entre los 3501 m. a 3463 m, es decir posee un desnivel de 38 m. La masa se desplazó en dirección sureste.

**DA4:** Se trata de un deslizamiento rotacional, su corona es de forma irregular y mide 149 m, con altura de 10 m, este evento está comprendido entre los 3508 m. a 3453 m., es decir posee un desnivel de 55 m (Figura 7).





**Figura 7.** Escarpe del deslizamiento antiguo DA4, UTM E: 301474, N: 8187779.



**Figura 8.** Vista panorámica de los cuatro deslizamientos antiguos en la parte alta del poblado de Ubinas, UTM E: 300867, N: 8187444.

Además, en el sector se evidencia un deslizamiento reciente (**DR1**), con (figuras 9 y 10) dimensiones pequeñas. Es de tipo rotacional, con corona de forma regular y mide 5 m de largo, el escarpe tiene una altura de 45 cm; este evento está comprendido en la cota 3585 m, con un desnivel de 20 a 30 cm. La masa movilizada afectó una pequeña área de cultivo, y se extiende en dirección suroeste (figura 10). Aparentemente este deslizamiento se generó por la saturación de los depósitos piroclásticos (Figura 11) en la parte alta del talud (Figura 9 y 10).



**Figura 9.** Corona del deslizamiento reciente en la parte alta del poblado de Ubinas, UTM E: 302028, N: 8187745.



**Figura 10.** Desnivel de 30 - 45 cm en el deslizamiento reciente DR1, UTM E: 302028, N: 8187745.

Estos deslizamientos se generaron sobre la secuencia de flujos piroclásticos, constituida de bloques lávicos subangulosos de tamaños heterométricos, monolitológicos (Figura 11), la mayoría están fracturados y moderadamente meteorizados englobados en una matriz areno-limosa (ceniza volcánica).



**Figura 11.** Depósitos de secuencias de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, UTM E: 302282, N: 8187243.

Por otro lado, en la coordenada E: 302309, N: 8187108 se observa un canal de regadío sin revestimiento que atraviesa la lomada formada por secuencias de flujos piroclásticos en la parte alta con aproximadamente 2.26 km de longitud (Figura 12).



**Figura 12.** Canal de regadío sin revestimiento en la parte alta del poblado de Ubinas UTM E: 302356, N: 8187059

También en la parte alta del cerro Corahuya se tienen zonas agrícolas en el cual se utiliza el riego por inundación, generando filtraciones en los depósitos de flujos piroclásticos (Figura13).



**Figura 13.** Zonas agrícolas en la parte alta del poblado de Ubinas UTM E: 302080, N: 8187952

**b. Deslizamiento antiguo parte baja- del sector de Ubinas (Antapi) (DA5):**

En la parte baja del poblado de Ubinas, se evidencia un deslizamiento antiguo que presenta una corona con forma irregular y continua (figura 14), con longitud de 1500 m. el salto de la escarpa antiguo posee entre 25 a 50 m. él salto de escarpe no se observa nítidamente debido a la erosión y la vegetación. Su masa desplazada llegó hasta el cauce del río Antapi que cruza la parte baja del sector. Además, sobre el cuerpo del deslizamiento se aprecian lomeríos y pequeñas quebradas, estas últimas por la acción del agua. (INGEMMET, 2019) (figura 14).

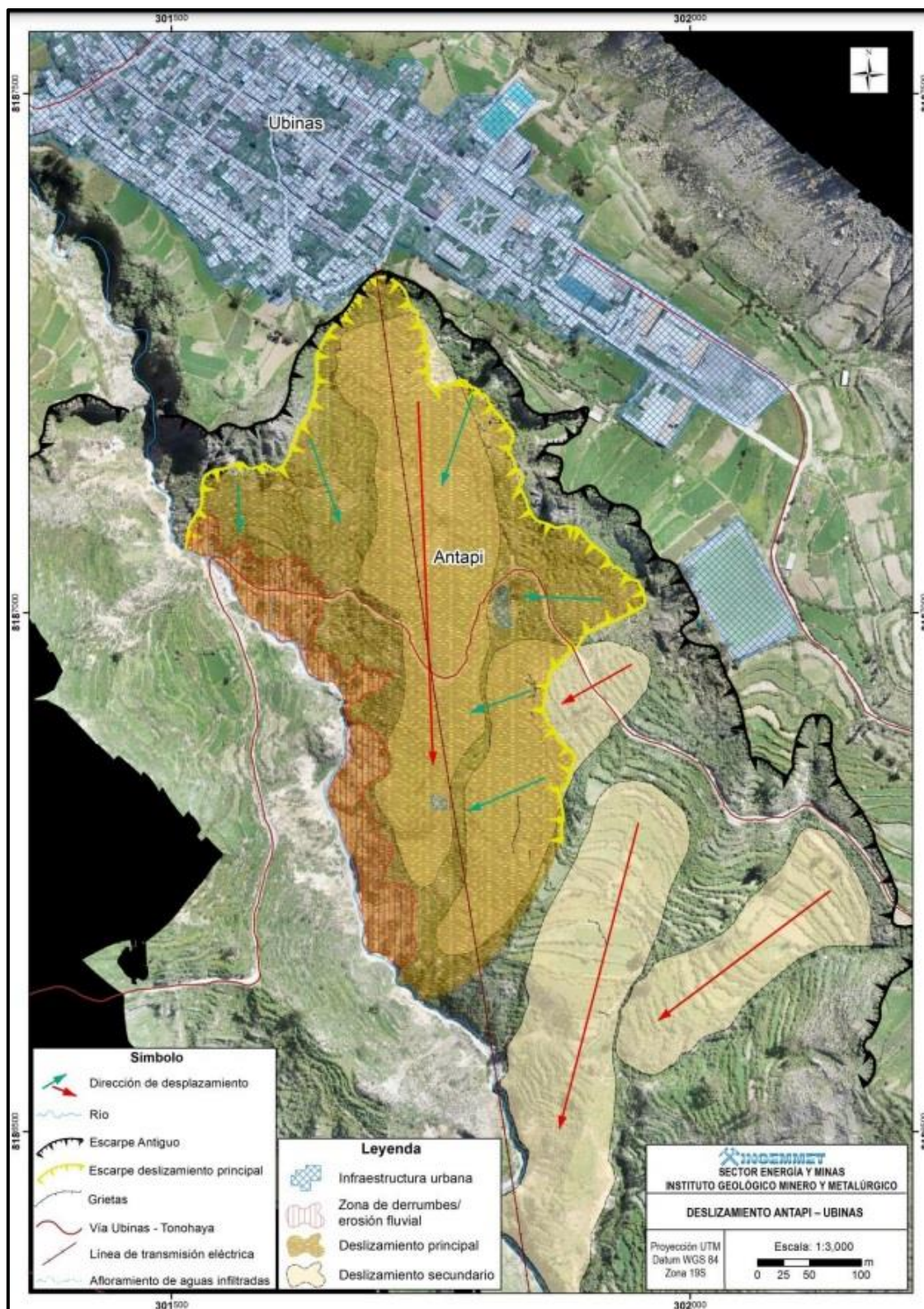
Este deslizamiento antiguo fue presentando continuos movimientos muy lentos, hasta que el día 14 de marzo del 2019, se presenta un desplazamiento importante en la vía que une los poblados de Ubinas con Tonohaya, según lo manifestado por los pobladores. Este evento forma parte de una reactivación del segmento norte y sur (DR2) (Figura 15).

Deslizamiento de tipo rotacional, con avance lento retrogresivo, cuya corona mide 1200 m, y es de forma irregular y continua es poco clara, debido a la abundante vegetación. La distancia del escarpe hasta el pie del deslizamiento es de 750 m, situada entre los 3370 a 3190 m.s.n.m. es decir presenta un desnivel de 180 m.

Se observa al pie del deslizamiento, una socavación por erosión fluvial del río Antapi que cruza el sector; además los flujos de detritos (huaicos/lahares), al desplazarse por este sector arrancan material, dejando el cuerpo del deslizamiento sin soporte, cediendo cuesta abajo (Figura 14 y 15). Parte del material arrancado se observa en algunos sectores formando pequeños embalses en el río Antapi. (INGEMMET, 2019).

