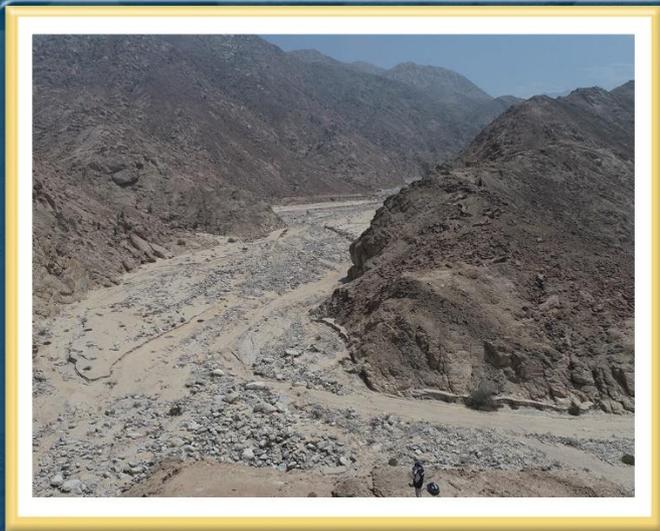


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7193**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA HUAREQUEQUE, SECTOR HUAYAN

Departamento Lima  
Provincia Huaral  
Distrito Huaral



NOVIEMBRE  
2021

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA  
QUEBRADA HUAREQUEQUE, SECTOR HUAYAN.**

*(Distrito de Huaral, provincia Huaral y departamento Lima)*

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

*Equipo de investigación:*

*Ángel Gonzalo Luna Guillén*

**Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Huarequeque, sector Huayan, distrito de Huaral, provincia Huaral y departamento de Lima. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7193, 49 p.

**ÍNDICE**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1. Objetivos del estudio .....	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores .....	6
1.3. Aspectos generales .....	8
1.3.1. Ubicación .....	8
1.3.2. Accesibilidad.....	9
1.3.3. Clima .....	10
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>11</b>
2.1. Unidades litoestratigráficas .....	11
2.1.1. Grupo Casma (ki-c).....	11
2.1.2. Batolito de la Costa .....	11
2.1.3. Depósito proluvial (Qh-pl).....	12
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....</b>	<b>16</b>
3.1. Pendientes del terreno.....	17
3.2. Unidades geomorfológicas .....	19
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional .....	19
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional .....	20
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS .....</b>	<b>21</b>
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa en la quebrada Huarequeque .....	21
4.2. Simulaciones numéricas .....	28
4.3. Factores condicionantes.....	30
4.4. Factores desencadenantes .....	30
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO 1: MAPAS.....</b>	<b>36</b>
<b>8. ANEXO 2: GLOSARIO .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN .....</b>	<b>43</b>
1. Medidas alternativas para la mitigación: .....	44
2. Otras obras de mitigación para huaicos.....	48

## RESUMEN

El presente informe técnico, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa realizado en la quebrada Huarequeque del sector Huayan, ubicado en la margen derecha del río Chancay, perteneciente a la jurisdicción del distrito y provincia de Huaral, departamento de Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada, corresponden a rocas de origen ígneo del Batolito de la Costa, conformado por secuencias de tonalitas, granitos, granodioritas y monzogranitos, que se encuentran muy fracturadas y altamente meteorizadas, esto genera el aporte de material detrítico al cauce de la quebrada; donde se observan depósitos proluviales compuestos por gravas, cantos y bloques con diámetros que varían de 0.5 a 6 m, inmersos en matriz limo-arenosa suelta, altamente erosionable y susceptible a movimientos en masa tipo flujos.

Las geofformas identificadas corresponden a las unidades de montañas modeladas en rocas ígnea, con laderas de pendientes muy escarpadas ( $> 45^\circ$ ), disectadas por torrenteras secundarias a la quebrada principal, la cual posee en su cabecera una pendiente promedio de  $20^\circ$  y en el resto de su trayecto de  $3^\circ$ , finalizando en un abanico proluvial de pendiente promedio  $1^\circ$ , donde se ubican los campos de cultivo y parte de las viviendas del centro poblado Huayan.

En campo se evidenció la recurrencia de flujos de detritos (huaicos) provenientes de la quebrada Huarequeque, desencadenados por la ocurrencia de lluvias extraordinarias: caso del fenómeno de “El Niño” (1982, 1983, 1997, 1998 y 2017).

Entre febrero y abril del 2017 se generó un evento (huaico) que afectó, aproximadamente 87 ha agrícolas, viviendas rurales asentadas en el abanico proluvial y provocó el bloqueo temporal de ~180 m de la carretera Huaral-Huayan.

De acuerdo a las simulaciones numéricas realizadas para un tiempo de retorno de 50 años, se determinó la probabilidad de activación de la quebrada con un caudal pico de  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ , que generaría un flujo de detritos con velocidades promedio de 2 m/s y máximos de 8 m/s, así como tirantes promedio de 1 m y máximos de 3.5 m. El volumen total del flujo (mezcla agua/sedimento) se estima en  $738\,000 \text{ m}^3$  y afectaría puntualmente ~85 ha agrícolas, viviendas rurales allí ubicadas y 200 m de la carretera de acceso a Huayan.

Por lo antes expuesto, el sector Huayan se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos) que descienden por la quebrada Huarequeque y pueden ser activados en temporada de lluvias intensas, excepcionales y/o prolongadas.

Se recomienda reubicar las viviendas asentadas en el borde del cauce de la quebrada Huarequeque (sector Huayan); implementar sistemas de alerta temprana (SAT), medidas estructurales para el control de flujo de detritos (huaicos), como pueden ser

la construcción de muros de roca y diques con la finalidad de retener el material detrítico y reducir la velocidad de flujo, así como realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR).

Todas las medidas estructurales deben ser realizadas por especialistas, teniendo en cuenta cálculos hidrológicos y geotécnicos, que determinen, las características ingenieriles de cada una.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo el Oficio N° 0132-2021/MPH/A de la Municipalidad provincial de Huaral; distrito y provincia de Huaral y departamento de Lima.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó al geólogo Ángel Gonzalo Luna, para realizar la evaluación de peligros geológicos, realizando los trabajos de campo los días 12 y 13 de octubre de 2021.

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 de control GPS, fotografías terrestres, levantamiento fotogramétrico con dron a fin de observar mejor el alcance del evento), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe, se pone en consideración de la Municipalidad provincial de Huaral y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

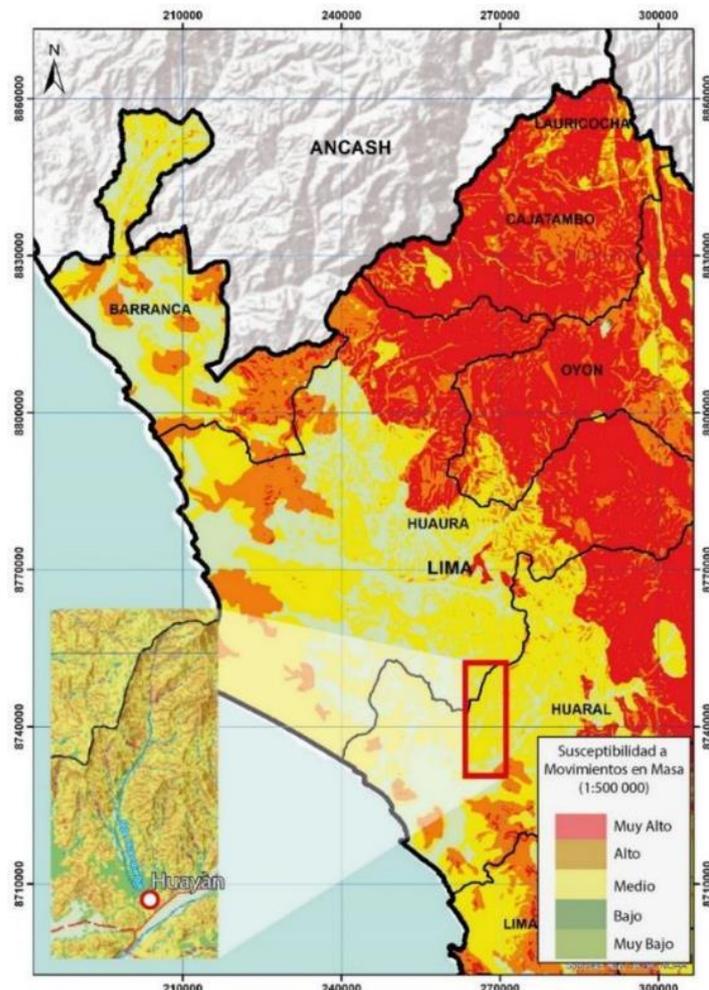
- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por flujo de detritos que se presentan en la quebrada Huarequeque; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población, medios de vida y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa (flujos).
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos por movimientos en masa identificados en la etapa de campo.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en los sectores de evaluación se tienen:

