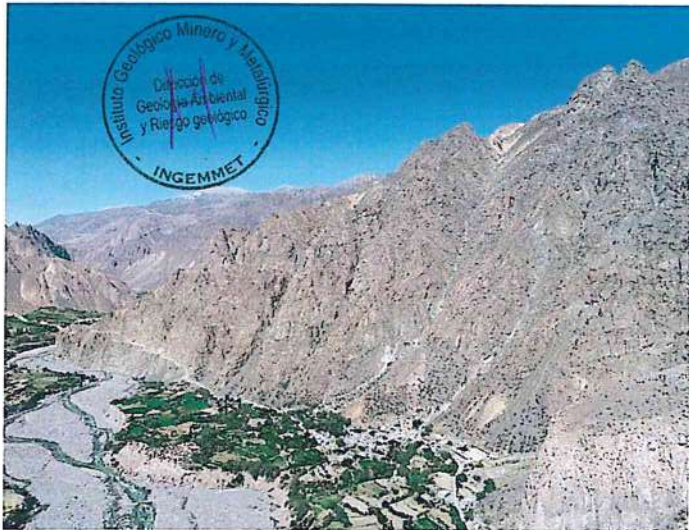


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A6975**

# **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE HUARINA Y CANDAHUA**

Región Moquegua  
Provincia General Sanchez Cerro  
Distrito Matalaque



NOVIEMBRE  
2019

REKSTON N° 001 CARATULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET 07/11/19

## CONTENIDO

RESUMEN .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 Metodología de trabajo .....	2
1.2 Objetivo del estudio .....	3
2. GENERALIDADES .....	3
2.1 Ubicación y accesibilidad.....	3
3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN HUARINA .....	5
3.1 Condiciones geológicas .....	5
3.2 Condiciones geomorfológicas.....	9
3.3 Peligros geológicos.....	9
4. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN CANDAGUA.....	17
4.1 Condiciones geológicas .....	17
4.2 Condiciones geomorfológicas.....	20
4.3 Peligros geológicos.....	21
5. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN HUARINA Y CANDAGUA .....	27
5.1 Método de simulación numérica.....	27
5.2 Método de estudio de flujos de detritos (huaicos) .....	27
5.3 Simulación de flujos de detritos (huaicos/lahares) en el sector Huarina. ....	28
5.4 Simulación de flujos de detritos (huaicos/lahares) en el sector Candagua .....	31
6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN .....	36
6.1 Para los flujos de detritos (huaicos).....	36
6.2 Para cárcavas.....	36
CONCLUSIONES .....	40
RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42

## RESUMEN

El informe de inspección contiene datos de observaciones realizadas en los sectores de Huarina y Candagua, ubicados en el distrito de Matalaque, provincia General Sanchez Cerro, departamento de Moquegua

En el área de estudio afloran rocas de la Formación Matalaque y el Grupo Barroso compuestas por secuencias de rocas volcánicas fracturadas y alteradas. Así como también rocas piroclásticas deleznable del volcán Huaynaputina. Las unidades geomorfológicas identificadas en las zonas de estudio son montañas en roca volcánica y terrazas aluviales.

Los peligros geológicos identificados en las zonas evaluadas están condicionados por la naturaleza litológica de la zona, la pendiente de las laderas, la configuración geomorfológica y la proximidad a centros volcánicos. Entre los principales y más recurrentes se tienen a los flujos de lodo o lahares que afectan a Huarina, seguido de caída de cenizas, caída de rocas, derrumbes y erosiones de laderas

El sector de Huarina es muy susceptible a la ocurrencia de lahares que se originan en el valle del río Ubinas, por lo tanto, es una zona crítica de peligro inminente ante la ocurrencia de lluvias intensas, no apta para vivienda.

El sector de Candagua es susceptible a ser afectado por flujos de lodo o lahares que se originan en las quebradas que colindan con el límite oeste de dicho pueblo. Los flujos de lodo ponen en peligro a la población e infraestructura; sin embargo, estos peligros son mitigables en este sector.

En este informe damos recomendaciones sobre medidas de prevención y/o mitigación.

## EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES DE HUARINA Y CANDAHUA

### 1. 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; enmarcados dentro de la actividad 07 de asistencia técnica en evaluación de peligros geológicos a nivel nacional de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

El Gobierno Regional de Moquegua, mediante el oficio N° 060-2019-A/MDM, de fecha 20 de mayo del presente año, dirigido al presidente ejecutivo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, solicita una evaluación técnica en las comunidades de Huarina y Candagua, ubicados en el distrito de Matalaque, provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua.

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 conformada por los ingenieros, Jessica Vela y Yhon Soncco, quienes realizan dicha inspección los días 05, 06 y 07 de agosto del 2019.

#### 1.1 Metodología de trabajo

La metodología para la elaboración del presente informe consta básicamente de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y gabinete, las cuales se describen a continuación:

##### 1.1.1. 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.

##### 1.1.2. Trabajos de campo

El trabajo de campo se realiza durante 3 días donde se realiza el cartografiado a detalle de peligros geológicos y sobre vuelos con dron, para la obtención de fotografías panorámicas.

##### 1.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en realizar simulaciones matemáticas de huaicos/lahares en los sectores de Huarina y Candagua, estos se trabajaron en un DEM de 6 m de celda. Así mismo se trabajó en la elaboración de los mapas de peligros geológicos, para ambos sectores. Los trabajos culminaron con la redacción del informe técnico.

## 1.2 Objetivo del estudio

- ✓ Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que podrían afectar la zona de estudio.
- ✓ Emitir recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 Ubicación y accesibilidad

Las zonas de estudios (Huarina y Candagua) se localizan en el distrito de Matalaque, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua, en la margen derecha del río Tambo (figuras 1 y 2). El sector de Huarina se encuentra a 14 km al sureste del cráter del volcán Ubinas. Mientras que el sector Candagua, se localiza a 23 km al sureste del cráter del volcán Ubinas.

La zona es accesible desde Arequipa por la carretera asfaltada de Chiguata, luego se continúa por una carretera afirmada hasta Matalaque. Huarina se localiza a 4.5 km al norte de Matalaque. Mientras que Candagua se localiza a 6 km al sur de Matalaque.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración (h)
Arequipa	Chiguata	25	asfaltada	1
Chiguata	Matalaque	120	afirmada	3

Coordenadas geográficas de las zonas de estudio:

Zonas de estudio	Coordenadas
Sector Huarina	- 16°26'39.56"S - 70°49'1.24"O
Sector Candagua	- 16°32'3.80"S - 70°48'38.54"O

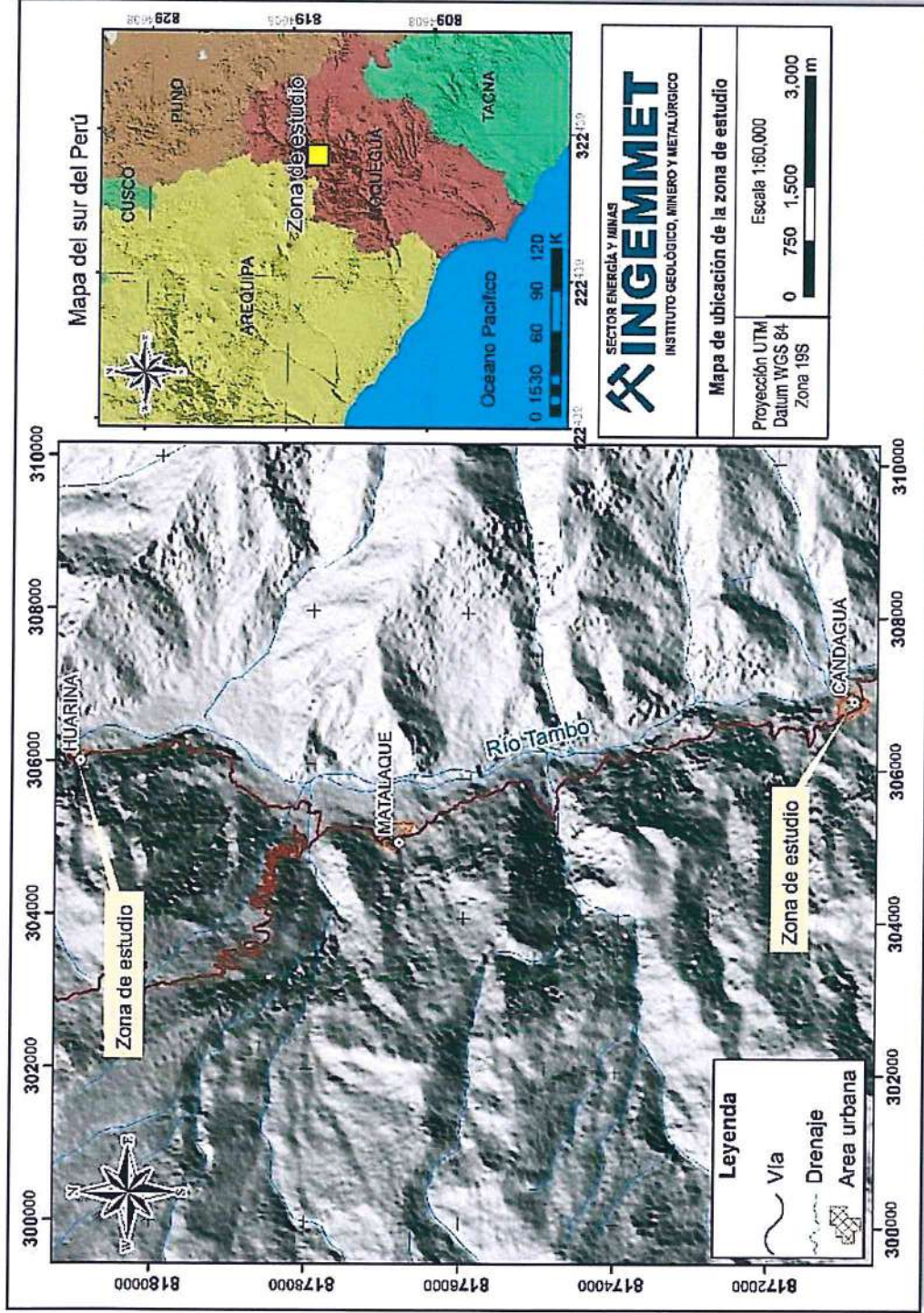
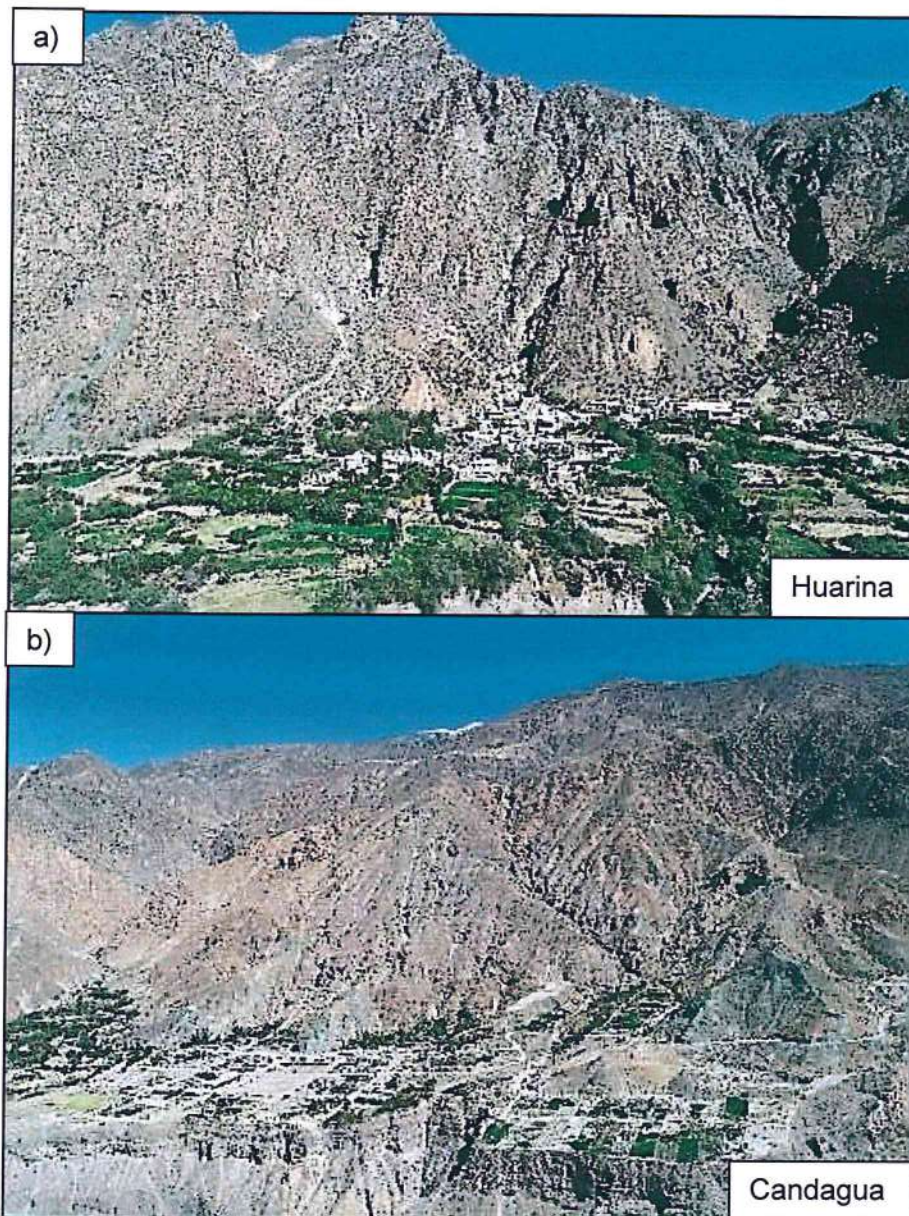


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio



*Figura 2. Muestra las vistas panorámicas de las dos zonas de estudio, a) Huarina y b) Candagua. Fotografías tomadas con drone.*

### **3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN HUARINA**

#### **3.1 Condiciones geológicas**

Para el análisis geológico de la zona de estudio se toma como referencia el mapa geológico del cuadrángulo de Ichuña (33-u), elaborado por Rene Morocco y Mario del Pino (1998). Las unidades litoestratigráficas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a las secuencias volcánicas del Cretáceo temprano de la Formación Matalaque y Grupo Barroso del Mioceno

tardío al Pleistoceno. Los depósitos más recientes corresponden a depósitos aluviales (figura 3).