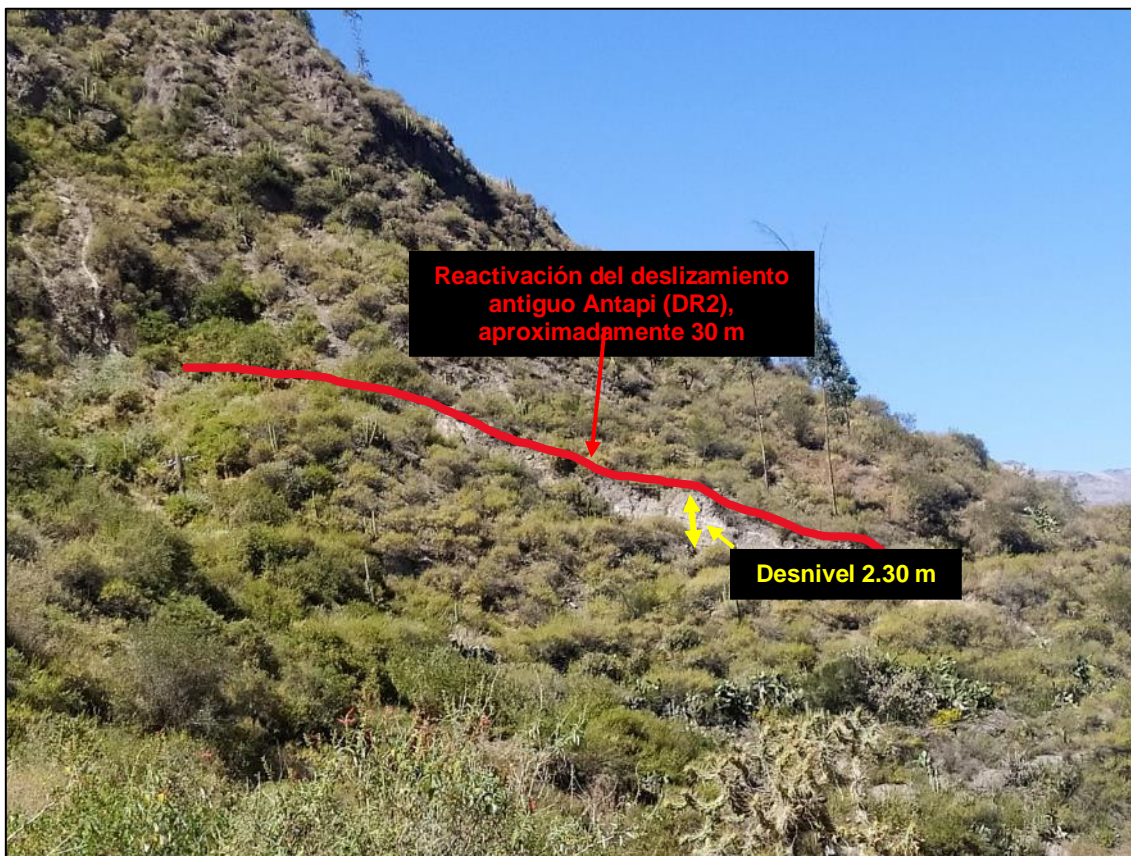


**Figura 14.** Deslizamiento antiguo (DA5) en la parte baja del poblado de Ubinas., UTM E: 301794, N: 8187380 (Tomado de INGEMMET 2019).

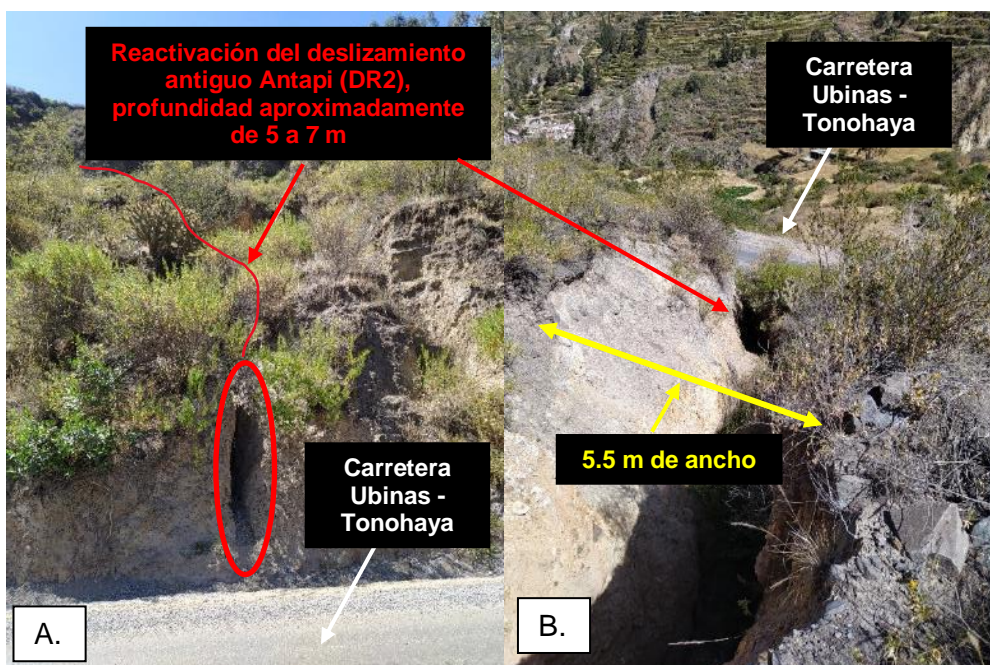


**Figura 15.** Escarpe del deslizamiento antiguo (línea de color negra) y el deslizamiento actual (línea de color amarilla), UTM E: 301807, N: 8187101 (Tomado de INGEMMET, 2019).

Con trabajos de campo, el 20 de mayo del 2022, precisamente en las coordenadas (301871; 301879 E y 8186903, 8186937 N), dentro del cuerpo DA5, se han observado agrietamientos de hasta 30 metros de largo, con 5.5 m de apertura y una profundidad de 10-15 m (Figura 16,17 y 18) afectando zonas de cultivo.



**Figura 16.** Escarpe de la reactivación del deslizamiento antiguo Antapi el deslizamiento actual (línea de color rojo), UTM E: 301922, N: 8186989.



**Figura 17.** A. Agrietamientos en la parte alta de la carretera Ubina-Tonohaya; B. Agrietamiento de 5.5 m de ancho, 5 a 7 m de profundidad y 30 m de largo, UTM E:301879; N: 8186937.

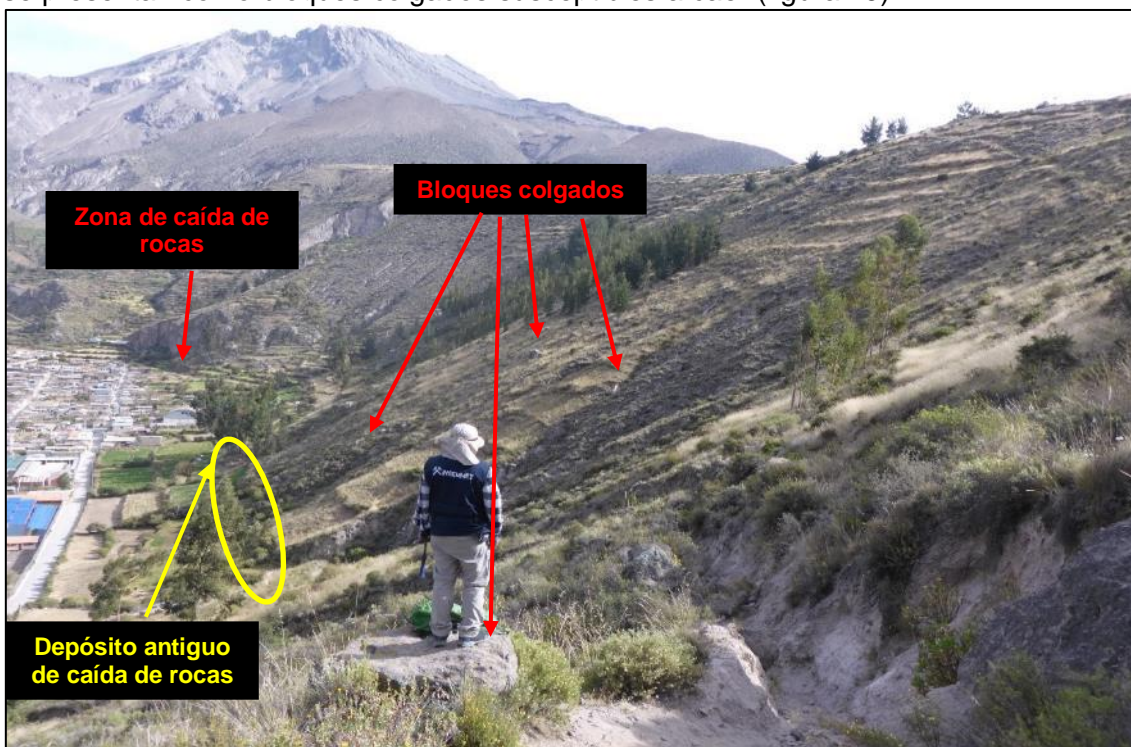


**Figura 18.** Agrietamientos en el sur del sector de Antapi de 29 cm de ancho, 25 cm de profundidad y 30 m de largo, UTM E: 301871, N: 8186903.

De acuerdo a las características litológicas, el deslizamiento de Antapi se desarrolla sobre depósitos de avalanchas de escombros, con rocas volcánicas fuertemente fracturadas y en algunos casos alteradas superficialmente, de formas angulosas a subangulosas, de tamaños heterométricos en una matriz limo-arenosa, poco compacta.

### 5.1.2 Caída de rocas

Las caídas de rocas se pueden presentar a lo largo de la parte alta del poblado de Ubinas (Cerro Corahuya), sobre laderas de pendientes muy fuertes a escarpadas compuestas por secuencias piroclásticas con bloques de roca volcánica de 1.3 m de diámetro. Las caídas de rocas antiguas en las coordenadas UTM: 299345E, 8187474N, se presentan como bloques colgados susceptibles a caer (figura 19).