- A) Boletín N°76, Serie C: Geodinámica e ingeniería Geológica, “Peligro Geológico en la Región Lima”; elaborado por Luque et al. (2020); donde incluye el inventario de los peligros geológicos por movimientos en masa, las zonas críticas y caracteriza la susceptibilidad a los movimientos en masa en la región Lima; este trabajo, categoriza al sector de la quebrada Huarequeque de susceptibilidad “Baja a Alta” a movimientos en masa, con predominancia a la ocurrencia flujos de detritos (figura 1).

- B) Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables de la quebrada Huerequeque, centro poblado Huayan, departamento de Lima, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (2016); a escala 1:12 000, muestra el polígono limítrofe de la zona inundable de la quebrada, así mismo señala que el número de viviendas del sector Huayan en riesgo ascienden a 20, donde el número de habitantes directamente en riesgo son 100 y los indirectamente afectados serían 133.
- C) Estudio geodinámico de la cuenca del río Chancay - Huaral (1994); elaborado por Dávila & Celi; este trabajo resume las características geológicas e hidrológicas en la cuenca del río Chancay, así como sus principales ramificaciones (caso de la quebrada Huarequeque), de ese trabajo se rescata el registro de precipitaciones pluviales (media mensual) de la estación meteorológica Huayan, que no superó los 5 mm entre el periodo de 1963 y 1977. De igual manera señala como zona crítica los sectores de Huayan (quebrada Huarequeque) y Lumbre, susceptibles a procesos de flujos de detritos e inundaciones.
- D) Boletín N°26, Serie A: Carta Geológica Nacional, “Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta” elaborado por Cobbing (1973); en este boletín se describen las unidades litoestratigráficas del cuadrángulo de Huaral (23 i); de ese trabajo se rescata la descripción geológica y geomorfológica de los sectores de evaluación, donde se indica la predominancia del Batolito de la Costa.



**Figura 1.** Susceptibilidad a movimientos en masa de la región Lima (escala base 1:500 000).  
 Fuente: Luque et al., 2020.



1.3.2. Accesibilidad

El acceso al sector de evaluación se realiza desde la ciudad de Lima, desde este punto se puede acceder mediante vías asfaltadas, trochas carrozables y de manera peatonal hacia la quebrada como se presenta en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Rutas y accesos a la zona de evaluación

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Lima-Huaral	Carretera asfaltada	76	2 h
Huaral-Huayan	Carretera asfaltada	14	30 minutos
Huayan-quebrada - Huarequeque	Trocha carrozable	5 km	20 minutos



**Figura 3.** Accesibilidad al sector Huayan (quebrada Huarequeque)

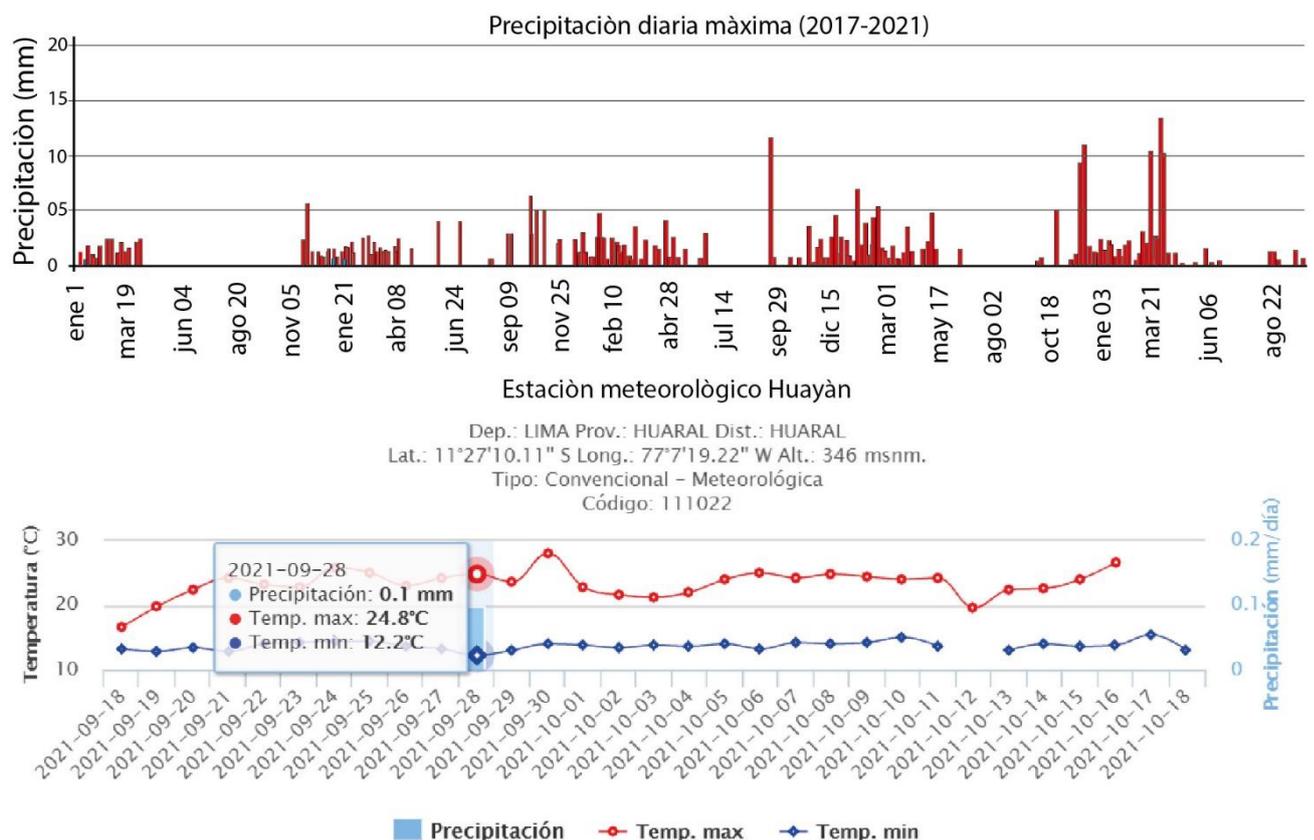
### 1.3.3. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwite, el sector de Huayan y en general la quebrada Huarequeque, se encuentra dentro una zona desértica semicálida (clima tipo árido) y húmedo, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010a).

En cuanto a la cantidad de lluvia y temperatura local, en la quebrada Huarequeque, y de acuerdo a la fuente de datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos rasters y de satélite), la precipitación máxima registrada en el último periodo 2020-2021, fue de 0.1 mm en el mes de setiembre del 2021. Así mismo, las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de diciembre a marzo.

Las temperaturas anuales registradas entre el 2020 y 2021, oscilaron entre máximos de 24.9°C en verano y mínimos de 12.2 °C en invierno (figura 4).

Haciendo la consulta histórica del registro de aWhere, las precipitaciones alcanzaron máximos de 13 mm, entre los años de 2017 y 2021.



**Figura 4.** Precipitaciones y temperaturas diarias en mm, distribuidas a lo largo del último periodo 2019-2021 en los sectores de estudio. Fuente: <https://eos.com/crop-monitoring/weather-history/field/7250174>.