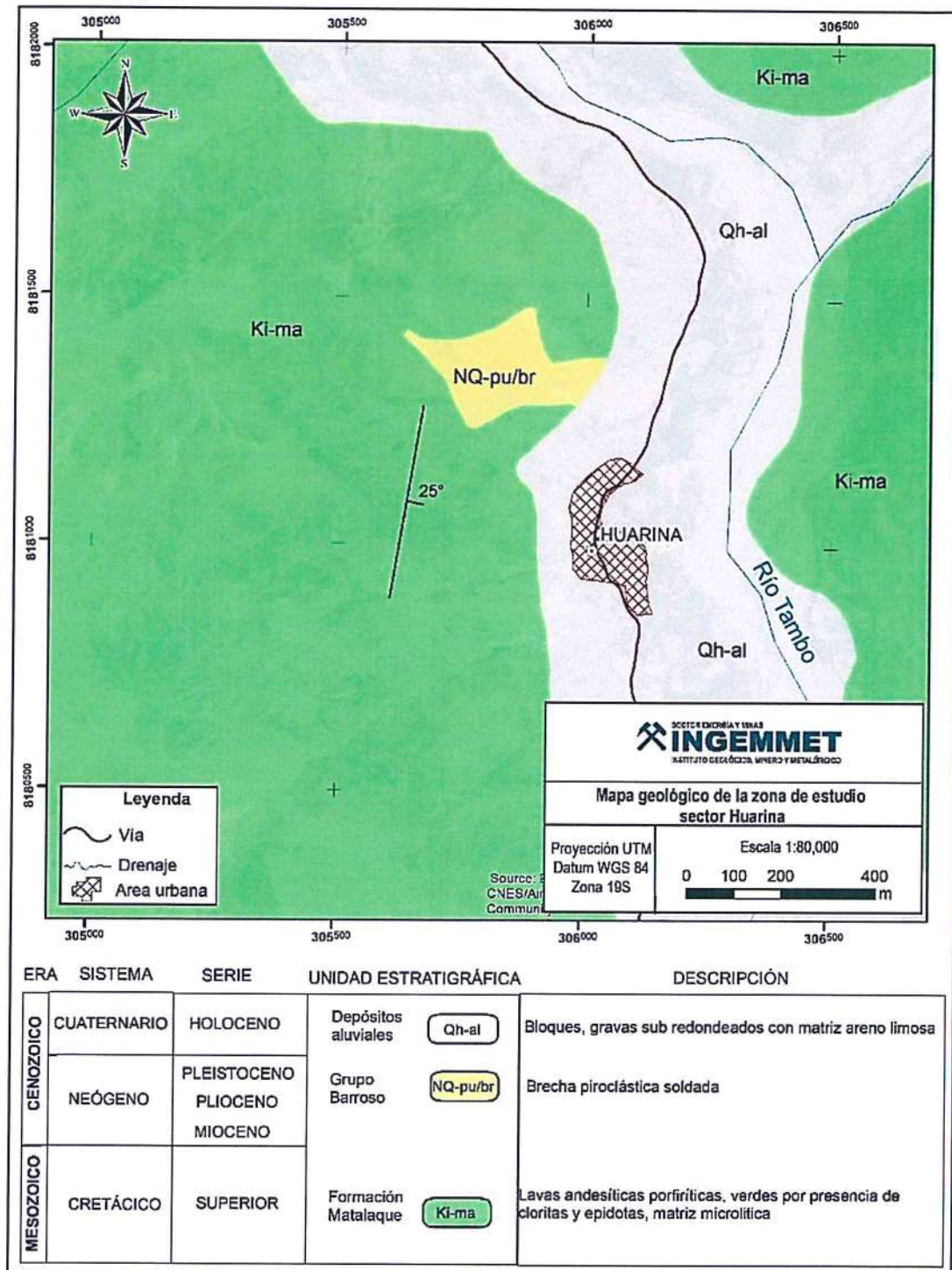


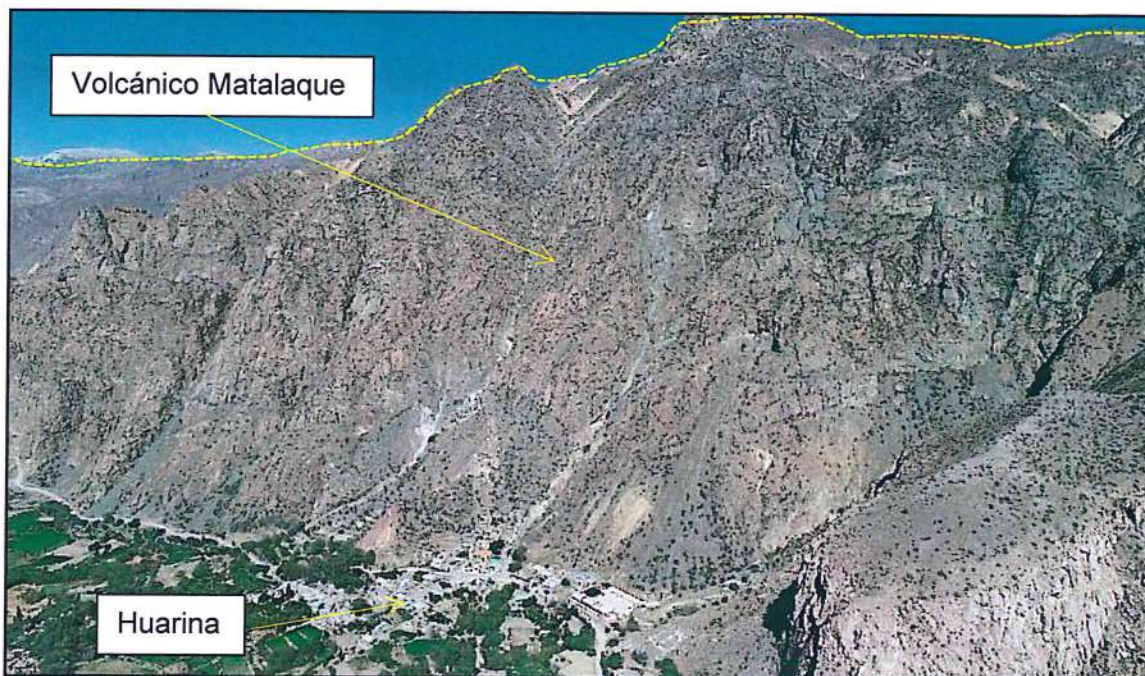
Figura 3. Mapa geológico del sector Huarina, tomado de Morocco, R. y Pino, M. (1998).

- a) **Volcánico Matalaque:** Morocco y del Pino (1966) lo describen como una serie de rocas volcánicas que afloran en los alrededores del distrito de Matalaque, ubicado al sureste del volcán Ubinas. Esta Formación se encuentra sobreyaciendo con ligera discordancia erosional a la secuencia sedimentaria del Jurásico correspondiente al Grupo Yura y subyace en



discordancia angular a las rocas volcánicas del Grupo Tacaza (Eoceno - Mioceno).

Las rocas volcánicas pertenecientes al Volcánico Matalaque fueron reconocidas en la intersección de los ríos Ubinas y Tambo, de donde se prolonga río abajo, hasta inmediaciones del pueblo de Carumas y Quinistaquillas. Esta formación está constituida por una secuencia de lavas de composición andesítica epidotizadas y ocasionalmente bancos de ignimbritas soldadas (figura 4).

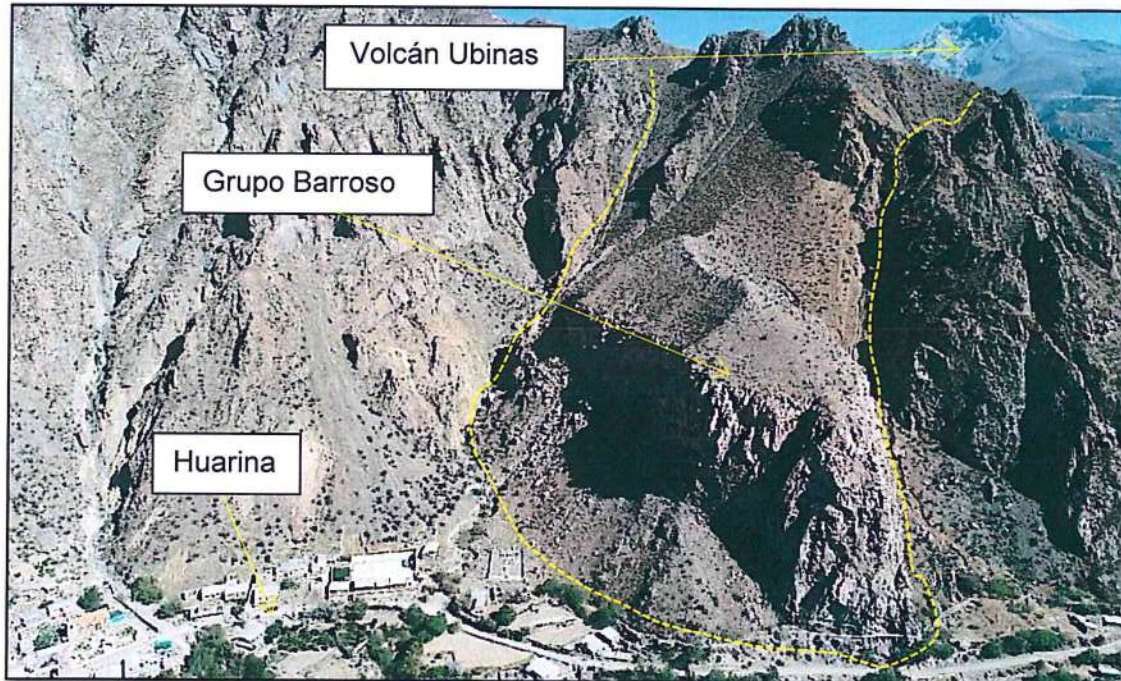


*Figura 4. Muestra los afloramientos del volcánico Matalaque en el sector Huarina.*

El Volcánico Matalaque forma una serie de montañas, donde se desarrollan quebradas por la acción del agua. En inmediaciones de Huarina se presentan hasta tres quebradas, donde podrían generarse huaicos/lahares, además, por lo escapado de la zona, podría generarse caída de rocas. La susceptibilidad a la ocurrencia de peligros geológicos del volcánico Matalaque es moderada a alta.

- b) Grupo Barroso:** El Grupo Barroso del Mioceno superior al Pleistoceno (Thouret et al., 2006) corresponde a una secuencia de rocas volcánicas anteriores a la última glaciación (Pleistoceno tardío) emplazadas a través de estrato-volcanes, calderas y domos localizados en el sur del Perú.

Las rocas del Grupo Barroso afloran en forma puntual al NO de Huarina. Litológicamente está compuesto por una serie de flujos y coladas de lavas andesíticas y dacíticas, y algunos niveles de flujos piroclásticos (ignimbritas), con espesores que varían de 20 a 30 m. Estas rocas provienen de conos volcánicos antiguos y erosionados (figura 5). Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas y derrumbes.



*Figura 5. Afloramientos del Grupo Barroso en el sector Huarina.*

**c) Depósitos Aluviales:** A lo largo del valle de Tambo se distinguen más de cuatro niveles de terrazas aluviales que descansan a ambas márgenes del río Tambo (figura 6). En dicha zona las terrazas aluviales tienen un espesor total de 5 a 20 m. Litológicamente están conformado por una gran variedad de gravas, bloques lávicos (0,05 a 6 m de diámetro) y fragmentos subredondeados y subangulosos, englobados dentro de una matriz limo arcillosa poco compactada.

Debido a la acción fluvial y socavamiento del agua se desarrollan derrumbes. En inmediaciones de Huarina, se presentan depósitos de huaicos/lahares, de tal modo que podría generarse nuevos eventos similares, que afectarían zonas agrícolas en el sector; definiéndose una susceptibilidad moderada a alta ante la ocurrencia de peligros geológicos.



*Figura 6. Muestra los afloramientos de los depósitos aluviales en el sector Huarina.*

### 3.2 Condiciones geomorfológicas

Las principales unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son montaña en roca volcánica (RM-rv) y terraza aluvial.

#### 3.2.1 Unidad de Montaña

Esta unidad está conformada por relieves agrestes, se caracteriza por su elevada altitud y por las altas pendientes de sus laderas.

**Subunidad de Montaña en roca volcánica (RM-rv):** Esta unidad geomorfológica posee un relieve agreste, con pendientes de hasta 70° (figura 7), se presenta formando las altas cumbres en la zona de estudio. Litológicamente está compuesto de rocas volcánicas de la Formación Matalaque. Esta unidad es susceptible a generar caídas de rocas y erosiones de laderas.

#### 3.2.2 Unidad de Planicies

La zona de estudio se encuentra ubicada al fondo del valle del río Tambo, en una planicie poco inclinada, con relieve llano y con una pendiente de hasta 10°.

**Subunidad de Terraza aluvial:** Esta unidad geomorfológica posee un relieve plano, con pendiente suave entre 5-10° (figura 7). Litológicamente está compuesto de gravas y arenas, básicamente depósitos aluviales. Sobre las terrazas aluviales se ubica el área agrícola de Huarina.



Figura 7. unidades geomorfológicas en la zona de estudio, sector Huarina.

### 3.3 Peligros geológicos

En el sector de Huarina se han identificado derrumbes y caídas de roca, con predominio de flujos de detritos (huaicos), procesos de erosiones de ladera y canchales de detritos. (figura 8).

### **Flujo de lodo o lahares**

Los flujos de lodo o lahares es el fenómeno más recurrente y de mayor afectación en el sector de Huarina (figura 9 y 10).

Los flujos de lodo o lahares emplazados durante febrero del 2016 y marzo del 2017 por los ríos del valle de Ubinas y Tambo, estuvieron asociados a precipitaciones pluviales intensas. Los lahares que descendieron por los flancos oeste y suroeste del volcán Ubinas se encausaron por las quebradas Sacohaya, Volcanmayo y Ubinas, hasta llegar al río Tambo. Mientras que los lahares que descendieron de los flancos norte y oeste del volcán Ubinas se dirigieron por el río Para y luego continuaron con dirección al río Tambo.

Lahares hiperconcentrados de sedimentos, socavan el fondo del río y las terrazas en ambas márgenes del río Tambo, los cuales incrementan el volumen del flujo y represa en algunos tramos al río. El desembalse del dique natural ocasiona daños y pérdidas en terrenos de cultivo y algunas viviendas que se asientan sobre la terraza al margen derecho.

Según algunos reportes de daños durante el 2016 y 2017, se afectaron más de 22 hectáreas de terrenos de cultivo, pérdidas de ganado y la destrucción de puentes peatonales y tramo de trocha afirmada Ubinas-Matalaque que pasa por la margen derecha del río Ubinas. En los años 2018 y 2019 continuaron afectando al sector de Huarina; sin embargo, la mayor afectación fue en febrero del 2019, los cuales traen consigo la destrucción de alrededor de 10 hectáreas de terrenos de cultivo, canales y bocatomas de agua, así como también más de 70 familias.