**Figura 19.** Deposito antiguo de caída de rocas y bloques colgados a lo largo de la ladera. (coordenadas UTM 299345E, 8187474N)



### 5.1.3 Erosión de laderas

Estos procesos, tipo cárcavas, ocurren en la parte alta del poblado de Ubinas; cuyas incisiones poseen hasta 5 metros de ancho y profundidades entre 15 a 20 m (Figura 20).



**Figura 20.** Cárcava de 5 m de ancho y 20 a 15 m de profundidad. (coordenadas UTM 301826E, 8187785N)

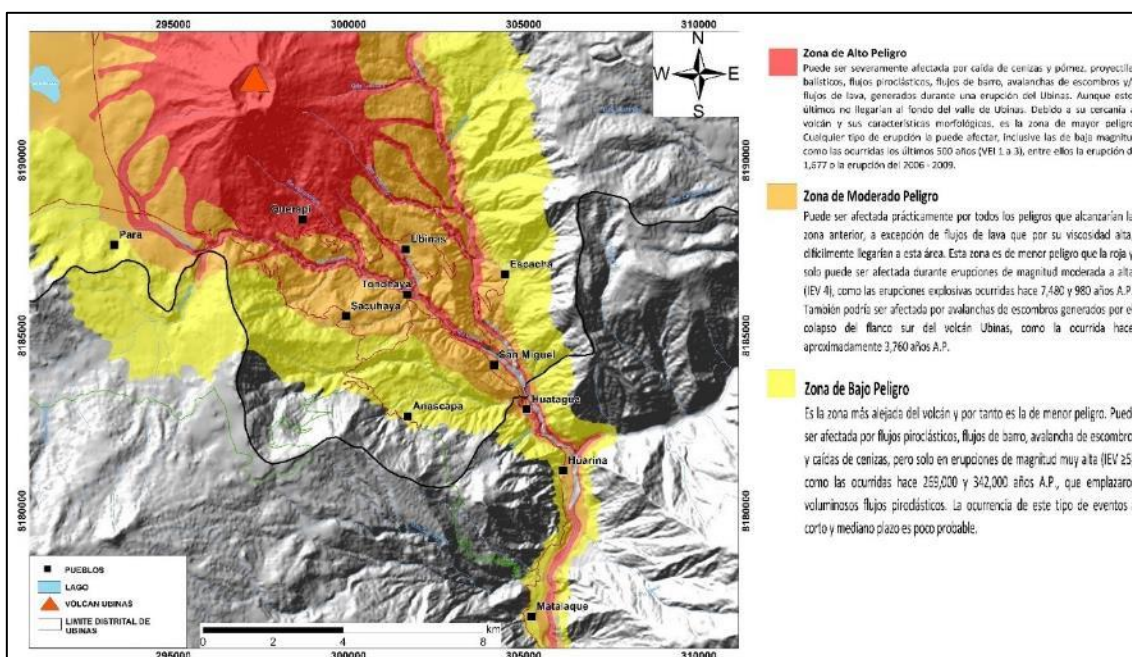
### 5.2 Mapa de peligros volcánicos múltiples del volcán Ubinas

El mapa de peligros del Ubinas publicado por Rivera et al. (2011), es un mapa que toma en cuenta diversos escenarios eruptivos: erupciones leves y también erupciones violentas. Este mapa muestra diversas áreas que incluyen poblados, terrenos agrícolas y carreteras que podrían ser afectados por una erupción del volcán Ubinas, suponiendo que el comportamiento eruptivo sea similar al que ha presentado el Ubinas a lo largo de su historia eruptiva, principalmente, durante los últimos 1000 años, durante el cual presentó erupciones explosivas moderadas a fuertes. El mapa de peligros de la zona proximal (Figura 21), ha sido elaborado por Rivera et al. (2010), a escala 1:50 000, en el cual se diferencian tres zonas pintadas de diferentes colores: zona de alto peligro, de moderado peligro y bajo peligro.

**- Zona de alto peligro (rojo):** Comprende un área semi-circular alrededor del cráter que involucra diversas quebradas y valles que drenan del Ubinas, las cuales pueden ser severamente afectadas por la ocurrencia de flujos de lodo (lahares), flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, colapso del flanco sur y/o emisión de flujos de lava. Cualquier tipo de erupción puede afectar dicha área, inclusive las de baja magnitud, como las ocurridas desde el año de 1550 hasta la actualidad (IEV 1-3). La probabilidad de ocurrencia de erupciones de magnitud baja es alta, aproximadamente, uno a cinco eventos cada 100 años.

- **Zona de moderado peligro (naranja):** Se extiende desde 5 km hasta una distancia máxima de ~14 km del cráter, la cual corresponde inmediatamente a la zona colindante con la zona de alto peligro. Esta zona involucra cauces de quebradas y valles localizados al pie del volcán. Asimismo, comprende la parte de la altiplanicie volcánica (sectores Oeste, Norte y Noreste del Ubinas). Esta zona puede ser cubierta por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, lahares y/o avalanchas de escombros en caso que la erupción sea de moderada a alta magnitud (IEV 3-4).

- **La zona de bajo peligro (amarillo):** Esta zona se proyecta a más de 10 km alrededor del cráter, sobre todo en el flanco sur, y a más de 6 km en la zona de la altiplanicie. Esta zona puede ser severamente afectada por flujos piroclásticos incandescentes, oleadas piroclásticas, y/o flujos de barro, en caso que la erupción sea de alta a muy alta magnitud (IEV  $\geq 4$ ) denominada pliniana o subpliniana. El mapa de peligros por caída de ceniza existente elaborado para el volcán Ubinas fue publicado en el año 2011 (Rivera et al., 2011). En dicho mapa se estableció que la zona de alto peligro (rojo), moderado peligros (naranja) y bajo peligro (amarillo). De acuerdo con la zonificación del mapa antes mencionado, el poblado de Ubinas, frente a caída de ceniza volcánica se ubica en la zona de peligro alto (rojo) (figura 21); puede ser afectada por caída de ceniza con espesores de hasta 3 cm.



**Figura 21.** Mapa de peligros proximales del volcán Ubinas. (Rivera et., al., 2011)

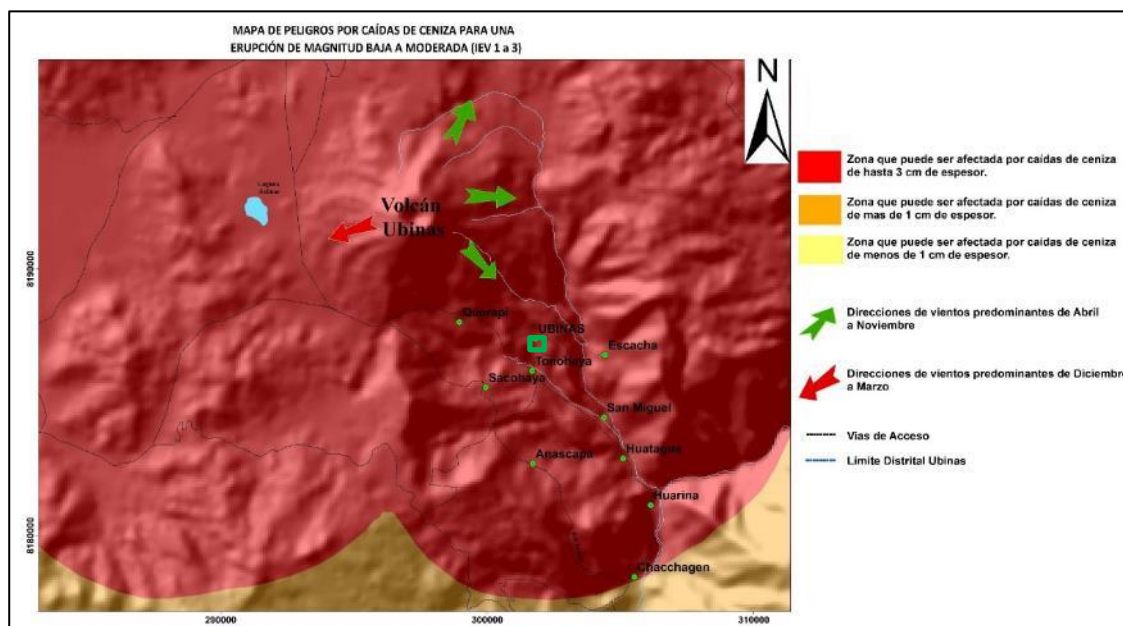
-Según el mapa de peligros proximal el poblado de Ubinas se encuentra asentado en la zona de peligro moderado, puede ser afectado por caída de ceniza y pómez, proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, flujos de lahares (lodo), avalanchas de escombros y/o flujos de lava generados por una erupción del volcán Ubinas.

### 5.2.1. Mapa de peligros por caída de ceniza y lapilli

En el mapa principal se presentan dos mapas de peligros por caídas de tefras (pómez, cenizas, escorias) del volcán Ubinas. Estos mapas corresponden a dos escenarios: para erupciones leves a moderadas (vulcaniana) y erupciones grandes (subplinianas, plinianas) (Figura 22).