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico, se desarrolló en base al mapa del cuadrángulo de Huaral, hoja 23i elaborado a escala 1:100 000 por Cobbing et al. (1971), y se complementó con trabajos de fotointerpretación de imágenes satelitales, tomas aéreas con dron y observaciones en campo.

### 2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran a lo largo de la quebrada Huarequeque corresponden a rocas del Batolito de la Costa, conformado por diferentes intrusivos, cuya composición varía de gabro a granito potásico, en general se observan muy fracturadas y altamente meteorizadas (figuras 7 y 8).

#### 2.1.1. Grupo Casma (ki-c)

Se encuentra compuesta por una serie de volcánicos bien estratificados, siendo en su mayor parte derrames delgados de andesita masiva, de grano fino y con más o menos 3 – 5 m de espesor. Este tipo de litología se observa a lo largo de la carretera que une los ríos Huaura y Supe.

Localmente esta Formación se aprecia en las márgenes del río Chancay, a la altura de los poblados Huayan y Hornillos.

#### 2.1.2. Batolito de la Costa

El Batolito Costero, es un complejo de diferentes rocas intrusivas, cuya composición varía de gabro a granito potásico, sus afloramientos constituyen una faja paralela a la costa y a una distancia de ella que oscila entre 5 y 20 km.

Las rocas intrusivas del Batolito de la Costa se han dividido en Súper unidades, teniendo en cuenta su distribución espacial, rango de edad y mineralogía de las rocas, de las diferentes súper unidades existentes, en la quebrada Huarequeque se pueden diferenciar:

- Súper Unidad Santa Rosa: esta unidad está caracterizada por la intercalación de rocas de tipo granito, monzogranito, tonalita, granodiorita y diorita, conforman gran parte del Batolito Costanero y se caracteriza por la abundancia de tonalitas que por la dureza del cuarzo, presentan una topografía aguda con estructuras tabulares debido al diaclasamiento (figura 6), morfológicamente constituyen montañas y laderas de moderada pendiente que se asocian a flujo de detritos, caída de rocas, erosión de laderas y movimientos complejos.
- Súper Unidad Humaya: está constituido por afloramientos de topografías moderadas a abruptas, de monzonitas y Monzogranito, se asocian a peligros geológicos como derrumbes, caída de rocas, erosión de laderas y erosión fluvial.
- Súper Unidad Acari: son afloramientos de dioritas, de grano grueso con abundantes xenólitos y fenocristales de feldespatos potásico de hasta 2 cm de longitud, con topografía moderada, se asocia a flujo de detritos, erosión de laderas y también algunos deslizamientos o avalanchas de rocas antiguas (figura 5).

En general las rocas intrusivas del Batolito de la Costa, se observan a lo largo de la quebrada Huarequeque, estas se encuentran muy fracturadas a fragmentadas y altamente meteorizadas, produce suelos de carácter coluvial con abundante matriz arenosa, que se incorpora rápidamente al cauce principal de la quebrada.



**Figura 5.** Vista de xenolitos (10 cm) de rocas básicas, en bloques de tonalitas y granitos del Batolito de la Costa.

### 2.1.3. Depósito proluvial (Qh-pl)

Son depósitos inconsolidados que han sido acumulados por lo combinación de procesos aluviales y fluviales (durante la activación de quebradas), se ubican en los cauces de quebradas formando terrazas de diferentes niveles, Así como abanicos de grandes dimensiones en sus desembocaduras (figuras 10 y 11).

Estos depósitos están constituidos por capas de gravas gruesas y finas mal clasificadas, con elementos redondeados a subredondeados, envueltos en una matriz de arenas, limos y combinaciones areno-arcillosas (figura 9) en proporciones variables.

A lo largo de la quebrada, los clastos son redondeados a subredondeados, también se pueden observar clastos y bloques angulosos producto de procesos erosivos en las rocas ígneas que han generado depósitos coluviales, adosados entre la ladera de las montañas y márgenes de la quebrada. Susceptibles a flujos de detritos.



**Figura 6.** Rocas intrusivas del Batolito de la Costa fracturadas, con dirección preferente norte-sur y buzamientos de hasta 75°, sirven como planos de debilidad para intrusiones de sills y diques, así como procesos de erosión.



**Figura 7.** Afloramiento con procesos erosivos eólicos, de tipo exfoliación esferoidal, relacionados a nódulos y enclaves magmáticos, de menor resistencia.



**Figura 8.** Muestra el alto grado de meteorización, de las rocas ígneas del Batolito de la Costa, que genera suelos residuales.



**Figura 9.** Depósitos proluviales, conformado por gravas heterométricas de hasta 10 cm, envueltos en una matriz arcillosa.



**Figura 10.** Depósitos proluviales, conformado por gravas y bloques de hasta 3 m de longitud, envueltos en una matriz limo-arenosa.



**Figura 11.** Depósitos proluviales, conformado por gravas y bloques de hasta 5 m de longitud, envueltos en una matriz limo-arenosa, formando terrazas de hasta 2 m de altura.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Por sus características hidrogeomorfológicas, la quebrada Huarequeque es considerada una subcuenca exorreica que drena sus aguas de escorrentía hacia el río Chancay, cuya red hidrográfica se encuentra conectada al océano Pacífico.

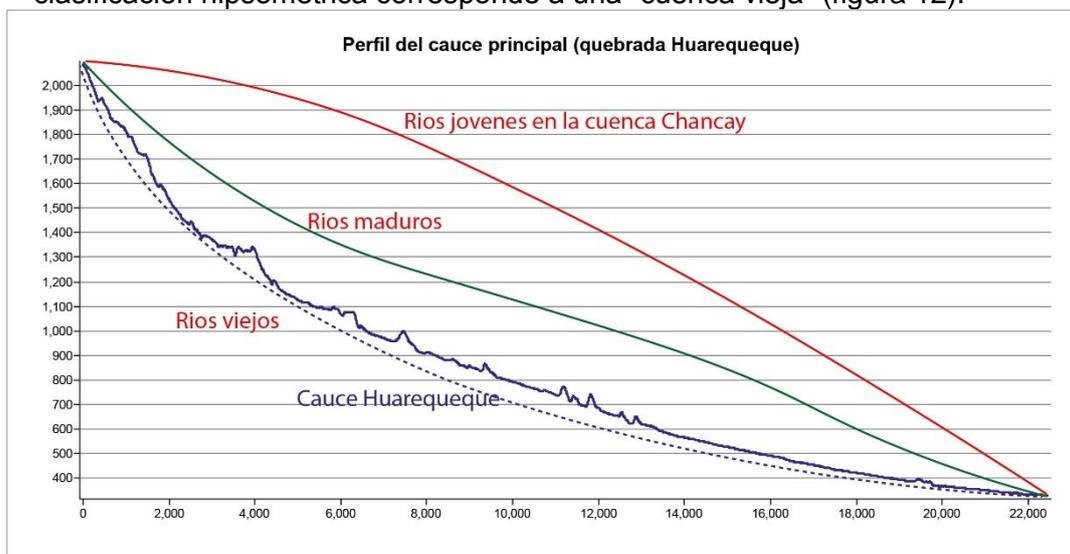
En cuanto a algunos parámetros geomorfológicos de la cuenca, se puede mencionar que:

- Posee un área de 102.7 km<sup>2</sup>, por su área es considerada entre una microcuenca, (10 – 100 km<sup>2</sup>) y una subcuenca (100 – 700 km<sup>2</sup>).
- Su perímetro es de 55 km, circundado por montañas modeladas en roca intrusiva.
- La longitud de su cauce principal, alcanza los 23 km, hasta su desembocadura en el río Chancay (figura 13).
- El ancho de la cuenca es de 6 km.
- El desnivel altitudinal de la cuenca es de 1985 m, siendo la cota culminante de 2318 m s.n.m. y la cota inferior de 333 m s.n.m (sector Huayan).
- Según los parámetros de compacidad de la cuenca que relacionan los valores de perímetro y área con la fórmula de Gravelius, Huarequeque pertenece a una unidad hidrográfica “Oval Oblonda a rectangular Oblonda” (cuadro 3).