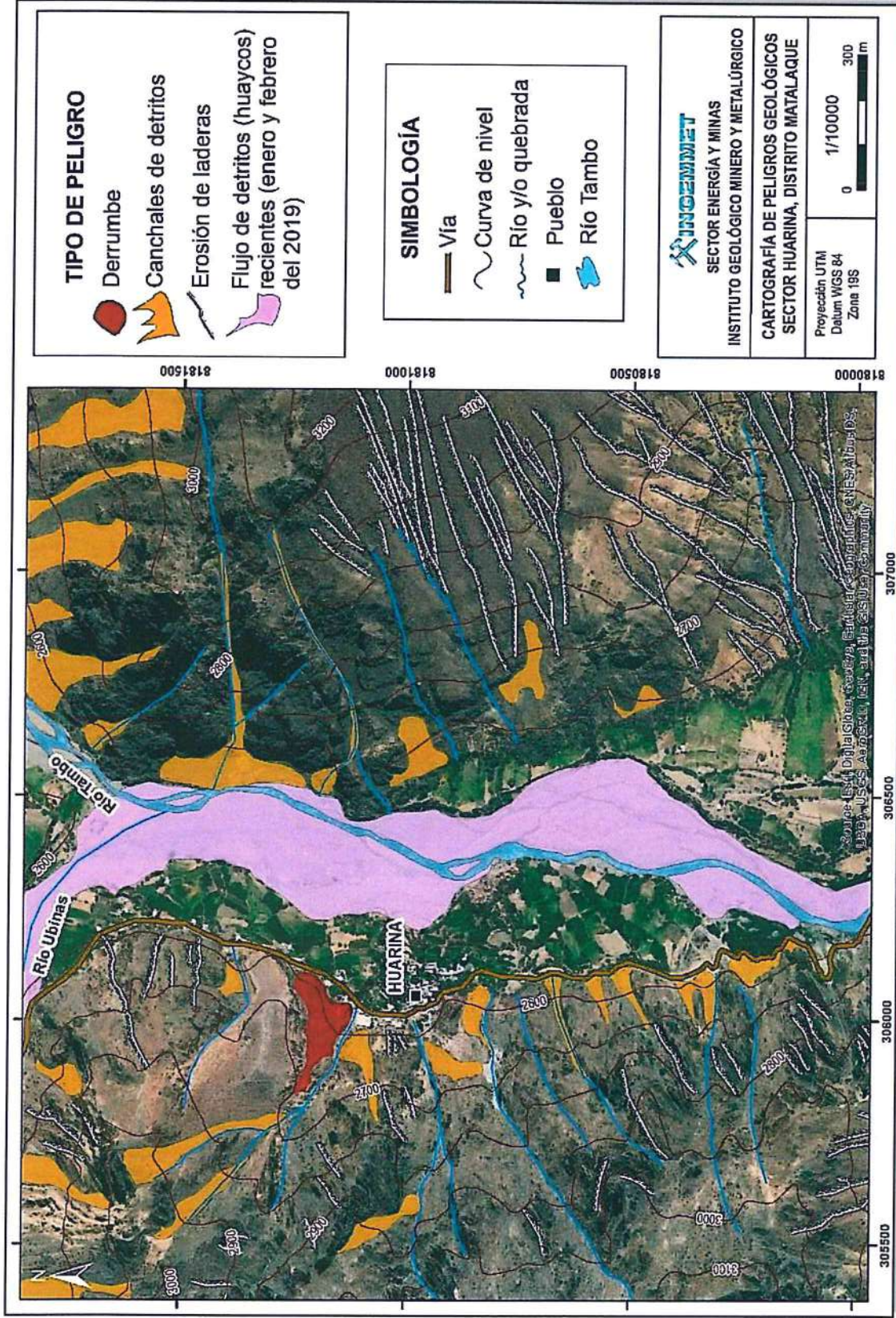
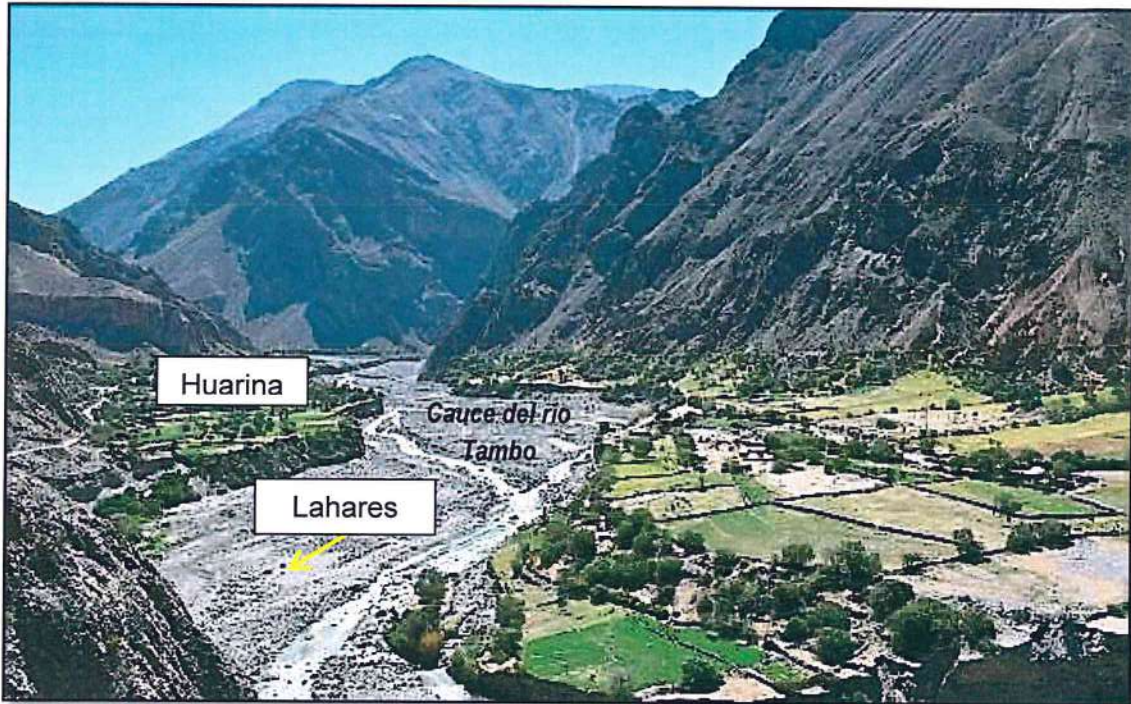
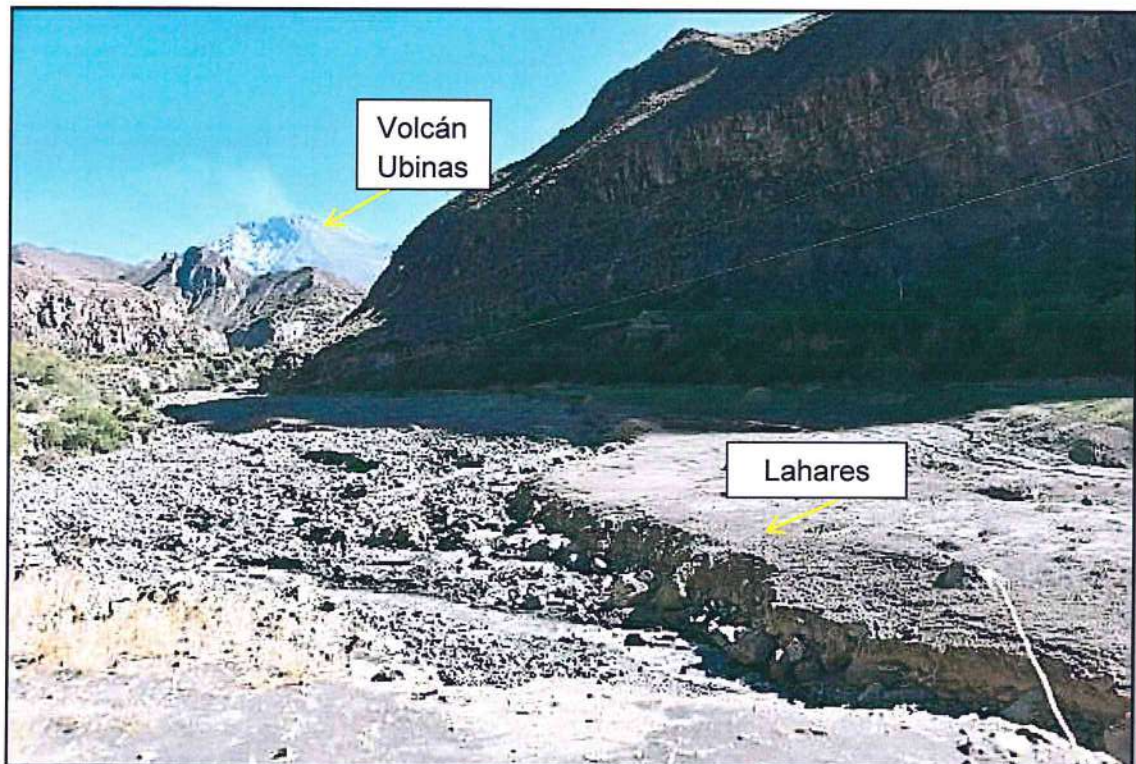


Figura 8: Mapa de peligros geológicos del sector de Huarina.



*Figura 9. Vista de lahares en el cauce del río Tambo que afectan al pueblo de Huarina.*

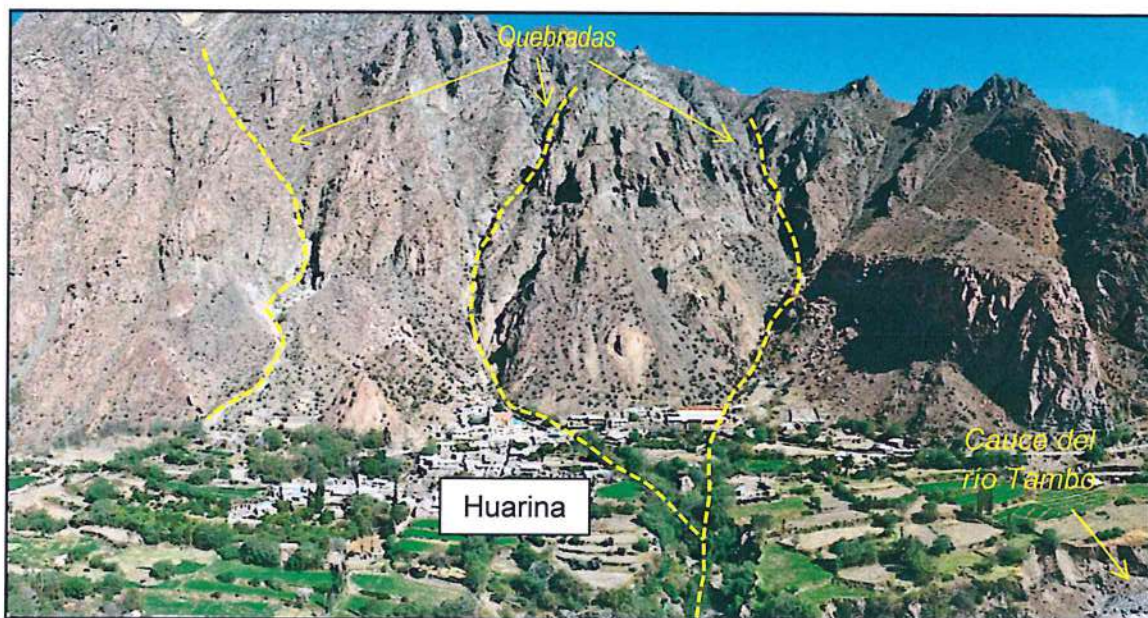


*Figura 10. Vista de lahares en la confluencia del río Tambo y Ubina.*

Hacia el límite oeste del pueblo de Huarina se ha observado tres quebradas que tienen anchos de hasta 6 m y una longitud de 700 m (figura 11). Dentro de las quebradas se identificaron bloques de hasta 3 m de diámetro y gravas de hasta 5 cm, que pueden desencadenar en flujos de detritos y/o huaicos en temporada de lluvia.

Las causas para la generación de flujos de detritos en Huarina son: pendiente de las laderas, que varían de 45° a 55° y superiores a 55° en algunos sectores; mala calidad de roca conformada por lavas fracturadas y alteradas de la formación Matalaque y material suelto producto de las erosiones de ladera.

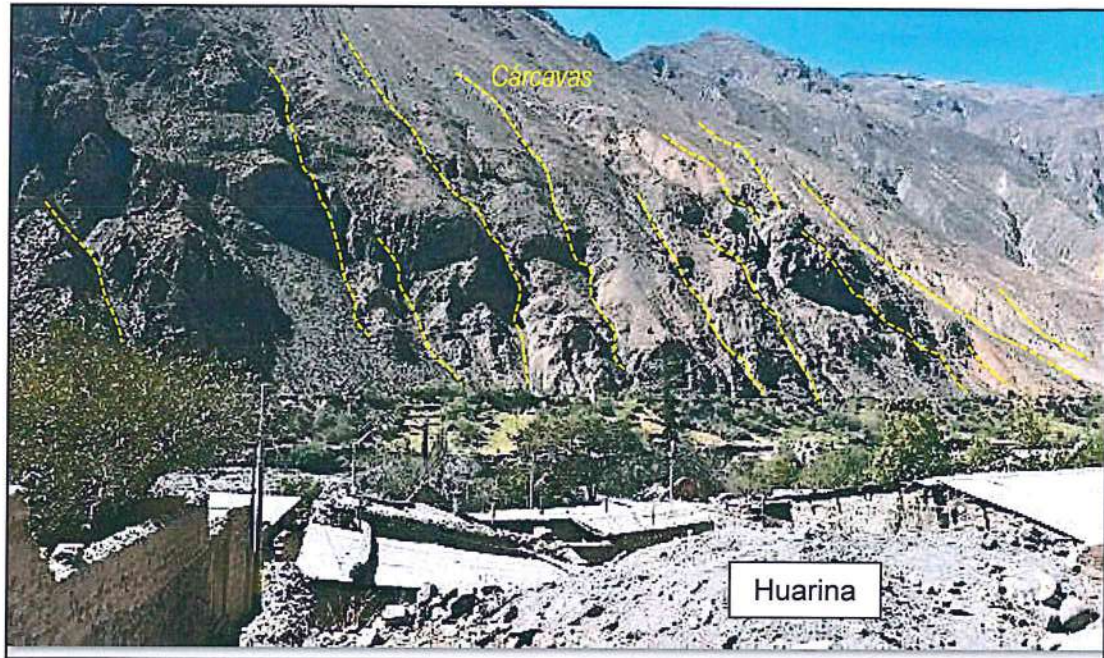
El factor desencadenante para la formación de flujos de detritos son las precipitaciones pluviales.



*Figura 11. Quebradas por donde podrían descender flujos de detritos en temporadas de fuertes lluvias en el sector de Huarina.*

### **Erosión de laderas**

Los procesos de erosión en cárcava ocurren en toda el área de estudio (figura 12). Al límite oeste del pueblo de Huarina se observa claramente los procesos en forma de cárcavas y surcos, que se originan en rocas de mala calidad, alteradas, con intensa meteorización de la Formación Matalaque, dispuestas en laderas con pendientes entre 45° a 55°.



*Figura 12. Ladera al límite oeste del sector de Huarina afectado por erosión de laderas (cárcavas).*

#### **Derrumbes y caída de rocas**

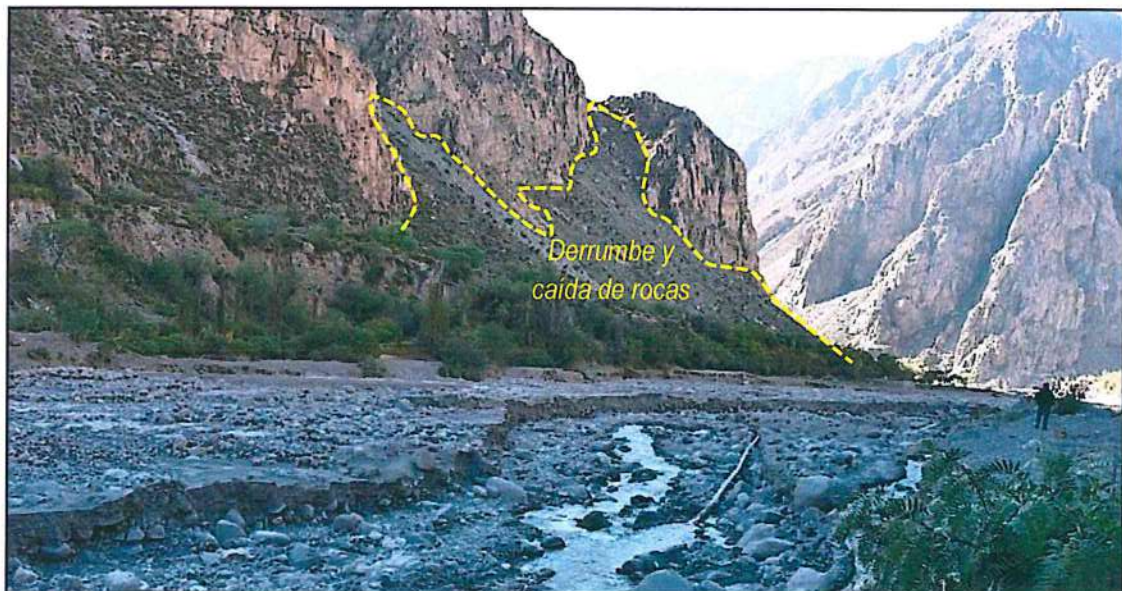
Derrumbes y caída de rocas (figura 13 y 14) ocurridas en afloramientos de rocas volcánicas andesíticas alteradas y moderadamente fracturadas (Clasificación GSI), intensamente fracturadas con presencia de 6 a 10 fracturas por m<sup>2</sup> y espaciamiento de 15 a 25 cm.