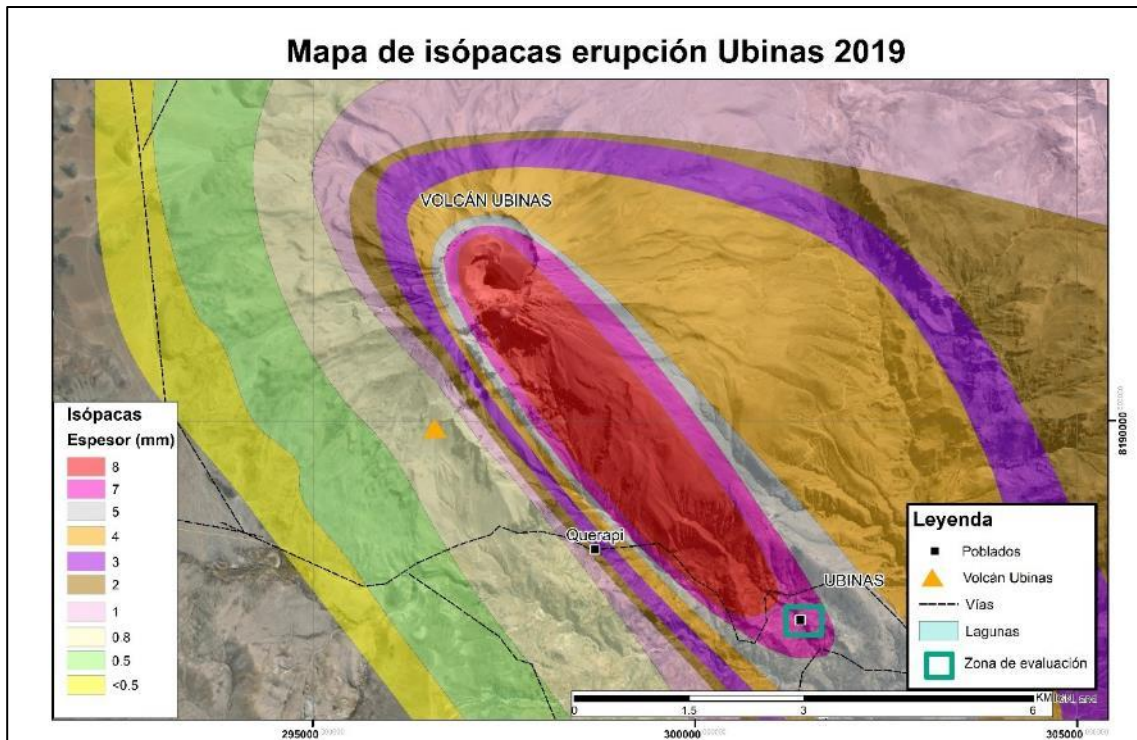
En el caso de una erupción moderada (vulcaniana), se generarían principalmente columnas de cenizas y gases, que pueden viajar hacia el Oeste en época lluviosa (diciembre a marzo), y hacia el NE, E y/o SE en la época seca (abril a noviembre). Existe una zona de mayor peligro (zona roja), proximal al cráter la cual sería la más afectada, e inmediatamente una zona naranja y otra amarilla que serían afectadas en caso de erupciones más explosivas o violentas (Fig. 21). El área afectada está basada en la ocurrencia de erupciones de magnitud moderada (IEV 1 - 2) presentada por el Ubinas durante los últimos 500 años, e incluso las ocurridas recientemente: 2006-2009, 2013-2017 y el actual proceso.

En caso de una erupción altamente explosiva (subpliniana a pliniana) se generarían caída de pómez de más de 1 m de espesor en un radio de ~10 km alrededor del Ubinas. Esta hipótesis está basada en el área cubierta durante las erupciones plinianas del volcán Ubinas ocurridas hace 7000 y 1000 años A.P. (Thouret et al., 2005; Rivera, 2010).



**Figura 22.** Zonas de afectación por caída de cenizas del volcán Ubinas (Rivera et al., 2011).

Con base a los trabajos realizados por (Ramos et al., 2019) la erupción del volcán Ubinas del 19 de julio del 2019, fue considerada como una de las actividades explosivas vulcanianas más energéticas y de gran magnitud, que libero una energía de hasta 284 MJ (MegaJoule), y expulsó un volumen estimado de  $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  entre cenizas y productos volcánicos, la altura de las emisiones superaron los 6,500 msnc, (metros sobre el nivel del cráter), los balísticos alcanzaron hasta una distancia de 3.5 km del cráter que consisten en fragmentos de hasta 2.5 cm, el desplazamiento de la pluma volcánica (cenizas) según las imágenes de satélite viajaron por más de 180 km, atravesando los departamentos de Tacna, Moquegua, Puno y Oruro (Bolivia), incluido Salta (Argentina). La magnitud de la erupción se ha clasificado dentro del índice de explosividad VEI 2. Además, se han realizado medidas de espesores de caída de cenizas en el sector sureste del volcán Ubinas, determinando que entre 5 a 15 km, la erupción acumuló espesores de 8 a 1 mm, principalmente en la quebrada Volcanmayo y en la zona urbana del distrito de Matalaque. Así mismo, se determinó que en la zona del poblado de Ubinas se acumuló un espesor de 7 mm de ceniza volcánica, (figura 23).



**Figura 23.** Isópacas de caída de cenizas, de la erupción del 19 de julio del 2019, volcán Ubinas (Ramos et al., 2019), registrándose 7 mm de espesor en el poblado de Ubinas.

## 5.2 Factores condicionantes

### Para los movimientos en masa

- Presencia de depósitos de avalancha de escombros, producto del colapso del flanco sur del edificio volcánico del Ubinas y secuencias de flujos piroclásticos, poco consolidados, moderadamente meteorizado y con bloques fracturados.
- Presencia de relieves de lomada en roca volcánica, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, aluvio torrencial y terrazas de lahares antiguos, muy susceptibles a ser removidos por efectos de la gravedad y pendiente. Esta última muy variable, que ascienden desde el poblado Ubinas de llanos y suaves ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ), y llegar a la parte alta, de fuerte a muy fuerte ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ), abrupto a terrenos escarpados ( $> 45^{\circ}$ ) en las zonas de vertientes (Antapi y Chiflon)