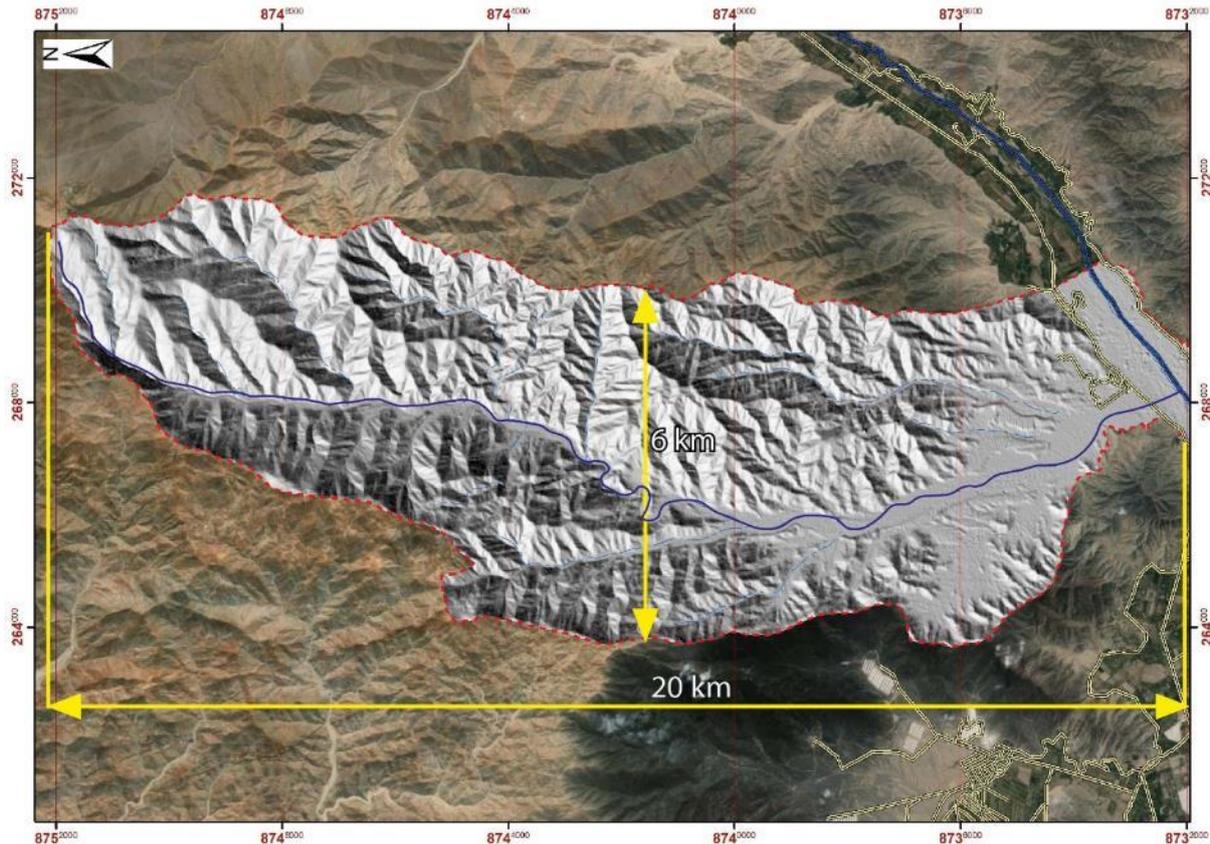
**Cuadro 3.** Clasificación de compacidad de cuencas (Índice de Gravelius)

<b>Coefficiente de compacidad</b>	<b>Clasificación</b>
1 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval oblonga
1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Rectangular

- La pendiente media del cauce, representada en porcentajes es de 5.2 %, según la clasificación hipsométrica corresponde a una “cuenca vieja” (figura 12).



**Figura 12.** Representación hipsométrica del cauce de la quebrada Huarequeque, muestra que la cuenca pertenece a una cuenca vieja.



**Figura 13.** Medidas representativas de la cuenca.

- El tiempo de concentración de la cuenca según la fórmula matemática de Kirpich, es de 2.28 h, este valor es considerado como el tiempo comprendido entre el final de la precipitación efectiva y el final de la escorrentía superficial directa.

### 3.1. Pendientes del terreno

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa (formadores de las geoformas de carácter depositacional o agradacional), ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002); por lo cual es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa (cuadro 4).

A lo largo de la quebrada se pueden observar la predominancia de dos rangos de pendiente. En la parte alta, las pendientes son moderadas ( $5^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ), y en la parte media a baja se observan pendientes moderadas, intercaladas con pendientes suaves ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ), ver figura 14.

El cauce principal de la quebrada en general presenta pendientes moderadas ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) y porcentualmente posee una pendiente promedio de 5.2 %, equivalente de  $2.9^{\circ}$ , que corresponde a pendientes de terreno inclinado suave.

La quebrada está circunscrita por montañas modeladas en rocas ígneas cuyas laderas presentan pendientes muy fuertes a escarpadas ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ). En la desembocadura del río a la altura de los poblados Huayan y Hornillos podemos apreciar pendientes suaves a llanas ( $< 1^{\circ}$ ).

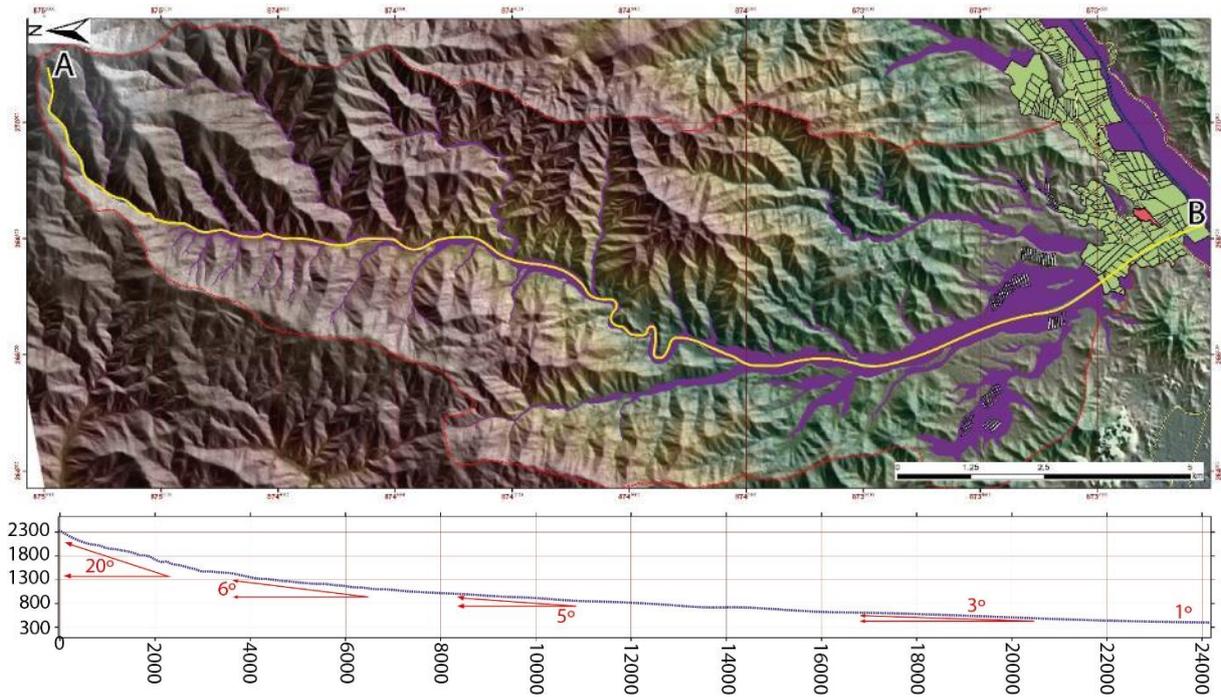


Figura 14. Medidas representativas de la cuenca,

Cuadro 4. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
< 1°	Llano	Se presentan en pequeños tramos, cerca del poblado de Huayan corresponden a zonas de abanico aluvial y proluvial, son lugares donde se practica la agricultura y se han asentado viviendas del centro poblado de Huayan (parte baja).
1° a 5°	Inclinación suave	Terrenos planos con ligera inclinación, se observan en el cauce y zona inundable de la quebrada Hwarequeque (figura 14), está pendiente se presenta entre los 800 y 1300 m s.n.m, en el perfil longitudinal del cauce principal (figura 14) podemos ver su predominancia entre los 8000 m y 16000 m longitudinales, medidos desde la cabecera de cuenca.
5° a 15°	Moderado	Terrenos con moderada pendiente. Se observan en el cauce de la quebrada (figura 14), desde la cabecera hasta los 6000 m longitudinales, entre los 2300 y 1300 m s.n.m., de igual manera estas pendientes predominan en las cimas de las montañas.
15° a 25°	Fuerte	Pendientes que se distribuyen indistintamente en las laderas de las montañas.
25° a 45°	Muy fuerte	Se encuentran en laderas de montañas ígneas, que circunscriben la quebrada.
>45°	Muy escarpado	Se encuentran en laderas de montañas ígneas, que circunscriben la quebrada.