Los bloques son sub-angulosos a subredondeados y tienen diámetros comprendidos entre 0.20 a 1 m, sueltos y dispuestos en laderas susceptibles a hacer removidos con precipitaciones pluviales y movimientos sísmicos.

Los factores condicionantes y desencadenantes para ocurrencia del evento son:

- Condicionantes: Morfología de laderas empinadas con pendientes superiores a 45°. Macizo rocoso alterado y fracturado.
- Desencadenantes: Precipitaciones pluviales intensas y eventos sísmicos.





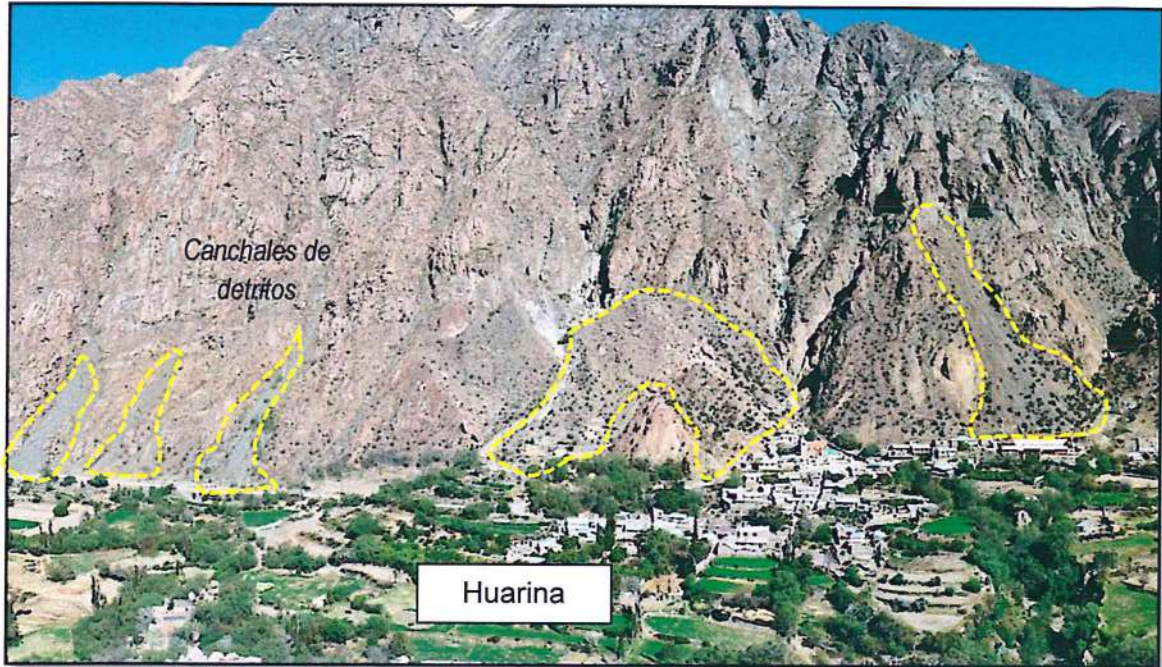
*Figura 13. Lavas andesíticas alteradas y fuertemente fracturadas que han generado desprendimientos y derrumbes en el sector de Huarina.*



*Figura 14. Derrumbes y caída de rocas colindando al pueblo de Huarina.*

Cabe mencionar que en el sector de Huarina también se ha observado canchales de detritos que tienen anchos promedios de 60 m, con 250 m de longitud (figura 15). Los materiales al descender y al llegar al pie del talud forman abanicos. El material del depósito formado por canchales de detritos, está compuesto por gravas y escasos bloques. Las gravas tienen diámetros de hasta 6 cm y los bloques llegan a tener diámetros de hasta 1.5 m. Los fragmentos de roca transportados son de formas angulosas a subangulosas.

Las quebradas en el sector de Huarina son alimentadas con material suelto, producto de la erosión de laderas, derrumbes y/o canchales de detritos.



*Figura 15. Canchales de detritos en el sector de Huarina.*

#### **Caídas de ceniza o lapilli de pómez**

La actividad eruptiva del volcán Ubinas es de tipo vulcaniana. Este tipo de actividad se ha presentado en últimos 500 años (Rivera, 2011) así como también durante la crisis del 2006-2009, 2013, 2017 y la crisis más reciente de julio del 2019.

Durante las erupciones vulcanianas la ceniza es eyectada a la atmósfera en forma de una pluma que comúnmente pueden alcanzar alturas de hasta 10 km y luego viajan influenciados por la dirección y la velocidad de los vientos. En el volcán Ubinas la dirección del viento es hacia el este en época lluviosa (diciembre a marzo) y al noreste, sur y sureste en época seca (abril a noviembre). La distancia recorrida para las caídas de cenizas puede sobrepasar los 20 km. El sector de Huarina se encuentra a 14 km del cráter volcán Ubinas, por lo tanto, las cenizas podrían afectar a este sector.

El 19 de julio 2019, desde las 02:30 am se registraron intensas emisiones de cenizas que superaron los 6.5 km de altura sobre la cima del volcán Ubinas (figura 16). Según los datos de campo, los productos emitidos por el Ubinas corresponden a fragmentos de material volcánico de tamaño ceniza (menor de 2 mm) y lapilli (de hasta 2.5 cm) de diámetro. Los fragmentos grandes cayeron en el valle de Ubinas, afectando los poblados de Querapi, Tonohaya, Sacuhaya, San Miguel, Escacha; y el material más fino fue dispersado a zonas más alejadas de Ubinas: Anascapa, Huatagua, **Huarina**, Matalaque, Candagua, Chojata, Lloque y Yalagua.

La ceniza puede causar daños a la propiedad por acumulación de cenizas en techos que por sobrepeso pueden colapsar; además son nocivos para la salud y el medio ambiente.



*Figura 16. Imagen satelital CIRA del 19 de julio de 2019 que muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección E – SE y afectando a los poblados en el valle de Ubinas.*

#### **4. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN CANDAGUA**

##### **4.1 Condiciones geológicas**

Para el análisis geológico de la zona de estudio se tomó como referencia el mapa geológico actualizado del cuadrángulo de Omate (34-u), elaborado por Luís Quispesivana y Alberto Zapata (2000).

Las unidades litoestratigráficas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a las secuencias volcánicas del Cretáceo temprano de la Formación Matalaque, superunidad Yarabamba del Cretáceo Superior y depósitos piroclásticos del volcán Huynaputina del año 1600 DC. Los depósitos más recientes corresponden a depósitos aluviales (figura 17).

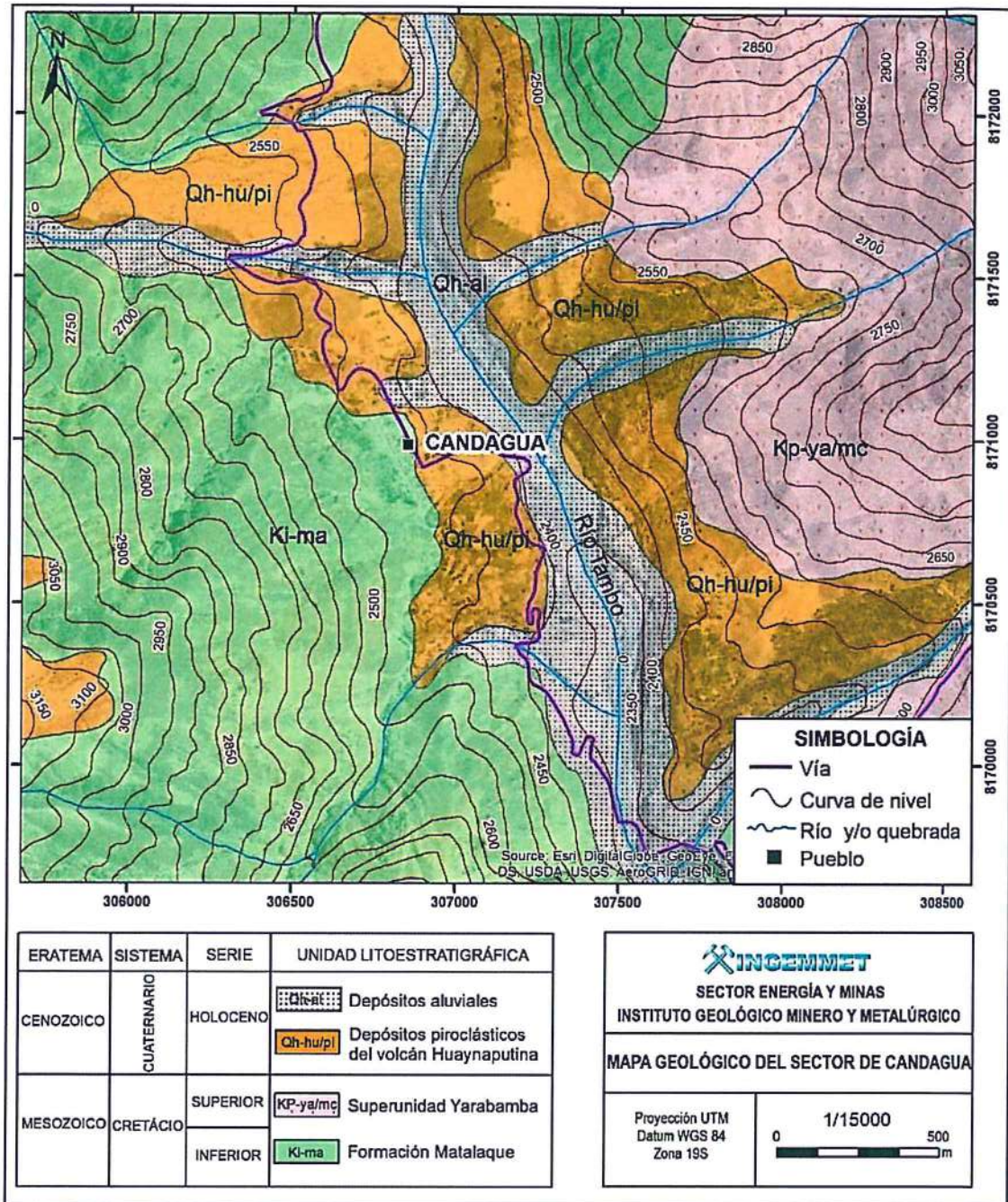
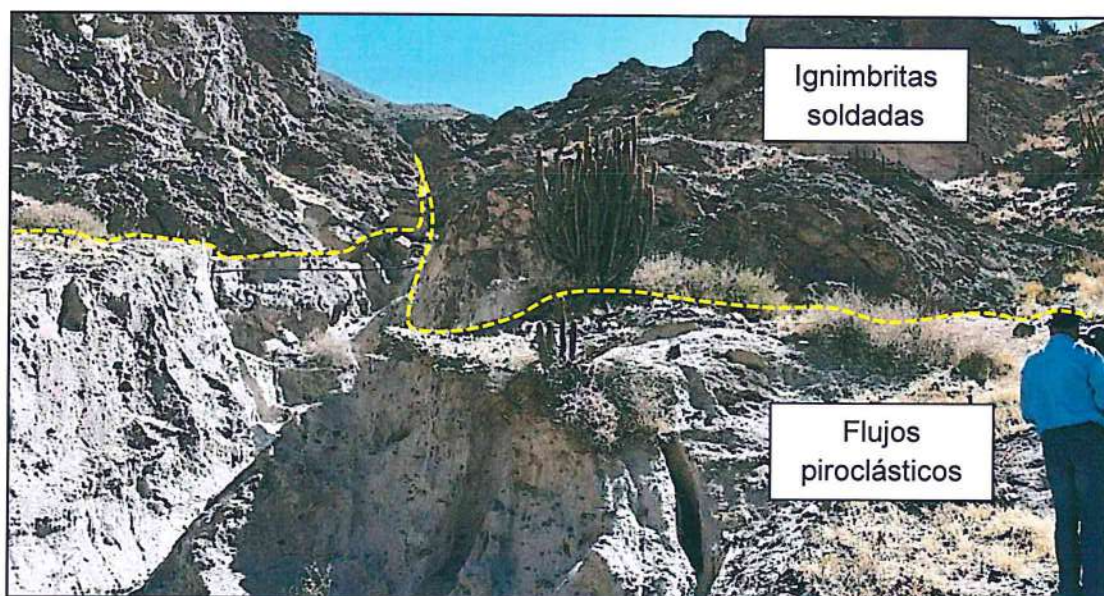


Figura 17. Mapa geológico del sector de Candagua; tomado de Luís, Q. y Alberto, Z. (2000).

a) **Formación Matalaque:** En el sector de Candagua esta unidad se encuentra constituida por una secuencia de lavas andesíticas alteradas con algunas intercalaciones de brechas y bancos de ignimbritas soldadas (figura 18). Las lavas y brechas presentan coloraciones verdes grisáceo, gris oscuro y violeta producto de alteración y/o meteorización, mientras que las ignimbritas soldadas tienen coloraciones blanquecinas a naranjas y están conformadas por líticos y pómez menores a 5 cm de diámetro, incluidas dentro de una matriz de ceniza de grano fino. Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas y ser afectados por erosión de laderas.



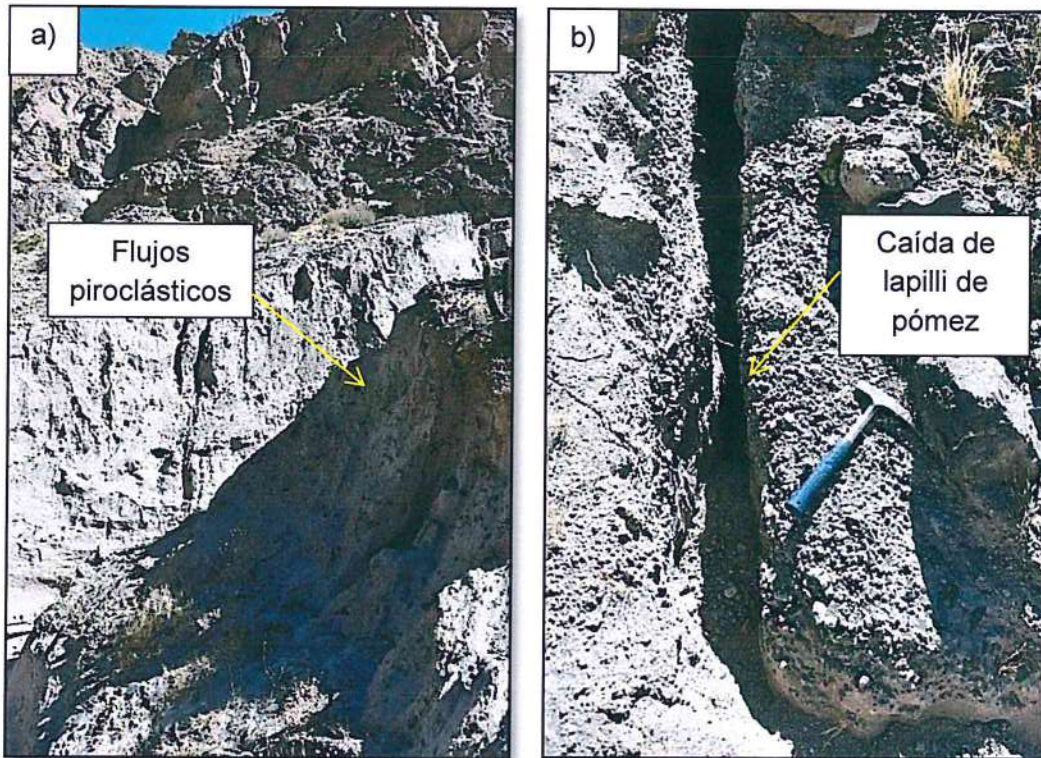
*Figura 18: Afloramiento de ignimbritas soldadas de la Formación Matalaque. También se observa depósitos de flujos piroclásticos del volcán Huaynaputina canalizados en una quebrada que colinda con el pueblo de Candagua.*

- b) Superunidad Yarabamba:** Aflora a 1 km al este del pueblo de Candagua (figura 17). Son cuerpos plutónicos en forma de stock y se encuentran intruyendo a secuencias volcánicas de la Formación Matalaque. Litológicamente están constituidos por rocas ácidas a intermedias como granodioritas, cuarzo mozodioritas cuarcíferas, dioritas y tonalitas (Luis Q., 2000).
- c) Depósitos piroclásticos del volcán Huaynaputina:** En el área de estudio afloran depósitos de flujos piroclásticos y caída de lapilli de pómez del volcán Huaynaputina. Estos depósitos corresponden a la actividad explosiva del año 1600 DC de dicho volcán. Depósitos susceptibles a ser afectados por erosiones de laderas, así como también flujos de lodo o lahares ante la ocurrencia de fuertes lluvias.

Depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza: El depósito es de color blanquecino y tiene 3 m de espesor, el cual se encuentra canalizado en las quebradas que se encuentran en el sector oeste del pueblo de Candagua. Este depósito presenta pómez de hasta 5 cm de diámetro con fenocristales de plagioclasa y biotita, dentro de una matriz blanquecina vesiculada y deleznable. Los fragmentos líticos son de color negro y tienen formas angulosas y subangulosas, no están alterados y tienen hasta 10 cm. de diámetro (figura 19a).

Depósito de Caída de lapilli de pómez: Sobreyace a los depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza. El depósito presenta pómez de color blanquecina con gradación inversa de la base hasta la parte media. Hacia la parte superior se observa gradación normal donde predomina los líticos

oxidados y accesorios de tamaño centimétricos. En la base se observa lapilli de pómez con presencia de líticos oxidados y accesorios con algunos líticos juveniles de tamaños milimétricos (figura 19b).



*Figura 19. a) Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza del volcán Huaynaputina. b) Depósito de caída de lapilli de pómez suprayaciendo al depósito de flujo piroclástico del volcán Huaynaputina.*

- d) Depósitos Aluviales:** Se desarrolla en el fondo del valle del río Tambo. Están constituidos por gravas, arenas, cenizas volcánicas, con clastos subredondeados a redondados; generalmente forman terrazas y son útiles para los cultivos. Estos depósitos se encañonan en el curso medio del río Tambo, presentando excelentes terrazas predominantemente de cenizas volcánicas.

## 4.2 Condiciones geomorfológicas

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

### 4.2.1 Unidad de Montaña

Esta unidad está conformada por relieves agrestes, se caracteriza por su elevada altitud y por las altas pendientes de sus laderas.

**Subunidad de Montaña en roca volcánica (RM-rv):** Dentro de esta unidad se consideran afloramientos de rocas volcánicas (lavas andesíticas e ignimbritas) de la Formación Matalaque (figura 20). Presentan laderas con pendientes de

hasta 75°. Estas unidades son susceptibles a generar caídas de rocas y erosiones de laderas.



Figura 20. Montañas en rocas volcánicas en el sector de Candagua.

#### 4.2.2 Unidad de Planicies

Esta unidad presenta relieves bajos o llanos y con una pendiente de hasta 10°. En esta unidad se encuentran las terrazas aluviales donde se desarrollan las actividades tales como la ganadería y la agricultura.

**Subunidad de Terraza aluvial (T-al):** Se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal del río Tambo; a mayor altura, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle. Sobre estos terrenos se desarrollan actividades agrícolas (figura 21).

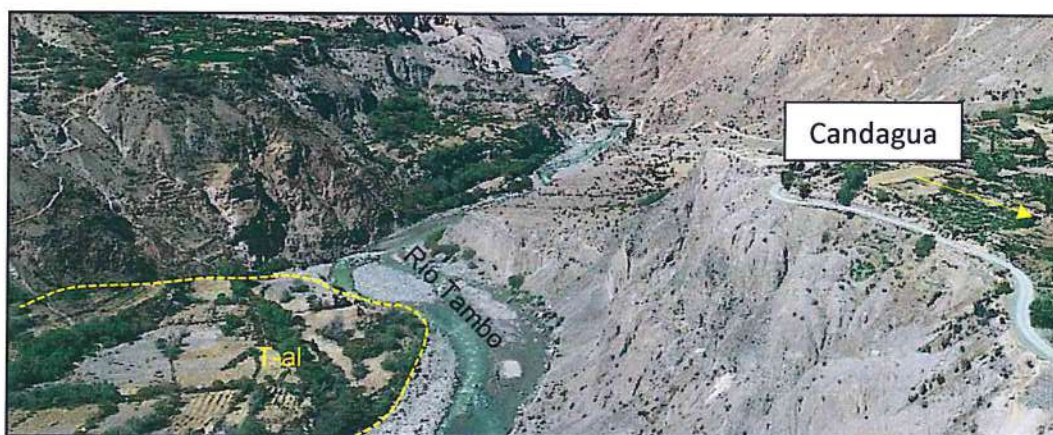


Figura 21. Muestra las geoformas de terraza aluvial (T-al) en el valle del río Tambo, sector de Candagua.

#### 4.3 Peligros geológicos

En el sector de Candagua se han identificado ocurrencias de peligros geológicos, como flujos de lodo o lahares y procesos de erosiones de ladera (figura 22).

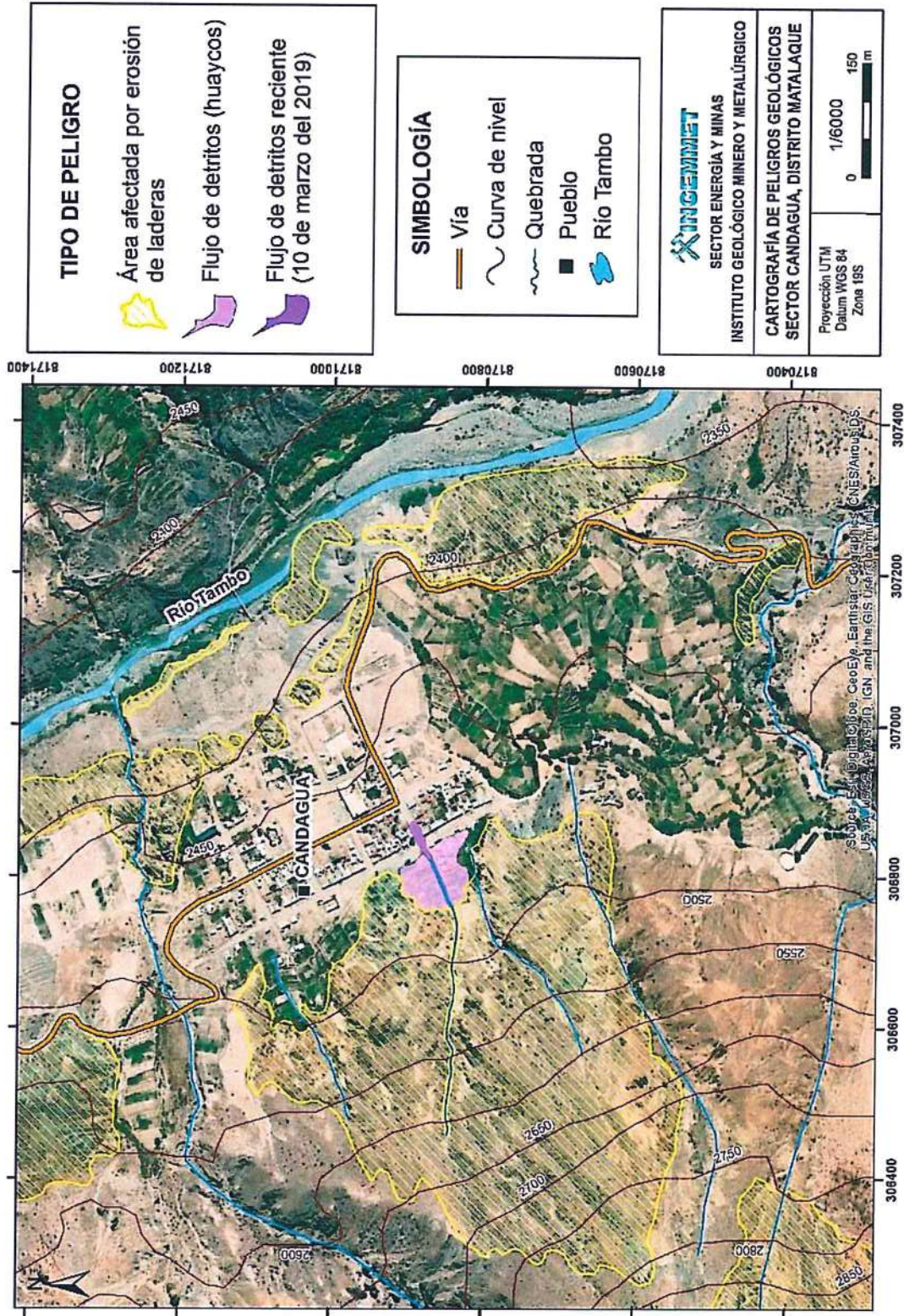


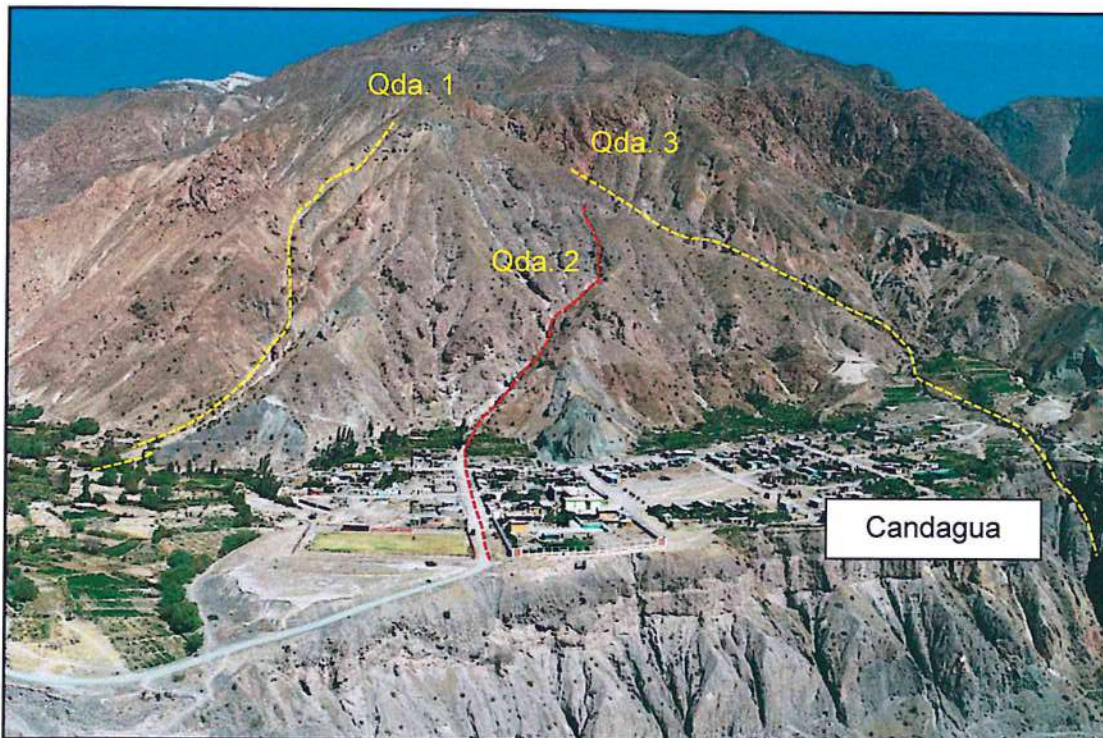
Figura 22: Mapa de peligros geológicos del sector de Candagua.



### Flujo de lodo o lahares

En el extremo oeste del pueblo de Candagua se observan tres quebradas. La cuenca de recepción de estas quebradas presenta laderas con pendientes que varían entre 50° a 60° y en algunos sectores presentan pendientes de hasta 75° (figura 23).

El 10 de marzo del 2019 a consecuencia de fuertes lluvias, el agua discurrió por las laderas pronunciadas del sector de Candagua; las mismas que al descender por la quebrada N°2 (figura 23), remueve material suelto y genera flujos de lodo torrencioso que transporta a gran velocidad bloques y sedimentos a largo de las calles del pueblo de Candagua.



*Figura 23: Fotografía panorámica tomada con drone. Muestra las quebradas que se encuentran en el extremo oeste del pueblo de Candagua. En línea roja se muestra la quebrada N°2 (Qda. 2) por donde descendieron los lahares de mayor volumen el día 10 de marzo del presente año.*

En este evento se movilizaron bloques de rocas volcánicas de formas subangulosas comprendidos entre 50 cm hasta 1 m. Los materiales removidos con mayor porcentaje han provenidos de los depósitos piroclásticos del volcán Huaynaputina (depósitos inconsolidados de lapilli de pómez, y flujos piroclásticos de pómez y ceniza), figura 24.

A consecuencia de este evento el cauce de la quebrada se encuentra socavada en varios sectores alcanzando hasta 4 m de profundidad y entre 2 a 3 m de ancho.

Las causas para la generación de flujos de lodo en el sector de Candagua son: pendiente de las laderas que varían de 50° a 60°. Mala calidad de roca conformada por depósitos piroclásticos del volcán Huaynaputina. Aporte de material suelto, producto de las erosiones de ladera. El factor desencadenante para la formación de flujos de detritos son las precipitaciones pluviales.



*Figura 24: Vista de la quebrada N°2 (Qda. 2) se muestra depósitos piroclásticos del volcán Huaynaputina.*

Al pie del talud de la quebrada N°2 se ha observado depósitos de lahares antiguos de hasta 3m de espesor promedio, caracterizado por ser depósitos masivos, medianamente estratificados y compactos (figura 25).

Se encuentran mal clasificados y contienen fragmentos líticos heterométricos y heterogéneos de rocas volcánicas de tamaños menores a 10 cm, englobados en matriz de ceniza de grano fino a medio.

Estos depósitos evidencian varios eventos de lahares que afectaron esta zona en distintos periodos de tiempo.