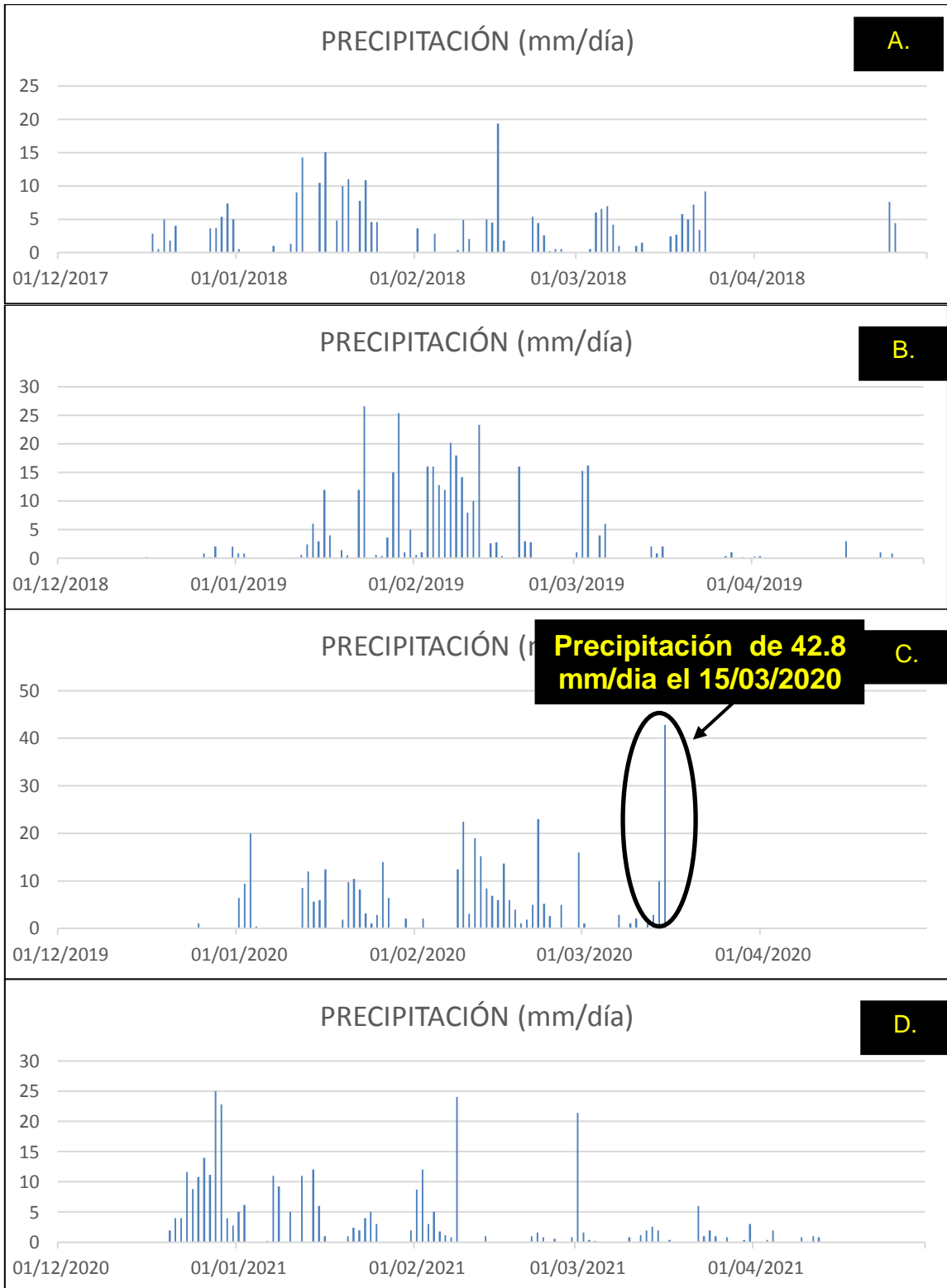
### Para los peligros volcánicos

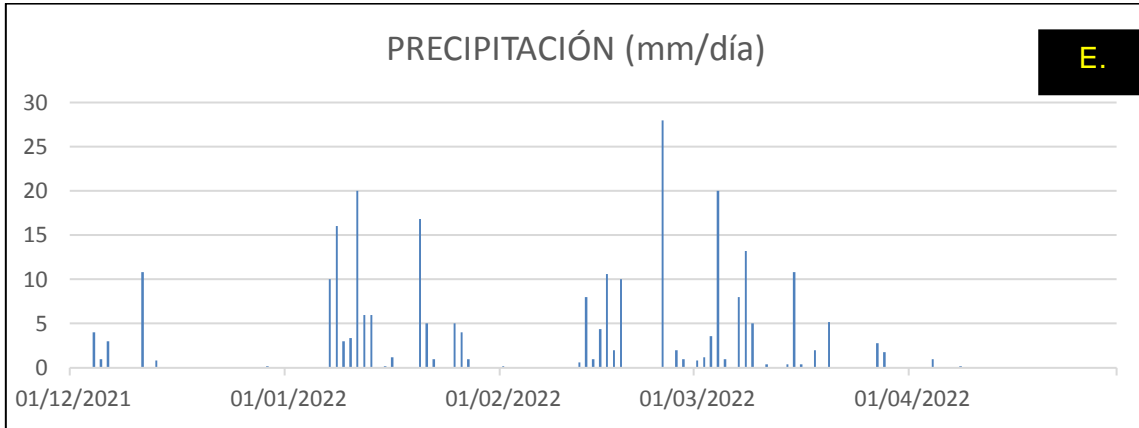
- Localización y proximidad al volcán Ubinas, situada a 5 km del edificio volcánico; según el mapa de peligros múltiples, la zona presente moderado peligro (polígono de color naranja)

## 5.3 Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias, en la figura 24 se representan las lluvias generadas en el periodo de diciembre a abril de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022. Teniendo una precipitación máxima de 42.8 mm/día del 15 de marzo del 2020, registrada en la estación Ubinas (SENAMHI); estas lluvias saturan los terrenos, aumentando el peso del material generando que se deslicen; también en la temporada de lluvias son generados los flujos de detritos

(lahares) que descienden por las quebradas del volcán Ubinas.





**Figura 24** Precipitaciones en el distrito de Ubinas, estación Ubinas de los años: A.2018, B.2019, C.2020, D.2021, E. 2022. (SENAMHI).

- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas. Según el Alva et al. (1984) el departamento de Moquegua se ubica en las zonas de sismicidad alta a muy alta (Figura 25). El distrito de Ubinas se encuentra en la zona de sismicidad muy alta donde podrían generarse sismos de gran magnitud.



**Figura 25.** Zonificación Sísmica del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

- El sistema de riego por inundación utilizado por los pobladores en la parte alta de Ubinas.
- Por otro lado, el volcán de Ubinas es considerado como el más activo del sur del Perú (Fuente: [http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page\\_id=58](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=58)), por lo que las erupciones volcánicas son muy recurrentes y explosivas.

## 6 CONCLUSIONES

1. En el Sector de Ubinas y alrededores afloran depósitos no consolidados de avalanchas de escombros y secuencias de flujos piroclásticos, conformada de bloques lávicos subangulosos de hasta tamaños métricos de diámetro, la mayoría están fracturados e hidrotermalizados.
2. Los peligros geológicos identificados en el área evaluada, comprenden los de tipo de movimientos en masa y otros peligros geológicos, que comprenden deslizamientos antiguos (**DA1, DA2, DA3, DA4 y DA5**) y recientes (**DR1 y DR2**), flujo de detritos (lahares), caída de rocas; y procesos de erosión de ladera (cárcavas). Por otro lado, el área también presenta peligros volcánicos, propios de la actividad eruptiva proximal del volcán Ubinas, que se sitúa a menos de 5km del poblado del mismo nombre.
3. Los peligros geológicos por movimientos en masa, están condicionados principalmente, por la presencia de depósitos no consolidados de avalancha de escombros y secuencias de flujos piroclásticos provenientes volcán Ubinas., la mayoría moderadamente alteradas y fracturados; coadyuvados para su remoción por la presencia de pendientes variables, que van de fuerte a muy fuerte (25°-45°), abrupto y escarpados (> 45°). en las zonas de vertientes de las quebradas de Antapi y Chiflón.
4. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el área evaluada se considera de **Peligro Moderado a Alto** a movimientos en masa; propensas a deslizamientos, caída de rocas y flujos de detritos (huaico), que podrían ser desencadenados en temporadas de lluvias o por sismos de gran magnitud. Estos podrían afectar terrenos agrícolas e infraestructuras que se encuentran ubicados en los cauces de las quebradas. Dichos grados de peligrosidad se mantendrá, siempre en cuando. no se alteren las condiciones normales de los suelos y no impacten la zona.
5. De acuerdo con la zonificación de peligros volcánicos, por caída de ceniza del volcán Ubinas, para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3); poblado de Ubinas, puede ser afectado por caída de ceniza de hasta 3 cm de espesor, por lo cual se considera de **Peligro Alto** ante caída de cenizas (Figura 21). Según el mapa de peligros volcánicos proximales el poblado de Ubinas puede ser afectado por proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, flujos de lahares (lodo), avalanchas de escombros y/o flujos de lava generados por una erupción del volcán Ubinas. Por los cual se considera de **Peligro Moderado** (Figura 20).



## 7 RECOMENDACIONES

1. Para disminuir el avance o futuras reactivaciones de los deslizamientos, evitar las infiltraciones de agua en el suelo, a través de cambio de técnicas de riego con asesoramiento de las entidades correspondientes.
2. Con el objetivo de conducir adecuadamente las aguas pluviales, impermeabilizar el canal de regadío en la parte alta del poblado de Ubinas para evitar infiltraciones de agua en el subsuelo.
3. Se debe reforestar las laderas del cerro Corahuya con el fin de evitar la erosión de cárcavas. Además, se debe desatar las rocas sueltas, que se encuentran en las laderas del cerro Corahuya.
4. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos, para evitar construcción de viviendas o infraestructura área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
5. La población debe ser incentivada a la migración a nuevos tipos de cultivos y técnicas de irrigación, evitando las prácticas de riego por inundación.
6. Construir defensas ribereñas a lo largo del cauce del río Antapi, en la zona colindante con los terrenos de cultivo del sector Antapi.
7. La autoridad local de acuerdo con sus competencias debe emitir una ordenanza municipal, que prohíba la construcción de viviendas en los cauces de las quebradas.



Segundo A. Núñez Juárez  
Jefe de Proyecto-Act. 11



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## **BIBLIOGRAFÍA**

Ayala, F.J. (2003) – Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, funciones, problemática y límites. En: Ayala, F.J. & Corominas, J., eds. Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, Serie Medio Ambiente, n° 4, p. 7-20.

Corominas, J. & García Yagüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes 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., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36- 75.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Evaluación geológica del deslizamiento Antapi, Ubinas, Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A6916. 22p.

Olchanski, E., & Dávila, D. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi 32-q, 31-q. Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 50, 52p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Ramos et al., 2019 Informe Técnico Anual “Vigilancia del volcán Ubinas, periodo 2019”(distrito de Ubinas, provincia General Sánchez Cerro– región Moquegua).

Rivera M., Mariño J., Thouret J-C. (2011) – Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 46, 83 p., 2 mapas.

Tilling, R.I., ed. (1993) - Apuntes para un curso breve sobre los peligros volcánicos, Santa Fé, Nuevo México, 2-3 julio 1989. [s.l.]: Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos, 125 p.