**Figura 14.** Subunidades geomorfológicas y pendientes representativas en la parte alta de la quebrada Huarequeque.

### 3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (mapa 2), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual; en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2019).

#### 3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

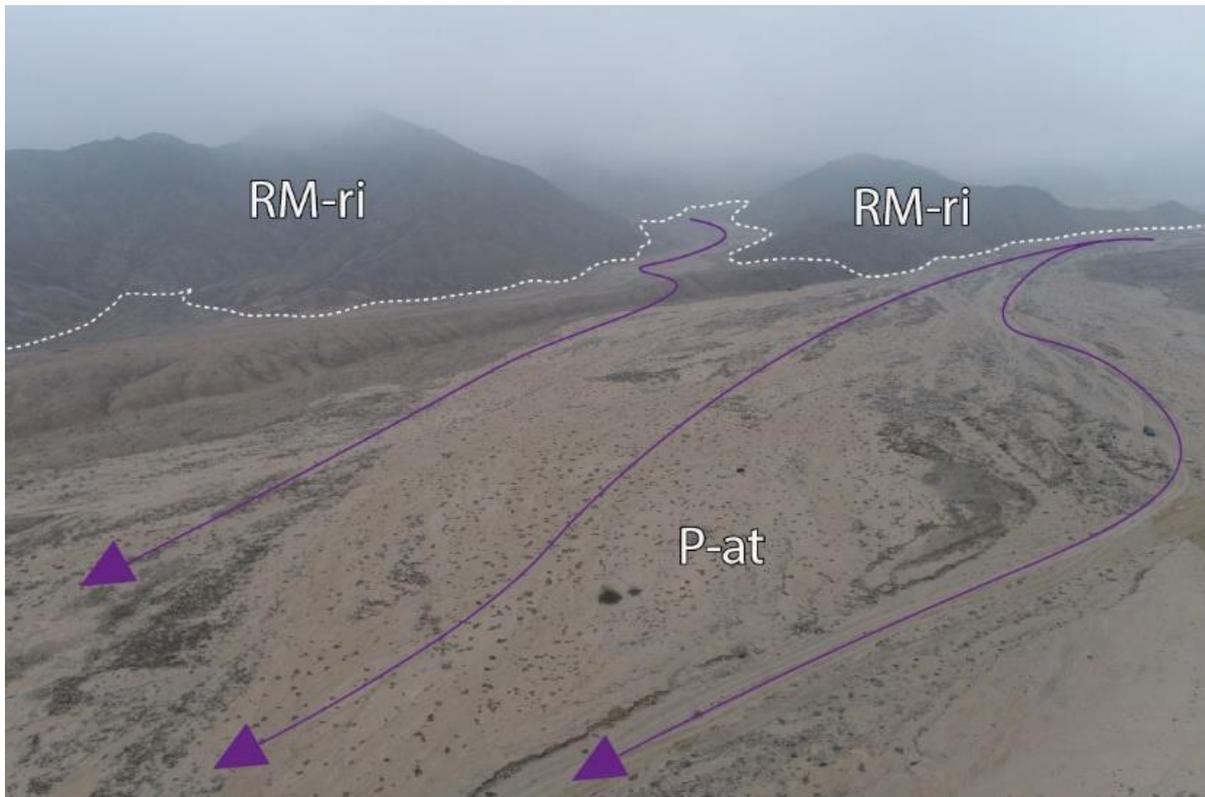
Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

##### 3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia la siguiente subunidad:

**Subunidad de montañas en rocas ígnea (RM-ri):** Conforman cadenas montañosas con laderas y crestas topográficas abruptas, con elevaciones que alcanzan 2700 m s.n.m., formadas por plutones y stocks del Batolito Costanero, emplazadas con rumbo NO-SE, circunscriben el cauce de la quebrada Huarequeque. Las laderas de estas montañas son muy fuertes a escarpadas (25°-45°) que, sumado a las condiciones meteorológicas áridas, su alto grado de fracturamiento y elevada meteorización, originan suelos arenosos y arcillosos con

grandes bloques y bolones, por lo que geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas, derrumbes, deslizamientos y sobre todo flujos de detritos (figura 15).



**Figura 15.** Subunidades geomorfológicas y dirección de flujo de detritos que conformaron piedemontes aluvio-torrenciales.

**Subunidad de montañas en rocas volcánico sedimentarias (RM-rvs):** dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias del Neógeno, pertenecientes al Grupo Casma. Presentan crestas altas e irregulares, con pendientes que superan los 35°. Sus elevaciones alcanzan 1800 m s.n.m. También se tienen montañas con laderas empinadas y cimas redondeadas. Geodinámicamente, se encuentran asociadas a derrumbes y deslizamientos.

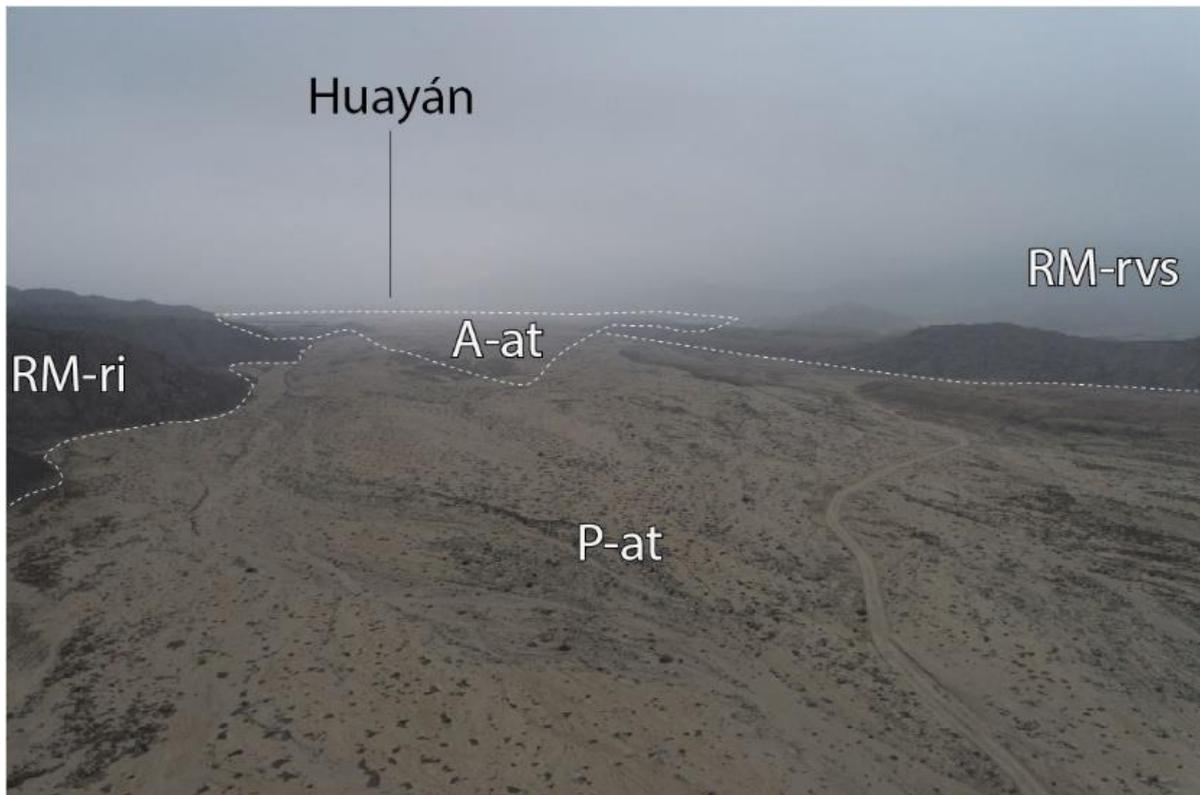
### 3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

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

#### 3.2.2.1. Unidad de piedemonte

**Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at):** Son planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de las montañas en rocas ígneas, formado por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua y lluvias estacionales de carácter excepcional características de esta quebrada (figura 16). Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas. Se asocian, principalmente, al fenómeno del Niño.