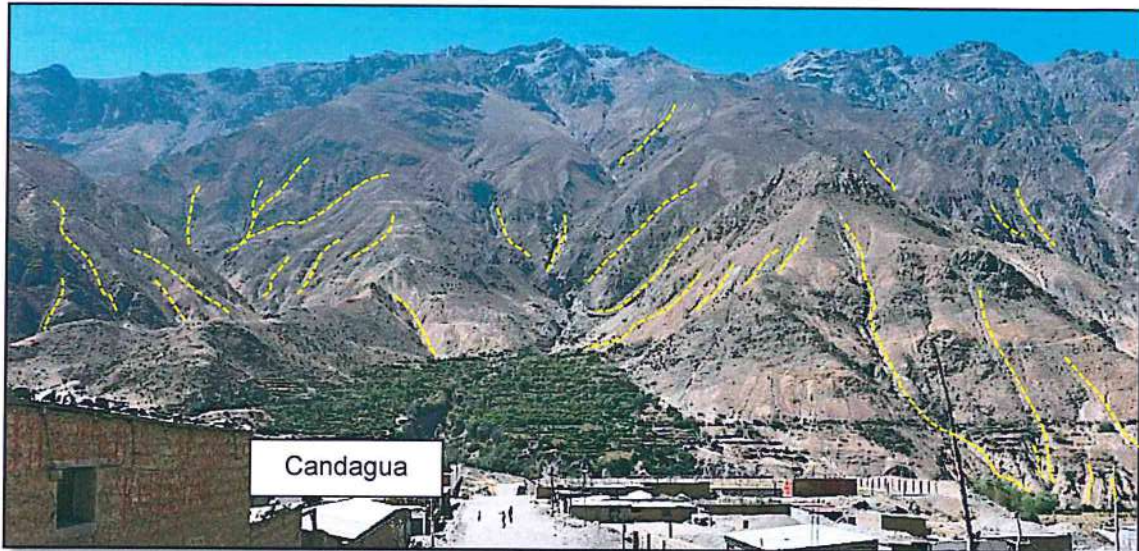
*Figura 25: Secuencia de lahares antiguos al pie del talud de la quebrada N°2, tiene un espesor de 3 m.*

### **Erosiones de ladera**

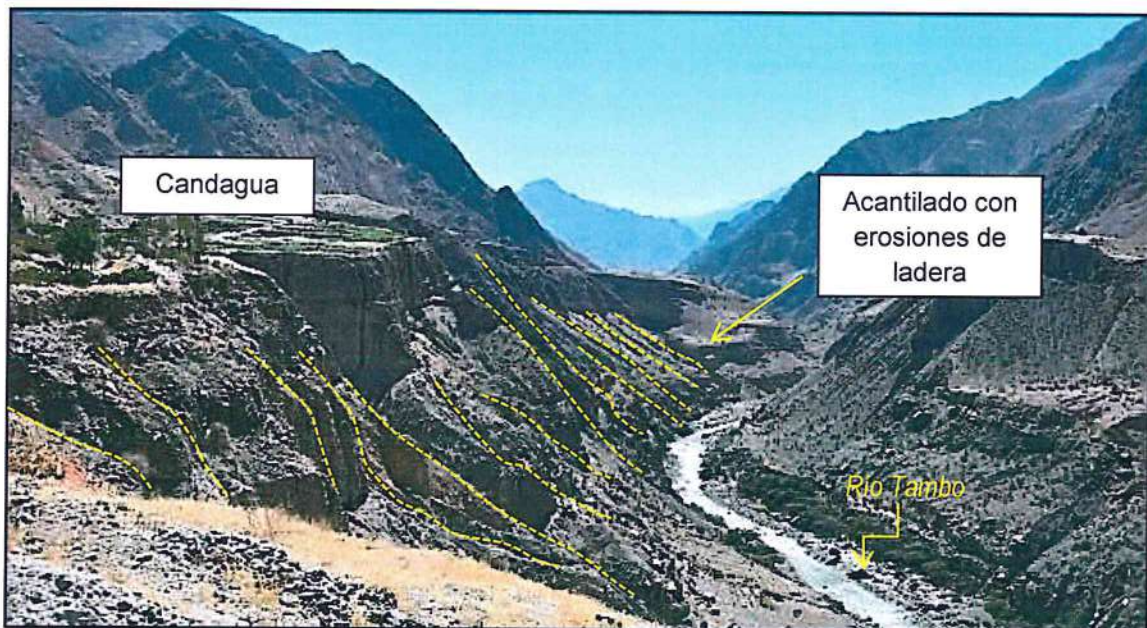
Los procesos de erosión en cárcava ocurren en toda el área de estudio (figura 26), especialmente en las laderas de las montañas se observan en forma de cárcavas y surcos.

El sector de Candagua se encuentra colindante al río Tambo, limitados por un acantilado que tiene una altura que varía entre 70 a 80 m, donde se observa procesos de erosión de laderas, con aperturas entre 4 m a 8 m y profundidades variables entre 5 m a 10 m (figura 27).

Los afloramientos de lavas e ignimbritas de la Formación Matalaque y los depósitos piroclásticos del Huaynaputina se erosionan fácilmente y desarrollan en incisiones en laderas con pendientes que varían entre 50° a 60° y los acantilados escarpados de 40° a 55°.



*Figura 26: Erosiones de ladera en el sector de Candagua.*



*Figura 27. Se observan procesos de erosiones de ladera a manera de surcos y cárcavas en el acantilado que limita al este con el pueblo de Candagua y al oeste con el río Tambo.*

### **Caídas de ceniza o lapilli de pómez**

El sector de Candagua se encuentra a 23 km del cráter del volcán Ubinas, por lo tanto, es una zona de bajo a moderado peligro por caída de cenizas; sin embargo, se localiza a 9.5 km al noreste del volcán Huaynaputina (figura 28), colocándolo en un escenario de alto peligro ante la reactivación volcánica.

Cabe mencionar que el volcán Huaynaputina en febrero de 1600 d.C., presentó una de las más violentas erupciones explosivas registradas en época histórica en Sudamérica, con un índice de Explosividad Volcánica 6 (VEI 6), en una escala que va de 0 a 8, ocasionando la muerte de aproximadamente 1500 personas y

sepultando 11 poblados localizados a menos de 20 km alrededor del volcán (Thouret et al., 1999, 2002).

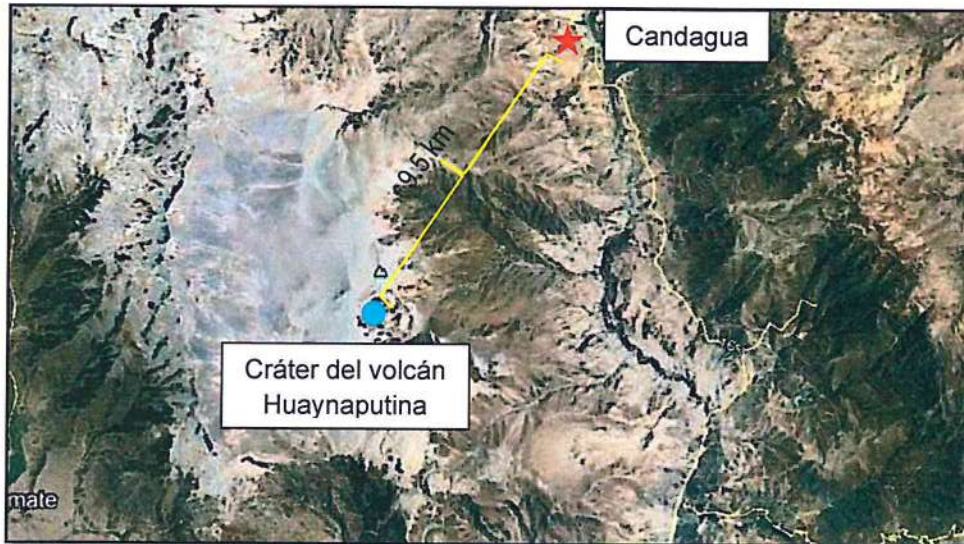


Figura 28. Muestra el pueblo de Candagua a 9.5 km al noreste del cráter del volcán Huaynaputina.

## 5. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN HUARINA Y CANDAGUA

Para la construcción de mapas en el cual representamos escenarios de flujos de detritos (huaicos/lahares) empleamos el método de simulación numérica.

### 5.1 Método de simulación numérica

Este método se basa en la aplicación de modelos numéricos asistidos por computadora. Los modelos del tipo simulación numérica, son una simplificación cuantitativa de la realidad, según Griswold (2004) estas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Modelos de base física
- Modelos de base estadística, llamados empíricos
- Modelos de base física y estadística

La clasificación de las simulaciones numéricas hechas por Griswold, (2004), están basadas en el comportamiento de flujos de escombros, lahares/huaicos y avalanchas de escombros.

### 5.2 Método de estudio de flujos de detritos (huaicos)

Para la modelización de los flujos de detritos que afectarían a las zonas de estudio, se utilizó el modelo de base física, empleando el código VolcFlow.

### Código VolcFlow.

Este programa fue creado en el Laboratorio Magmas et Volcanes, Universidad Blaise Pascal en Clermot Ferrand (Francia), por (Kelfun et al., 2005), diseñado especialmente para simular flujos gravitacionales.

El programa VolcFlow permite simular la trayectoria de flujos densos, flujos diluidos a partir de los flujos densos y la sedimentación de los flujos diluidos, basado en el promedio vertical de las ecuaciones de conservación de la masa (ecuación 1) y la cantidad de movimiento (ecuaciones 2 y 3). Los valores empleados, para correr los distintos flujos se describen más adelante.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = ghsin\alpha_x - \frac{1}{2}Kaccpass \frac{\partial}{\partial x}(gh^2cos\alpha) + \frac{T_x}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(hvu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2) = ghsin\alpha_y - \frac{1}{2}Kaccpass \frac{\partial}{\partial y}(gh^2cos\alpha) + \frac{T_y}{\rho} \quad (3)$$

Dónde:

**h:** Es el espesor del flujo

**u:** = (u,v) es la velocidad del flujo

**α:** Pendiente del terreno

**ρ:** Densidad aparente

**T:** Retardo de esfuerzo - "Savage y Hunter (1989)"

**Kaccpass:** Coeficiente de presión terrestre - " Inverson y Denlinger (2001)"

Requerimiento durante el procesamiento con el código VolcFlow	Programas que utiliza
(Angulo interno)-delta_interneo(°)	Matlap
(Angulo de lecho)- delta_basal (°)	Surfer
Cohesión (fuerza por unidad de área) (Kpa)	Photoshop
(Densidad) (kg/m³)	ArcGis
(viscosidad) (Pa.s)	
Volumen (m3)	
Tiempo de emisión (s)	
Tiempo de simulación (s)	

**Tabla 1:** Parámetros de los flujos y programas necesarios para el procesamiento con el código VolcFlow.

Para trabajar en el código VolcFlow, se empleó un modelo de elevación digital (DEM), con una resolución de 6 m.

### 5.3 Simulación de flujos de detritos (huaicos/lahares) en el sector Huarina.

La simulación de flujos de detritos en las quebradas en el sector de Huarina, se realizó según el método de simulación numérica mediante el código

VolcFlow, explicado anteriormente. Para ello, se determinó un escenario por flujos de detritos para las quebradas que cruzan este sector, en base a cálculos de volúmen, datos de precipitaciones, área de las zonas de generación de flujos de detritos en las microcuencas de cada quebrada, y el porcentaje de contenidos de agua y sólidos (figura 29).

La zona de generación de flujos de detritos en las microcuencas en la parte alta de Huarina, posee un área aproximada de 1600000 m<sup>2</sup>

En base al valor de precipitación máxima de 20 mm, tomados del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú), de la estación meteorológica Ubinas, ubicado en la ciudad del mismo nombre, se consideró un volumen de flujo de detritos de 50000 m<sup>3</sup> para la simulación numérica de Huarina.

Las zonas afectadas son: a) áreas colindantes a las quebradas que descienden del límite oeste de la zona urbana de Huarina, b) tramos de la carretera Ubinas - Matalaque que cruza la zona urbana de Huarina, y c) zonas agrícolas en la parte baja de Huarina (figura 29).

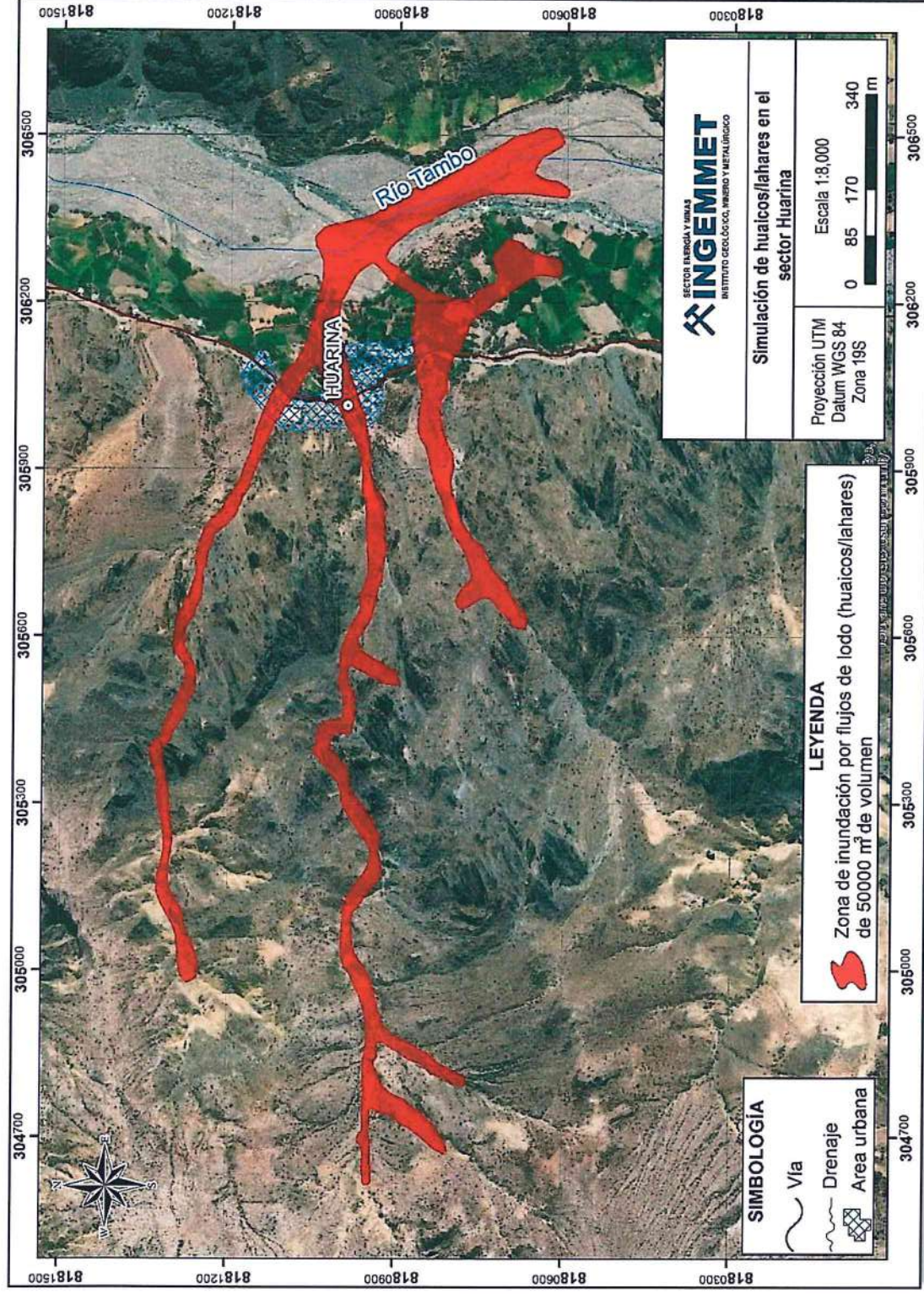


Figura 29: Mapa de simulación de flujos de detritos (huaicos/lahares) en el sector Huarina.



#### 5.4 Simulación de flujos de detritos (huaicos/lahares) en el sector Candagua

Se hicieron simulaciones por flujos de detritos para las tres quebradas que se ubican al límite oeste del sector de Candagua. Realizados en base a cálculos de volúmenes, datos de precipitaciones, área de las zonas de generación de flujos de detritos en las microcuencas de cada quebrada (figura 30), y el porcentaje de contenidos de agua y sólidos.