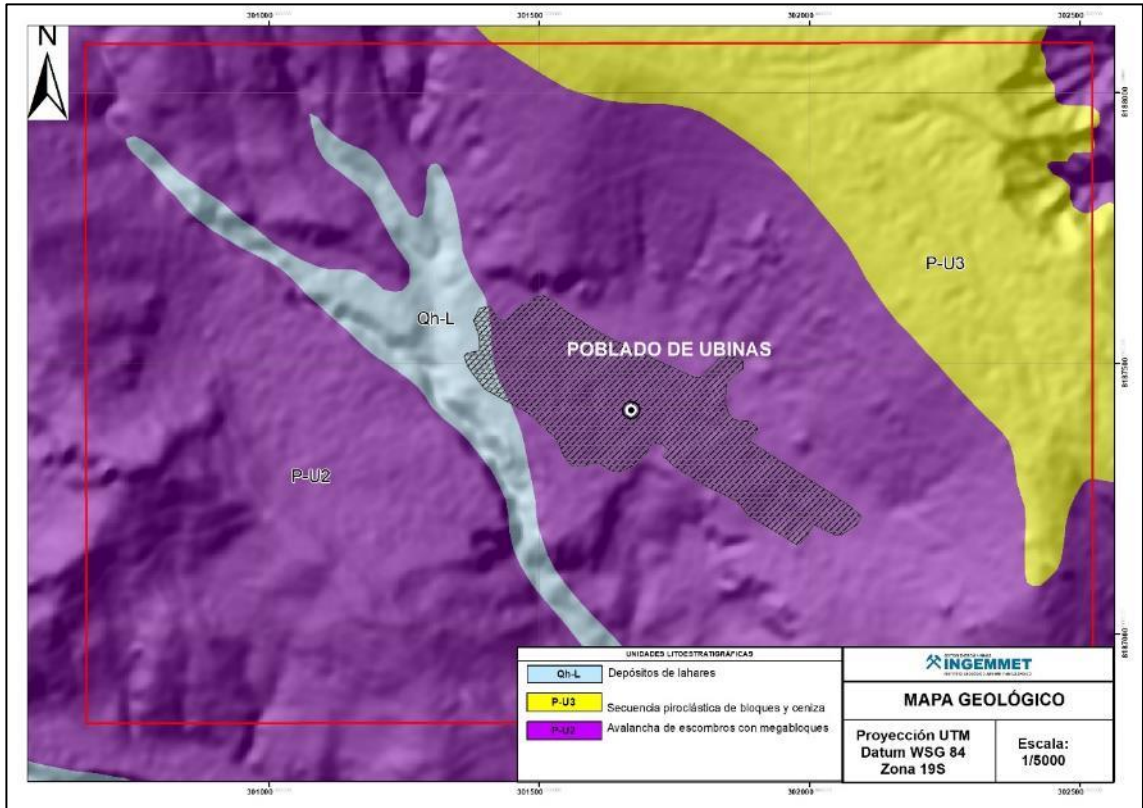
Valdivia, D., Aguilar, R., Manrique, N. (2019). Evaluación de peligros volcánicos de los poblados de Ubinas, Escacha, Sacohaya, San Miguel, Querapi y Anascapa, Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua. Informe Técnico N° A6990 INGEMMET 31p.

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

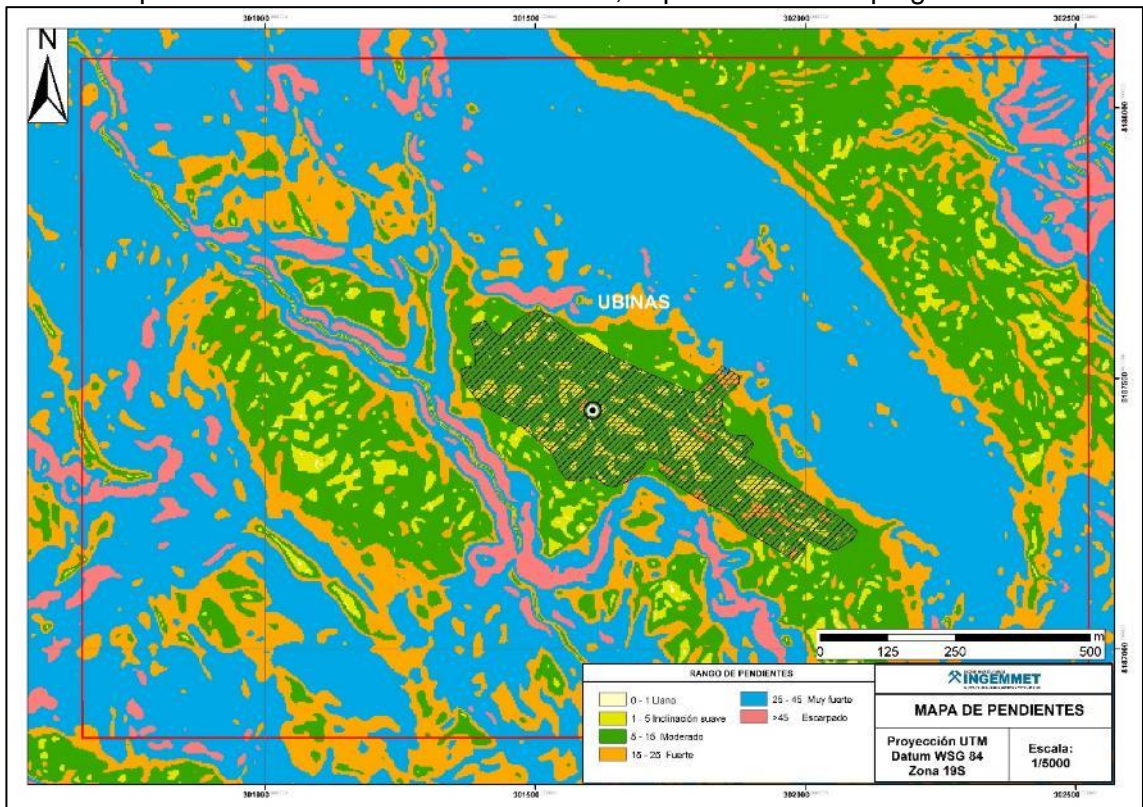
Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.

Villota, H. 2005. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y la zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Cadazzi.