La disposición de material suelto es susceptible a ser erosionado y generar nuevos flujos de detritos, por ello se considera que sus cauces están sujetos a huaicos periódicos a excepcionales.



**Figura 16.** Subunidades geomorfológicas vistas con dirección hacia el sector de Huayán.

#### **4. PELIGROS GEOLÓGICOS**

Los peligros geológicos reconocidos en la quebrada Huarequeque, corresponden a movimientos en masa de tipo flujos.

La caracterización de los peligros geológicos en los sectores de inspección, se realizó en base a la información obtenida de trabajos en campo; donde se clasificaron los tipos de movimientos en masa, basados en la observación, descripción litológica y morfométrica in situ de los mismos. Posteriormente esta información se corrigió en gabinete con datos de campo como puntos GPS, medidas con distanciómetro láser, fotografías a nivel de terreno y fotografías aéreas con dron.

##### **4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa en la quebrada Huarequeque**

De acuerdo a las observaciones y trabajos de campo se evidencia que el basamento rocoso en esta área lo constituyen rocas intrusivas con fuerte fracturamiento y notorio grado de meteorización (muy alta), factores que han contribuido a la acumulación de materiales coluviales y residuales constituyendo los suelos incoherentes y sin protección vegetal en el cauce de la quebrada, además de ello, el cauce principal es recto y sinuoso en la parte alta y casi recto en la parte baja con pendientes moderadas a suaves. Sus flancos son empinados y con amplio desarrollo de torrenteras y cárcavas que se han formado por la incisión de depósitos de taludes inconsolidados y en roca. Estas condiciones morfológicas son propicias para la generación de huaicos cada temporada de lluvias, las cuales arrastran gran volumen

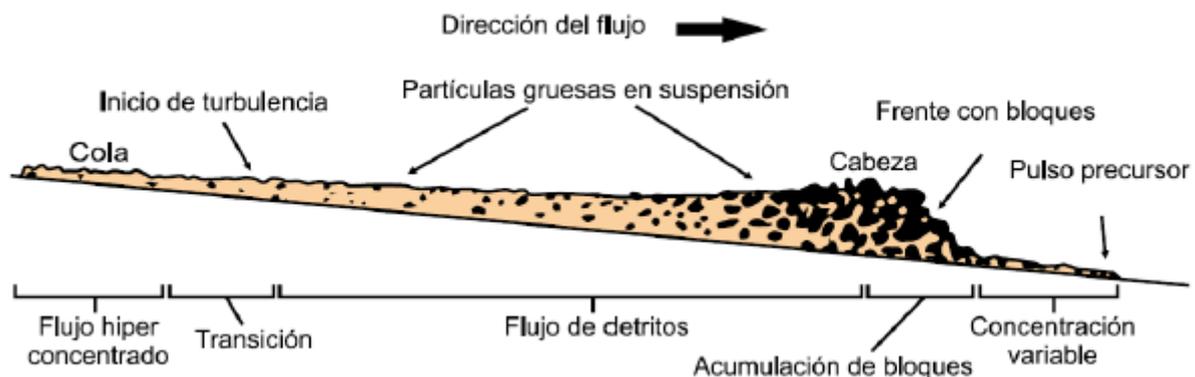
de sólidos de material granular, lodo y bloques de roca de diferentes tamaños, constituyendo una amenaza frecuente para la seguridad del sector Huayan, sus habitantes, la carretera y terrenos de cultivo.

#### 4.1.1. Flujo de detritos

Según las evidencias geológicas y geomorfológicas, sumadas al testimonio de los pobladores del sector Huayan; se deduce, que en épocas de fuertes precipitaciones pluviales se activa el régimen de la quebrada Huarequeque, presentando un caudal irregular y torrencioso, que erosiona y transporta el material sólido inconsolidado (proluvial), presente en el cauce principal, elementos que conjuntamente con la fuerza hidráulica incrementan los componentes horizontal y vertical de la fuerza erosiva de la entonces corriente temporal (figura 17).

La componente horizontal produce la erosión lateral por socavamiento y derrumbe de las márgenes del flujo, donde se ubican diferentes terrazas (evidencias de flujos antiguos) y laderas de montañas (rocas ígneas altamente fracturadas y meteorizadas) de fácil erosión, la componente vertical del flujo erosiona el fondo del cauce compuesto por material inconsolidado, también proluvial.

Todo el material detrítico incorporado al caudal genera un tipo de flujo denominado “No Newtoniano” (mezcla de sólido y líquido)” que dependiendo de la concentración de sus componentes se mueve a cierta velocidad y con determinados tirantes (alturas), aguas abajo hasta que pierde su capacidad de transporte, todo esto ocasiona el arrastre y depósito de detritos, bloques y lodo en el sector de Huayan.



**Figura 17.** Esquema tipo de un flujo de detritos confinado a un cauce (Valderrama, 2011).

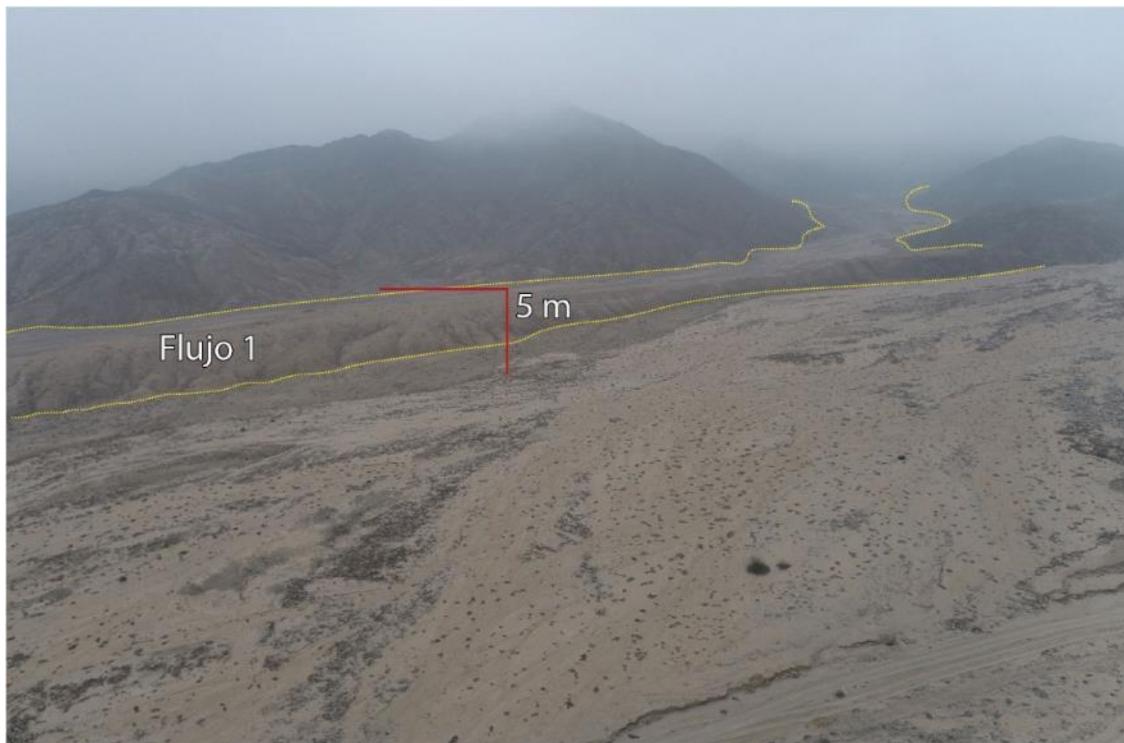
A grandes rangos se puede distinguir 4 eventos de flujos de detritos, diferenciados por el porcentaje de bloques, gravas, arenas y material fino, que han conformado terrazas de diferentes tamaños, entendiéndose que el flujo 1 históricamente corresponde al más antiguo y el 4 al más reciente, quitando de esta clasificación al flujo de detritos registrado en el 2017 que cubrió a la mayoría de eventos anteriores.