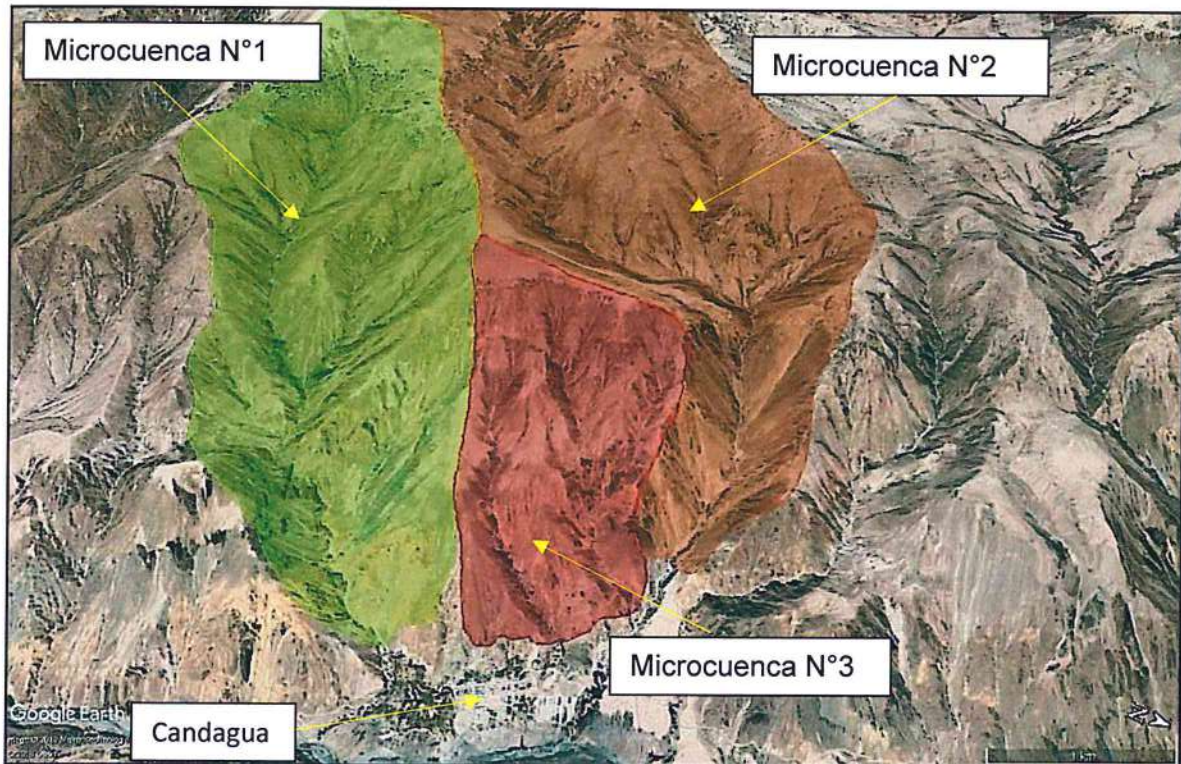


Figura 30. Microcuencas en el sector de Candagua

- a) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca número 1, tiene un área aproximada de 9200000 m<sup>2</sup>.
- b) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca número 2, tiene un área aproximada de 25300000 m<sup>2</sup>.
- c) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca número 3, tiene un área aproximada de 2300000 m<sup>2</sup>.

En base al valor de precipitación máxima de 20 mm, tomados del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú), de la estación meteorológica Ubinas, se consideró los siguientes volúmenes de flujos de detritos:

- a) Para la microcuenca 1 un volumen de 300000 m<sup>3</sup>
- b) Para la microcuenca 2 un volumen de 850000 m<sup>3</sup>
- c) Para la microcuenca 3 un volumen de 80000 m<sup>3</sup>

De acuerdo a los resultados de la simulación para flujo de detritos emplazado en el sector de Candagua, se muestran las principales zonas que podrían ser afectadas (figura 31, 32, 33).

Las zonas afectadas son: a) Los huaicos/lahares que descenderían desde las microcuencas N°1 y N°2, no afectarían al poblado de Candagua; pero sí a las vías de comunicación del sector norte y sur de Candagua, b) Los huaicos/lahares que descenderían desde la microcuenca N°3, afectarían al poblado de Candagua, cruzando parte de la zona urbana, y áreas agrícolas (figuras 31, 32 y 33). Finalmente cabe mencionar que los lares ocurridos el 10 de marzo del presente año en el sector de Candagua, descendieron por las quebradas de la microcuenca N°3.

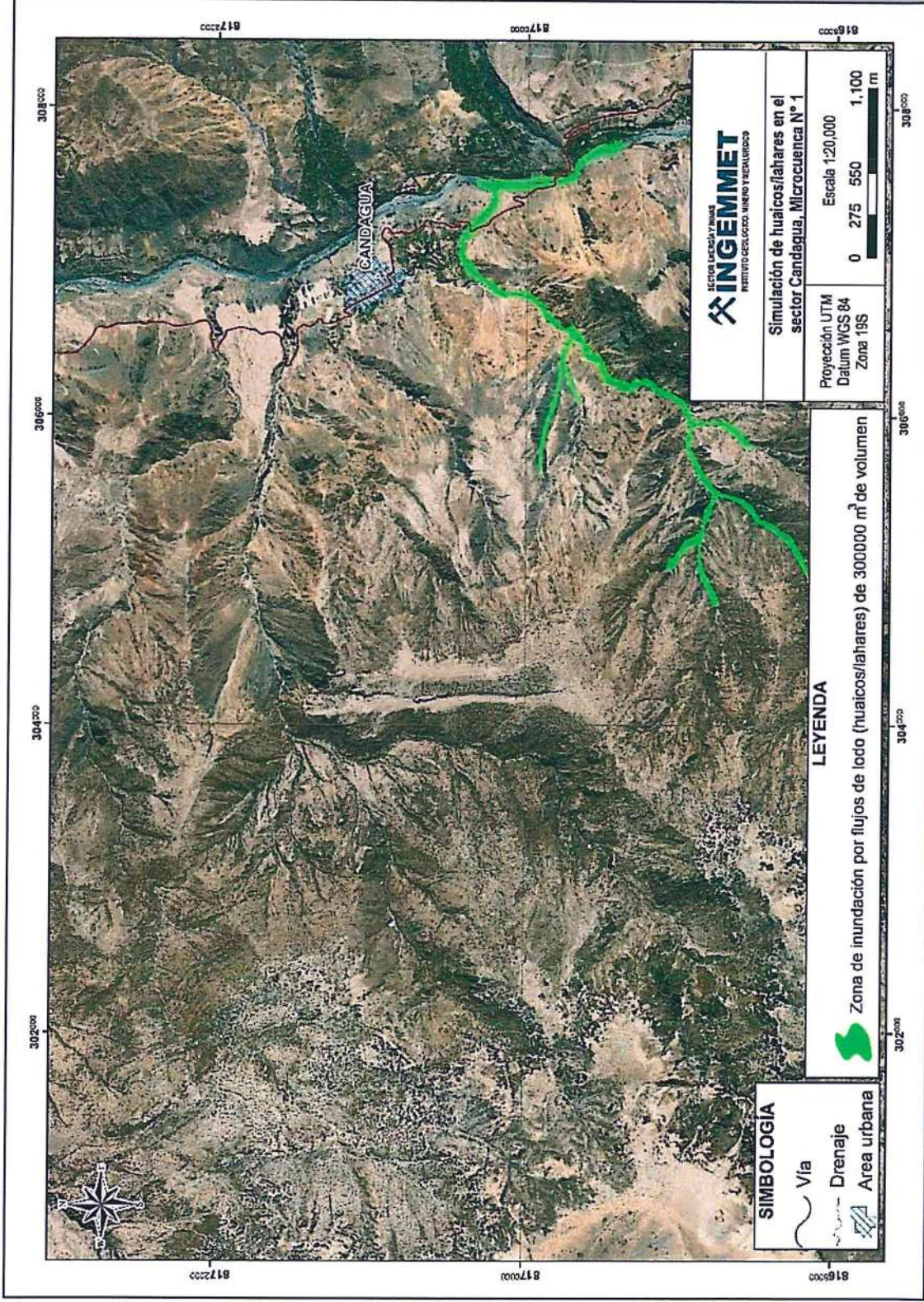


Figura 31. Mapa de simulación de flujos de detritos (huaicos/lahares) en Candagua, microcuenca N°1.

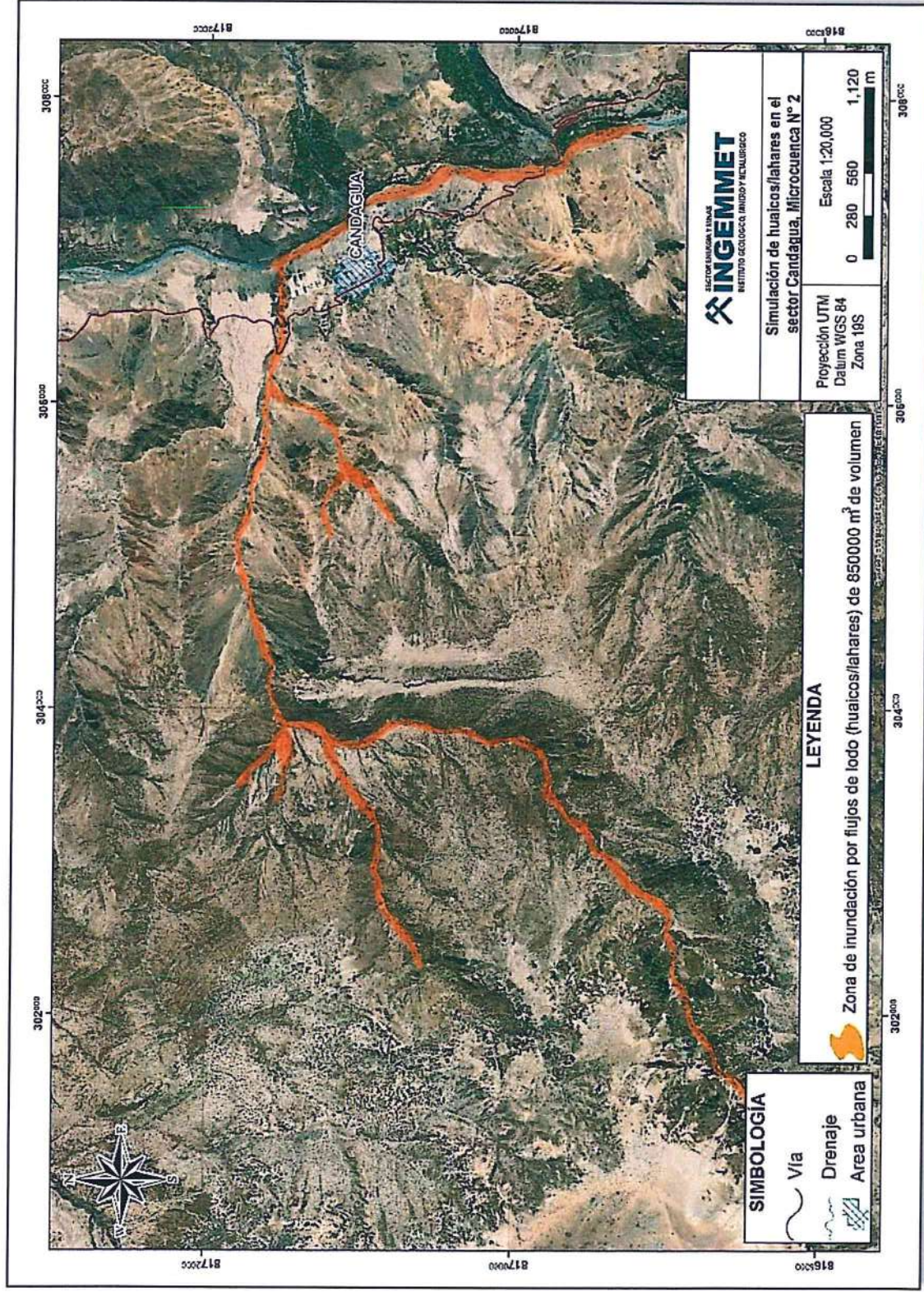


Figura 32. Mapa de simulación de flujos de detritos (huaicos/lahares) en Candagua, microcuenca N° 2.

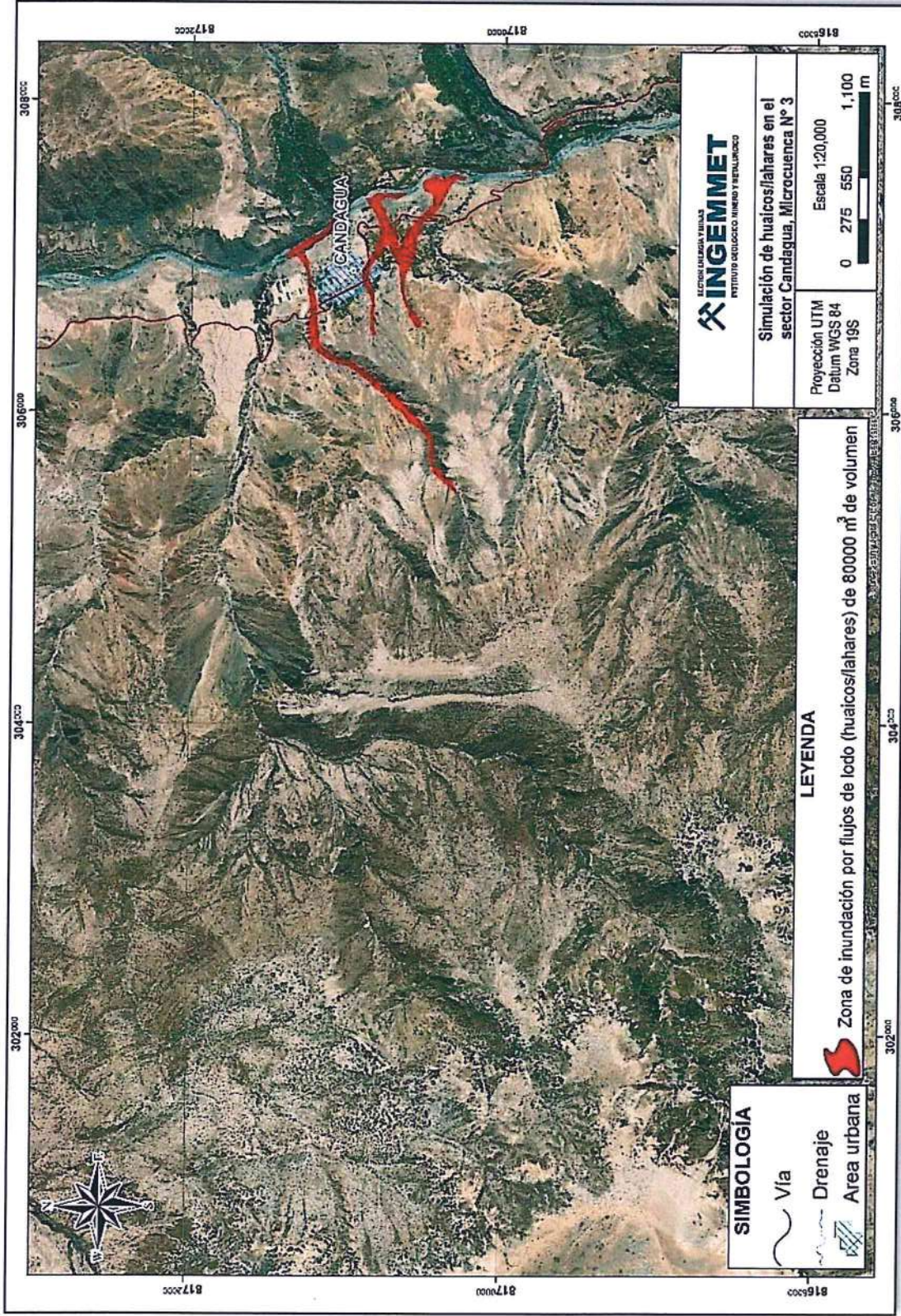


Figura 33. Mapa de simulación de flujos de detritos (huaiicos/lahares) en Candagua, microcuenca N°3.