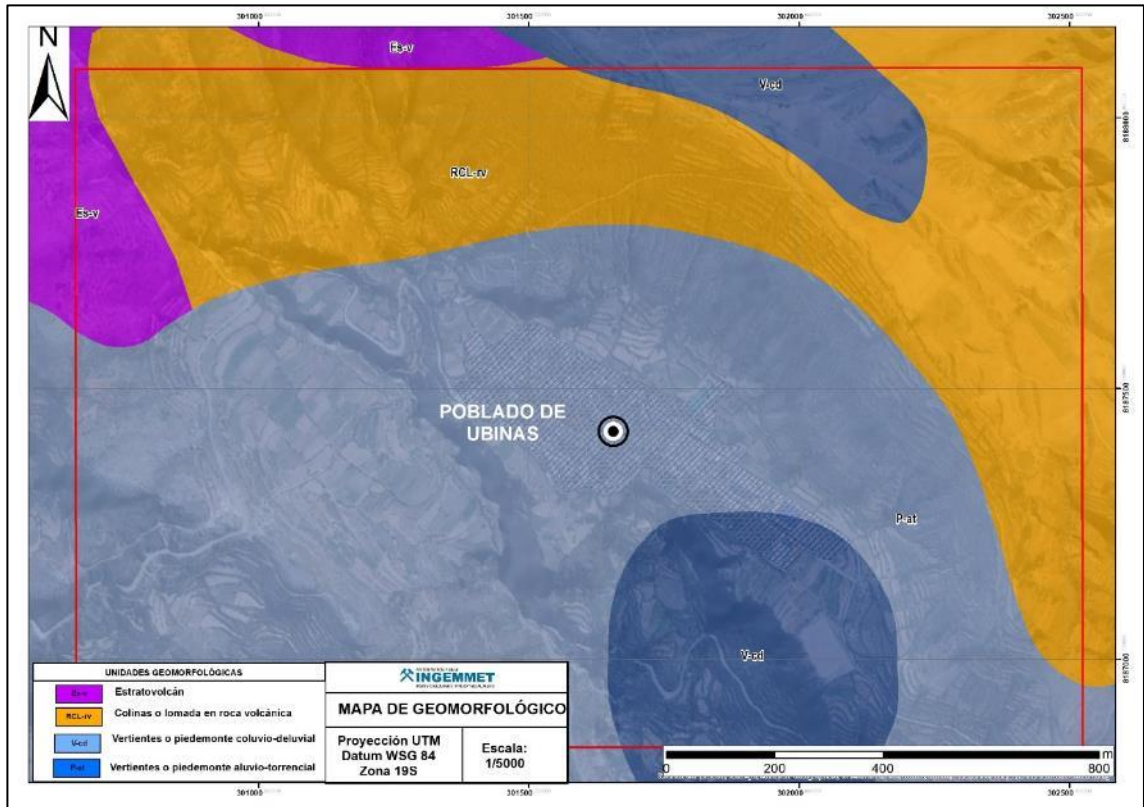
**ANEXO 1: MAPAS**



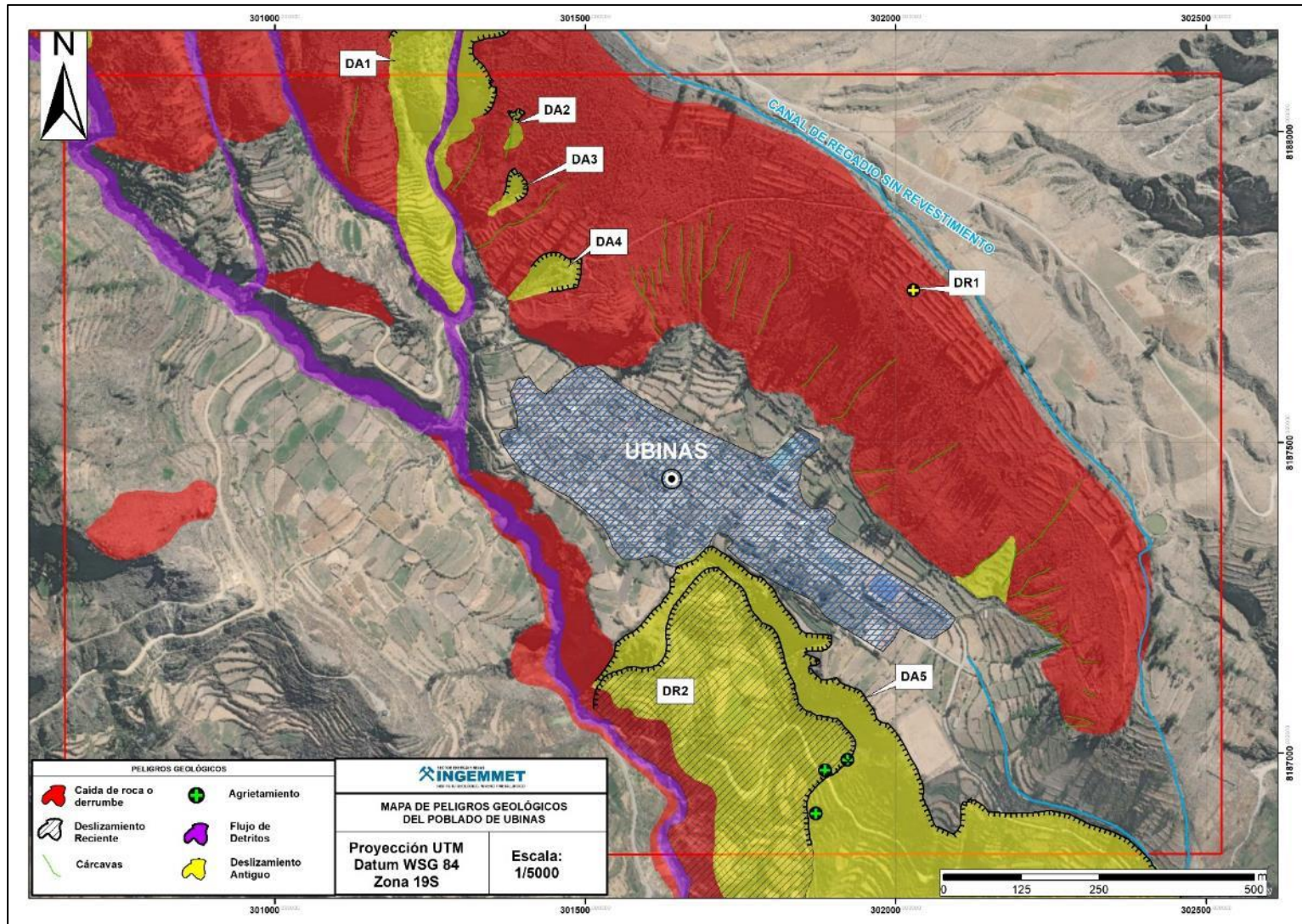
**Mapa 1.** Mapa geológico de la zona de Evaluación, en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro, departamento Moquegua.



**Mapa 2.** Mapas pendientes de la zona de Evaluación, en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez cerro, departamento Moquegua.



**Mapa 3.** Mapa geomorfológico de la zona de Evaluación, en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro, departamento Moquegua.



**Mapa 4.** Mapa de peligros geológicos de la zona de Evaluación, en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro, departamento Moquegua.

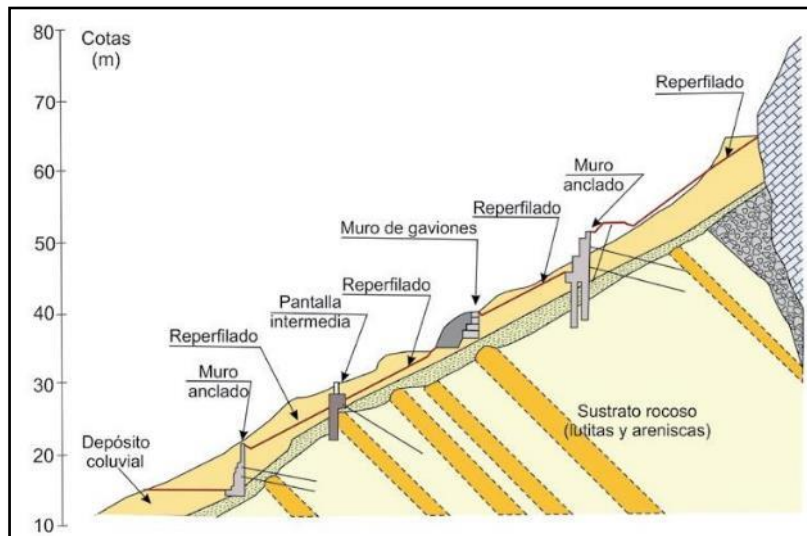
## ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

### Mitigación de peligros por deslizamientos

Para disminuir los daños por deslizamiento, es necesario aplicar las siguientes medidas:

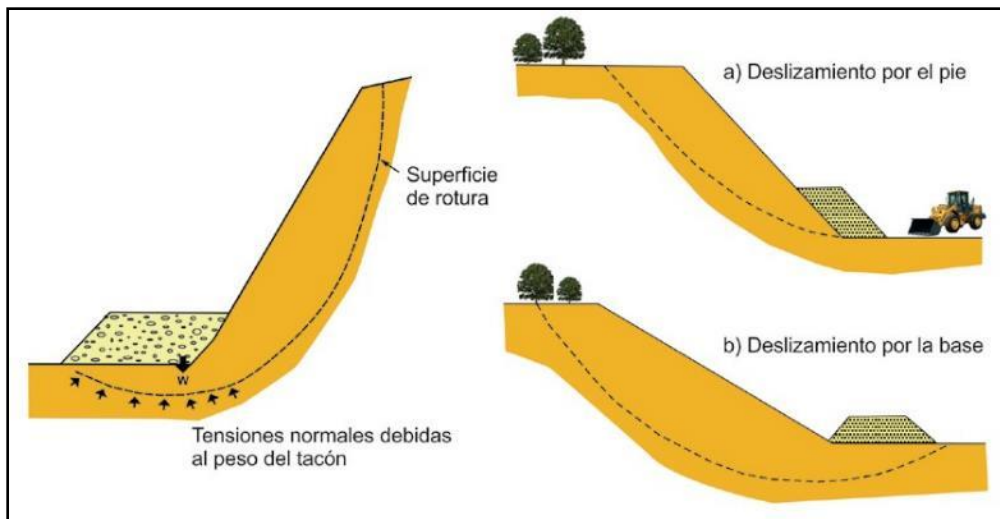
- a) En el caso de los deslizamientos no muy rápidos y poco profundos, son recomendables las obras de drenaje superficial sobre la masa deslizada que debe realizarse una vez que estas se han estabilizado (zanjas de sistema de drenaje perimetrales, **en espina de pez**) y la modificación de la geometría al actuar sobre dos de los factores principales que condicionan las inestabilidades. Otras medidas, como la instalación de anclajes y bulones, son recomendables en caso de inestabilidades en macizos rocosos para evitar los deslizamientos y desprendimientos de bloques; no son efectivas en deslizamientos en suelos (a no ser que se instalen sobre muros o vigas que reparan las fuerzas de forma uniforme); en este último caso son más efectivos los elementos resistentes como pilotes, muros o pantallas.

En la figura 26 se presenta un esquema de la estabilización de un extenso deslizamiento superficial en suelos residuales limo-arcillosos. Las medidas de corrección o estabilización de laderas están encaminadas a prevenir los procesos y mitigar los daños. Cabe mencionar que los deslizamientos o flujos de dimensiones importantes, incluso con velocidades muy bajas, son muy difíciles o imposibles de detener.



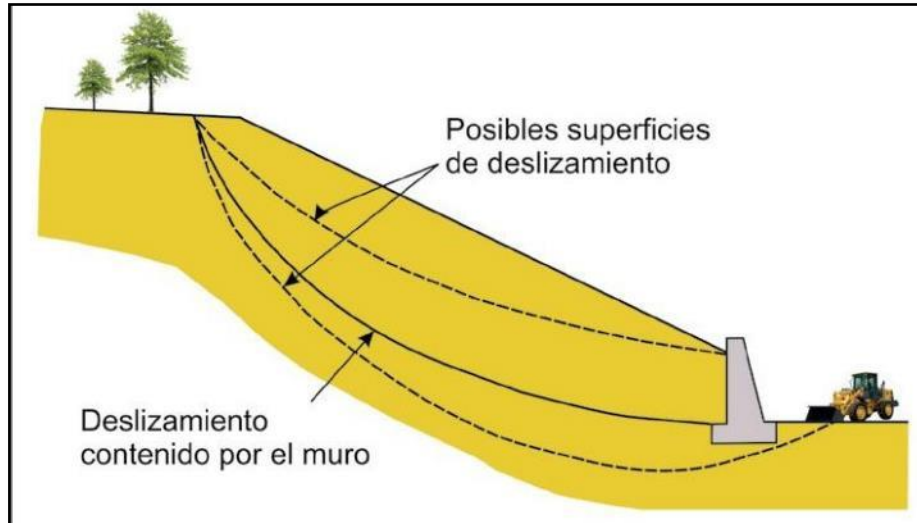
**Figura 26.** Esquema de las medidas de contención de un deslizamiento en suelo coluvial arcillo-limoso con sustrato formado por lutitas y areniscas. Rodríguez, Ortiz, 1997.