**Figura 18.** Muestra diferentes eventos (flujo de detritos), que conforman terrazas en el cauce de la quebrada Huarequeque.

**Evidencia de flujo de detritos 1**

Corresponde a evidencia de flujo de detritos antiguos que conforman terrazas de más de 5 m de altura (figura 19), estos han rellenado gran parte de la quebrada Huarequeque, y sobre estos se han originado nuevos eventos que han erosionado y depositado continuamente nuevos materiales detriticos, se observan en las márgenes y en las torrenteras más extensas de la quebrada (figura 19).



**Figura 19.** Evidencia de flujo de detritos más antiguo, sobre los que se han desarrollado nuevos eventos.

## Evidencia de flujo de detritos 2

Corresponde a flujo de detritos con predominancia de material grueso tipo arenas y gravillas y menor cantidad de bloques y bolones, envueltos en abundante matriz limoarcillosa, se podría inferir que fue producto de una inundación de detritos, que a su vez fue desencadenado por lluvias prolongadas y menos intensas que removieron paulatinamente el material de quebrada, generando terrazas bajas visibles entre 40 cm y 1 m (figura 20)



**Figura 20.** Evidencia de flujo de detritos del grupo 2, se puede observar material de un flujo más turbulento depositado encima.

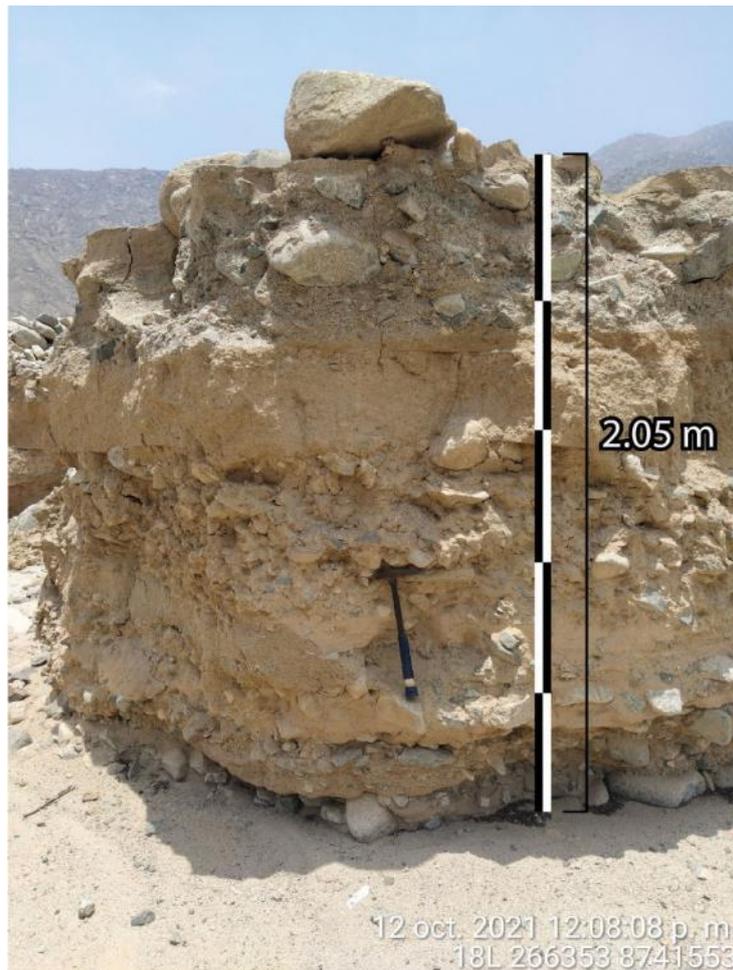
## Evidencia de flujo de detritos 3

Este grupo de evidencias de flujo de detritos, muestra homogeneidad entre el porcentaje de material grueso y fino, el diámetro mayor de los bloques llega a 0.5 m, con excepciones de bolones de hasta 1 m, se podría inferir que estos eventos corresponde a lluvias de intensidades medias y esporádicas (figura 21).

## Evidencia de flujo de detritos 4

Este es el grupo más superficial, donde predominan bloques de diámetros de hasta 3 m, envueltos en una matriz areno-limosa, por la cantidad y tamaño de bloques se puede deducir que corresponde a eventos generados por lluvias extremas de alta intensidad.

Entre las evidencias de flujo se observan depósitos de arenas y gravillas (5-20 mm), que representan periodos sin precipitación pluvial.



**Figura 21.** Evidencia de flujo de detritos del grupo 3, se puede observar material de un flujo más turbulento correspondiente al grupo 4, depositado encima.

### **Evidencia de flujo de detritos del 2017**

Entre febrero y abril del 2017 producto de intensas lluvias desencadenadas por el fenómeno de “El Niño Costero” (fenómeno climático regional-local, que se desarrolla a lo largo de las costas del Pacífico, causado por el recalentamiento del agua de mar, y como consecuencia el incremento de las precipitaciones pluviales), se registró la ocurrencia de flujos de detritos en el sector Huayan, cuya zona de arranque corresponde a la parte alta de la quebrada Huarequeque (X: 270124; Y: 8751905).

El flujo se canalizó por la quebrada erosionando el material detrítico disponible en su cauce; debido a la pendiente baja (5°) y ancho promedio del canal en la parte baja (480 m), la mayor cantidad de material detrítico llegó a depositarse en la zona media del abanico proluvial que corresponde al contacto entre los depósitos proluviales y la zona agrícola de Huayan (X: 267342; Y: 8734014), de este punto en adelante el flujo comenzó a laminar e inundar ~87 ha agrícolas, afectando cultivos, viviendas de Huayan asentadas en el abanico proluvial y produjo el bloqueo temporal de la carretera que conecta los centros poblados de Aucallama y Huaral con Huayan en un tramo de 180 m (figura 23).

Evidencias de este flujo de detritos se puede observar a lo largo del cauce principal de la quebrada, entre ellos resalta la presencia de bloques de 6 m de diámetro, canales que evidencian la turbulencia y laminación del flujo, así como la presencia de material detrítico en la desembocadura de la quebrada limitado por terrazas del cono proluvial (figura 22 y 24).