## 6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN

A continuación, se presentan algunas propuestas generales para la atención de problemas geodinámicos que afectan la zona de Candagua, las mismas que están encaminadas a prevenir los procesos y mitigar los daños ante la ocurrencia de fenómenos naturales, tales como flujo de detritos y cárcavas que afectan el área.

### 6.1 Para los flujos de detritos (huaicos)

Se puede considerar las siguientes medidas:

- Para las quebradas colindantes al pueblo de Candagua se debe diseñar canales hidráulicos, con la finalidad de darle un curso a la quebrada hacia el río Tambo, para evitar daños de presentarse nuevos eventos por lluvias excepcionales.
- Para la canalización se puede emplear espigones y diques transversales, aprovechando el abundante material rocoso y detrítico disponible en el área.
- Desatar los bloques inestables de la ladera. Se podría considerar fragmentar los bloques inestables que tengan dimensiones menores a 1,50 m, en base al sistema de dilatación y contracción. Para fines de prevención, al momento de desatar los bloques sueltos, es muy probable que estos se desplacen cuesta abajo, por lo que es necesario poner en alerta a los pobladores de las viviendas ubicadas cerca de las laderas.

### 6.2 Para cárcavas

Se puede considerar las siguientes medidas:

#### Cabeceras de las cárcavas

El control de la cárcava debe comenzar desde su cabecera, que es el lugar donde empieza a formarse. Los bordes superiores de esta cárcava deben rodearse plantando vegetación (herbácea y/o leñosa según los casos) para frenar la velocidad del agua y hacer que sus raíces retengan mejor el terreno (figuras 34). La anchura mínima de esa zona de vegetación dependerá del tamaño de la cárcava. Si en el nacimiento es pequeña (profundidad menor de 1 m) posiblemente baste con sembrar una barrera de vegetación herbácea de una anchura no menor de 5 m si está compuesta por gramíneas y 10 m si lo está preferentemente de leguminosas. Si la cárcava es mayor de 1 m de profundidad en su cabecera lo recomendable es usar un seto de vegetación combinando especies leñosas y herbáceas (Costa, 2003).



Figura 34. Esquema de disposición de vegetación en cabecera de la cárcava. Gray y Leiser (1989).

### Diseño de diques de retención

Si la cárcava es de pequeño tamaño y de paredes poco escarpadas, se puede controlar con bandas de vegetación permanente sembradas de manera perpendicular a la pendiente (figura 35). Durante el periodo de implantación de esta vegetación, es posible instalar balas de paja a modo obstáculo para retener la escorrentía (figura 36). Nunca use diques temporales de paja para áreas vertientes de más de 0.8 ha.

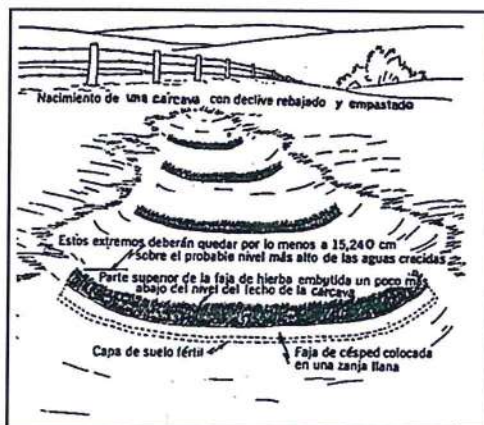


Figura 35. Control de pequeña cárcava mediante bandas de cubiertas vegetales. Secretaria de Estado de los EEUU (1950).

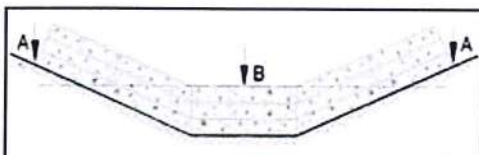


Figura 36. Balas de paja a modo de dique provisional. El punto B siempre a menor altura que A para que el dique sea efectivo.

Si la cárcava es de mayor tamaño se deben construir diques de retención que se pueden hacer de diferentes materiales, que deben escogerse en función de su disponibilidad y coste. La inmensa mayoría de los diques de retención se suelen construir de componentes porosos, ya que al permitir el paso de parte del agua reducen las tensiones sobre la estructura y la abaratan. Además, al ser flexibles tienen cierto margen para acomodarse mejor al terreno a medida que se consolida. Por ello, los materiales que posiblemente se empleen serán rocas y piedras, estacas y ramas o estacas y tela metálica.

Los diques de piedra y roca deben hacerse con tamaños que no sean demasiado pequeños para evitar que el agua las arrastre. En general no debe haber trozos de material menores de 10 cm de diámetro, y el porcentaje de rocas menores de 14 cm de diámetro no debe superar el 25% del total del peso de rocas empleadas. La figura 37, muestra un esquema para la construcción de un dique de rocas y piedras.

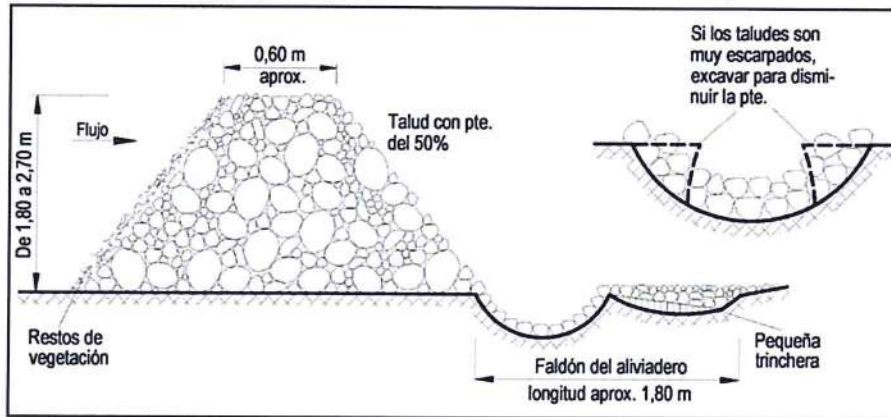


Figura 37. Esquema de un dique de rocas. Elaboración propia a partir de Gray y Leiser (1989).

Los diques hechos de estacas y ramas son una alternativa económica en situaciones en las que haya disponibilidad de estos materiales. Para diques de altura menor de 1.5 m y de anchura menor de 4.5 m, una fila de estacas y ramas puede ser suficiente para montar un dique. Si el tamaño del dique es superior a 1.5 m y 4.5 m de anchura, el dique de estacas y ramas debería hacerse con una doble fila de estacas.

Para cárcavas de poca profundidad y anchura inferior a 4 m también se pueden construir diques de retención efectivos con alambre y ramas. Para ello, debe disponer las ramas de acuerdo a la figura 38, usando alambre galvanizado de, al menos, el número 9 para mantenerlas en su sitio con la ayuda de estacas clavadas en el terreno como mínimo a 0.9 m de profundidad.

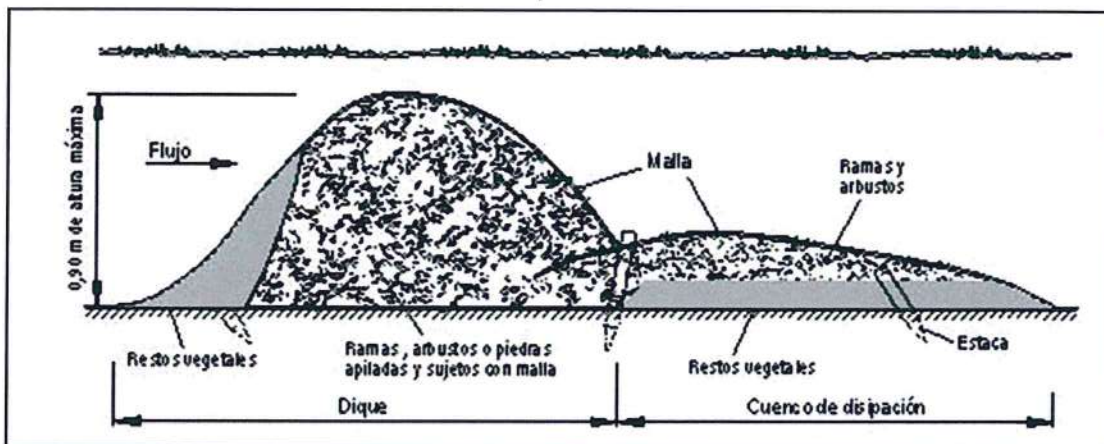


Figura 38. Esquema de dique de ramas y alambre. Elaboración propia a partir de Gray y Leiser (1989).



Para cárcavas de poca profundidad (menos de 1 m) otra opción es el dique de láminas metálicas o de madera. Para ello debe disponer las planchas de acuerdo a la figura 39. Es indispensable disponer en la zona de caída de agua una zona de amortiguación para evitar que se socave el dique. Esta zona de amortiguación la puede hacer de rocas o ramas siguiendo el ejemplo de las figuras anteriores.

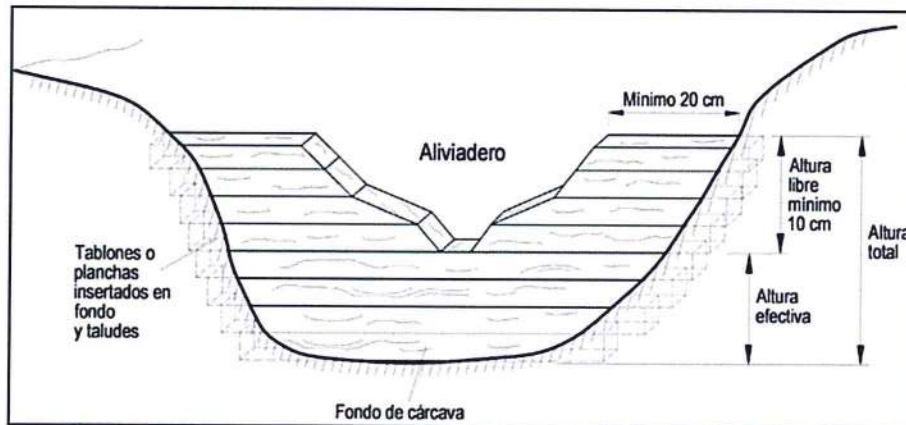


Figura 39. Esquema de dique de láminas metálicas o de madera. Elaboración propia a partir de Gray y Leiser (1989).

### Mantenimiento

El mantenimiento de los diques de retención y de la cárcava restaurada es tan importante como su instalación y se puede resumir en una serie de puntos básicos.

1. Inspeccionar siempre todos los diques después de cada tormenta importante. Si se está en una temporada de sequía debe de hacerse periódicamente (cada 3-6 meses).
2. Reparar inmediatamente los daños observados, procurando mantener el dique de acuerdo a su diseño original.
3. Retirar los restos de avenidas acumulados (palos, ramas, etc.) y sedimentos que obstruyan el aliviadero y puedan estar reduciendo su capacidad de desagüe.
4. Una vez que la cárcava esté estabilizada, procurar mantener la superficie cubierta con vegetación para prevenir su reactivación.
5. Si observa que empiezan a formarse nuevos regueros o pequeñas cárcavas en una ya restaurada, comenzar a controlarla de inmediato siguiendo los criterios detallados en esta sección. Si es necesario, recrecer ligeramente el dique de retención.

## CONCLUSIONES

1. Los peligros geológicos registrados en el pueblo de Huarina son: lahares y/o huaicos, caída de rocas y derrumbes, erosión de laderas (cárcavas), y caída de cenizas.
2. El fenómeno más recurrente y de mayor afectación en el sector de Huarina son los lahares y/o huaicos, como los acontecidos en el 2016 que causaron represamiento del río Tambo y que al desembalsarse ocasionó la destrucción de áreas de cultivo en ambas márgenes del río, así como la destrucción de puentes peatonales, canales, bocatomas de agua y pérdida de ganado en la localidad de Huarina.
3. Los lahares generados entre el 2017 y 2019 continuaron afectando a Huarina. Sin embargo, los lahares de mayor afectación se registraron en febrero del 2019. A consecuencia de estos lahares, fueron destruidos más de 10 hectáreas de terrenos de cultivos, canales y bocatomas de agua, así como también pérdida de ganado y más de 70 familias afectadas.
4. El sector de Huarina es muy susceptible a movimientos en masa, principalmente por lahares que se originan en el valle del río Ubinas, por lo tanto, se considera como una **zona crítica de peligro inminente ante la ocurrencia de lluvias intensas.**
5. Los peligros geológicos que presenta el sector de Candagua son: lahares, erosión de laderas y caída de cenizas. El evento más reciente de lahares se registró el 10 de marzo del 2019. Los lahares descendieron por quebradas de fuerte pendiente ubicadas hacia el límite oeste del pueblo de Candagua.
6. De presentarse lluvias intensas en el sector de Candagua, se podría generar nuevamente lahares en las quebradas que colindan con el límite oeste del pueblo, poniendo en peligro a la población e infraestructura. Para prevenir y mitigar los daños ante la ocurrencia de lahares en el sector de Candagua se deben considerar las recomendaciones del ítem 7.1.
7. En base a las simulaciones numéricas, los flujos de detritos (huaicos/lahares) generados durante lluvias intensas, descenderían y cruzarían los centros poblados de Huarina y Candagua, así mismo, Huarina sería el más afectado, véase los ítems 6.3 y 6.4.

## RECOMENDACIONES

1. Recomendamos a las autoridades e instituciones competentes, se evalúe la necesidad de implementar el reasentamiento poblacional del centro poblado de Huarina.
2. Reforestar las áreas colindantes a la zona urbana y las laderas cercanas a las quebradas en el sector de Candagua.
3. En las quebradas y en las incisiones generadas por las erosiones de ladera en el sector de Candagua, colocar muros disipadores de flujos, con la finalidad de atenuar la fuerza del huaico.
4. La municipalidad de Matalaque debe trabajar en la normativa que prohíba la expansión urbana hacia las laderas de los cerros circundantes y el cauce de las quebradas. En las laderas de los cerros, debería colocarse letreros de advertencia.
5. En épocas de lluvia, se recomienda a los pobladores alejarse de las quebradas que podrían ser inundadas, y a las autoridades estar alertas ante cualquier emergencia.



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

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa J C (coord.). 2003. Manual para la Diversificación del Paisaje Agrario. 2ª edición. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla. 143 pp.
- Griswold, J.P., 2004. Mobility Statistics and Hazard Mapping for non-volcánic flows and rock avalanches. Thesis for the Master of Science in Geology, Portland State University.
- Informe de variables meteorológicas precipitación total mensual y diaria ciudad de Arequipa 2009– 2018, informe SENAMHI
- Kelfoun, K., and T. H. Druitt (2005), Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche, Chile, *J. Geophys. Res.*, 110, B12202, doi: 10.1029/2005JB003758.
- Luis Q. & Alberto Z. (2000). Memoria descriptiva de la geología del cuadrángulo de Omate. Carta Geológica Nacional (Hoja 34-u). INGEMMET.
- Marocco, R. & Del Pino, M. (1966). Geología del cuadrángulo de Ichuña. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 14 (Hoja 33-u). INGEMMET. Lima.
- 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.
- Thouret, J-C., Juvigné, E., Gourgaud, A., (2002). Reconstruction of the AD 1600 Huaynaputina eruption based on the correlation of geologic evidence with early Spanish chronicles. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 115(3):529-570.
- Wilson, J. y Garcia, W. (1962). - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. CCGN. N°4.