- b) Otra medida es la construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente (Figura 27). 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 para estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta, además, como un elemento resistente propiamente dicho. Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante.



**Figura 27.** Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno, en el pie de un talud (izquierda), colocación de escollera según el ángulo de rozamiento interno del terreno (derecha). Ayala, 2003.

- c) En ocasiones se emplean muros; para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención en el pie, como se muestra en la figura 28, Sin embargo, esta medida puede tener varios inconvenientes a la hora de la construcción ya que al excavar en el pie del talud puede favorecer la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Además, el muro puede no ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo, como se aprecia en la figura.

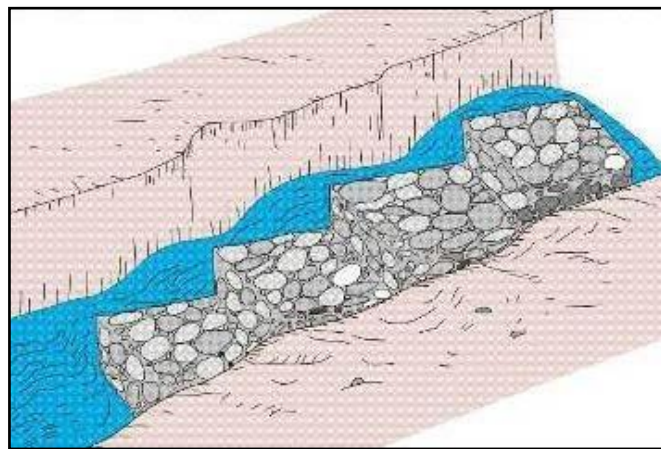


**Figura 28.** Control de un deslizamiento mediante un muro. Ayala, 2003.

#### **A. Mitigación de peligros por inundación y erosión fluvial**

Para disminuir los daños por inundaciones, es necesario aplicar las siguientes medidas:

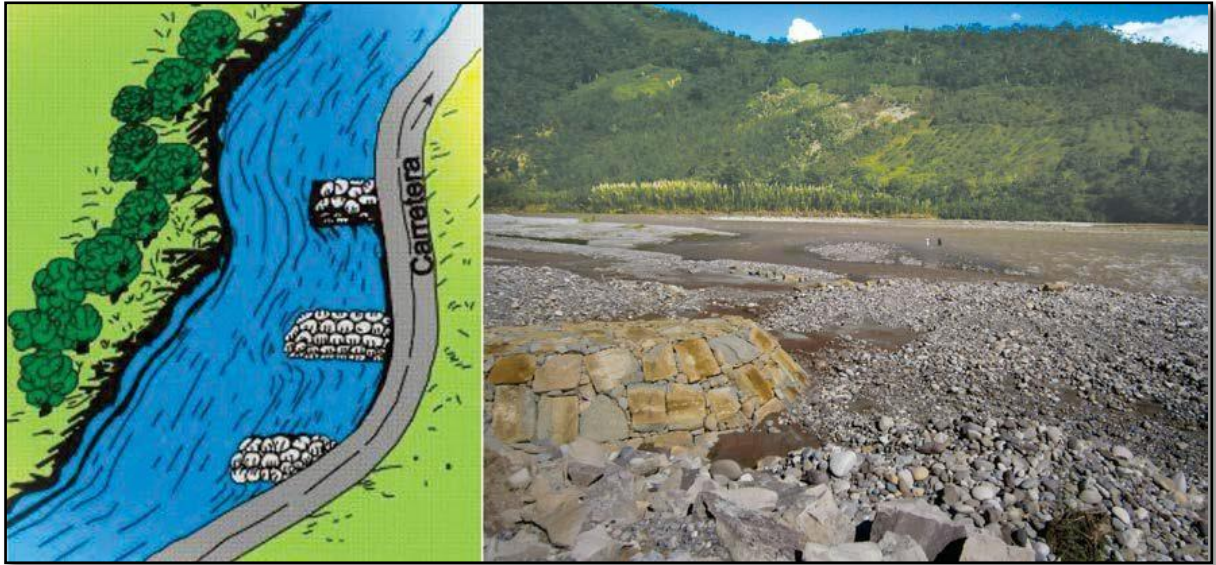
- a) Encauzamiento del lecho principal, ríos y quebradas afluentes en zonas donde se produzcan socavamientos laterales de las terrazas aledañas. Para ello, se debe construir espigones laterales, enrocados o gaviones para aumentar la capacidad de tránsito en el cauce de la carga sólida y líquida durante las crecidas y limpiar el cauce. (figura 29).



**Figura 29.** Gaviones para encauzar el lecho del río.

- b) Protección de las terrazas fluviales de los procesos de erosión fluvial por medio diques de defensa o espigones que ayudan a disminuir el proceso de arranque y desestabilización (figura 30).



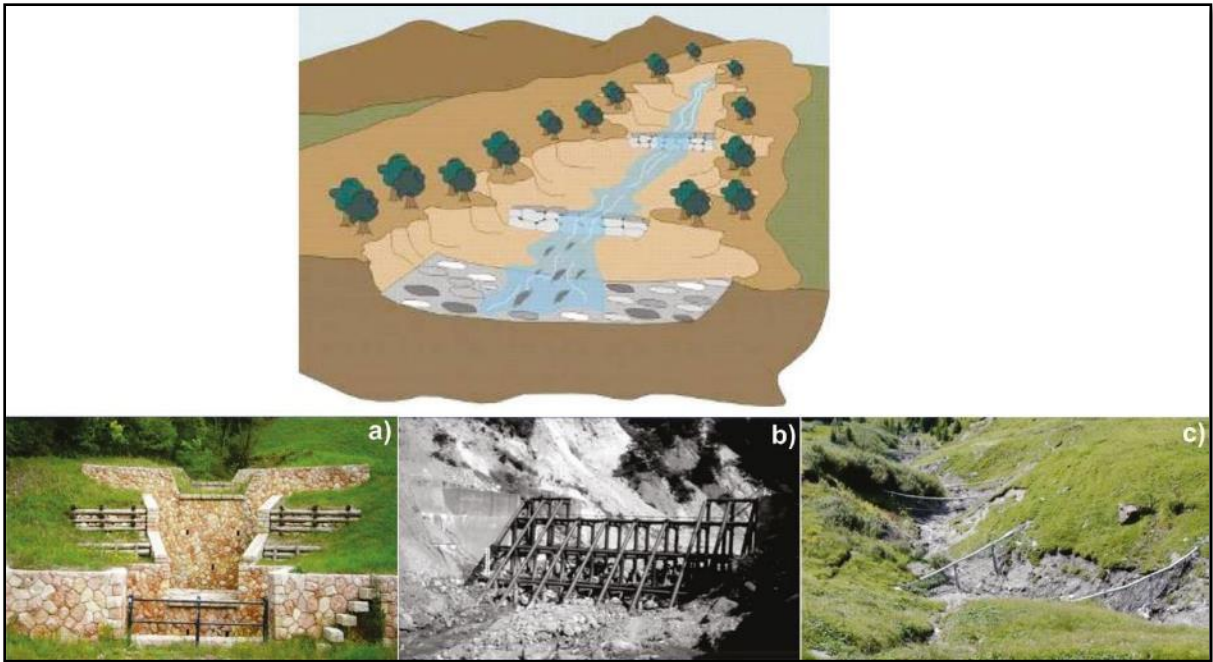


**Figura 30.** Espigones para proteger las terrazas

### Mitigación de peligros por flujo de detritos (huaicos)

Para disminuir los daños por flujos, es necesario aplicar las siguientes medidas:

- a) Canalizar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos; al reducir los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales, siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, caso del fenómeno El Niño. Es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.
- b) Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos.
- c) Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos; tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico). Ya sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y las barras flexibles que debido a la permeabilidad de la red los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido; fosas de decantación; etc. (figura 31).
- d) Muchas de las quebradas, torrenteras o chorreras que generan huaicos periódicos en la región pueden ser controladas en las carreteras mediante badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros, en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Es preciso mencionar que estas obras de infraestructuras, que atraviesen estos cauces, deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas que provienen de la cuenca media y alta evitándose obstrucciones y represamientos violentos.
- e) Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de canalización y limpieza del cauce de la quebrada aguas arriba; así como obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.



**Figura 31.** Presas de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de loshuaicos: a) tipo SABO, b) tipo rejilla, c) barras flexibles.