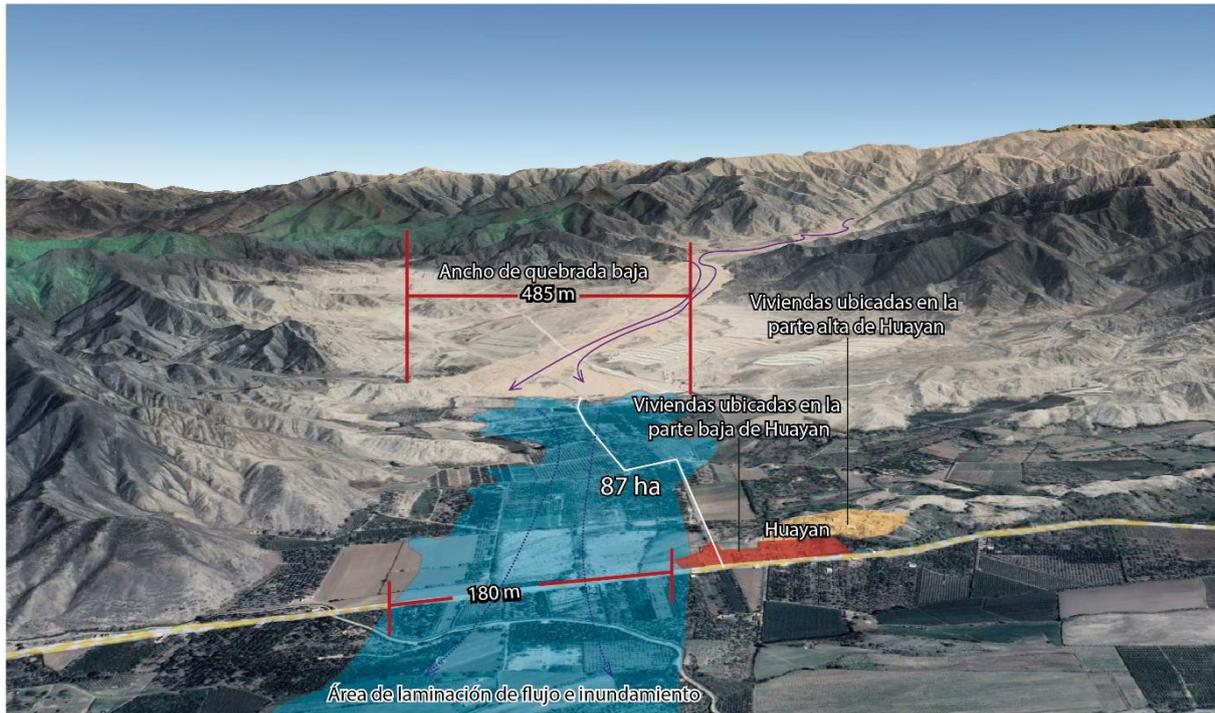
En la quebrada se observa, la presencia de una torre de alta tensión, protegidas por muros de gaviones, ante posibles reactivaciones de flujos (fotografía 1).



**Figura 22.** Evidencia laminaciones del flujo de detritos del 2017



**Fotografía 1.** Torre de alta tensión instalada en la quebrada Huarequeque, protegida por muros de gaviones (Coordenadas UTM, WGS 84, zona 18 s, X: 265811; Y: 8739926).



**Figura 23.** Afectaciones en el sector Huayan, por el flujo de detritos del 2017.



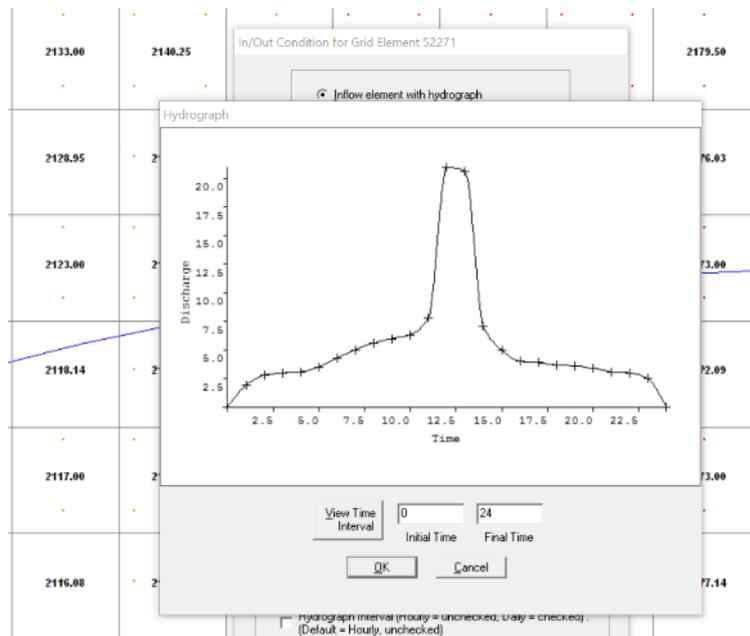
**Figura 24.** Terrazas proluviales en la desembocadura de la quebrada Hwarequeque.

## 4.2. Simulaciones numéricas

Con el objetivo de conocer las características del comportamiento de un flujo de detritos (huaico) en la quebrada Huarequeque, se realizó una simulación numérica en el software FLO2D, para un tiempo de retorno de 50 años (TR:50).

Las características de la simulación numerica (datos de entrada) fueron:

- Se utilizaron los registros de precipitaciones pluviometricas (máxima de 24 h) de la estación meteorologica Huayan-Senamhi (1963-2014).
- El tiempo de retorno considerado para la simulación y generación de caudales fue de 50 años.
- Se asignó un valor de número de curva de 0.41 % (sin cobertura vegetal) a toda la quebrada Huarequeque.
- Para la creación del histograma de avenidas máximas se utilizó el software HEC-HMS, con la metodología del Soil Conservation Service (SCS). Ver figura 25.
- Los valores de Manning (n), empleados fueron de 0.04 para márgenes de la quebrada y 0.055, para algunas zonas de cauces y canales.
- Se consideró un concentración de sólidos (Cv) igual a 0.35 y 0.45.
- El modelo digital de elevaciones (DEM), empleado corresponde a un DEM spot de 10m/px, siendo el tamaño de grilla de simulación de 15 m/px.

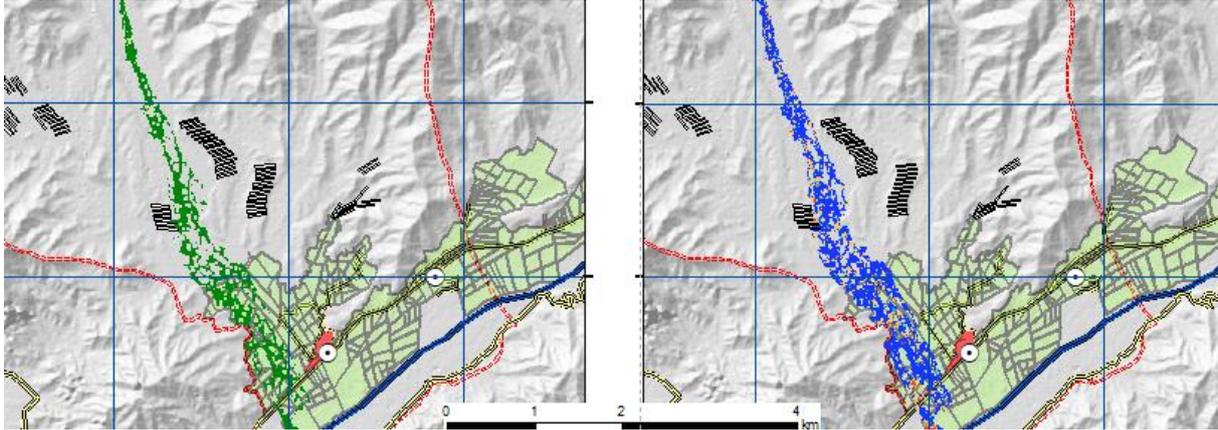


**Figura 25.** Hidrograma (TR: 50 años), usado en la simulación.

- El tiempo de simulación fue de 30 horas.
- El caudal pico del hidrograma líquido fue de 23 m<sup>3</sup>/s, considerando que según registros meteorológicos del Senamhi, en el 2002 las lluvias alcanzaron máximos de 36.7 mm (cuadro 7).
- La zona de arranque del flujo se colocó en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:270721 m; Y:8751937 m; Z: 2197 m s.n.m.

Los resultados de la simulación muestran (figura 26, mapa 5):

- Las velocidades para un flujo de detritos con tiempos de retorno de 50 años, desde la zona de arranque comienza con 8.7 m/s (zona de mayor pendiente), al llegar al cauce principal estas fluctúan entre 2.1 a 4 m/s, para finalmente mantenerse casi constantes en 2 m/s, hasta llegar al río Chancay.
- Los tirantes máximos (alturas de flujo) son de 3.5 m, en zonas puntuales, pero en general el valor medio es de 1 m, disipándose a 0.5 m, en la desembocadura de la quebrada debido al gran ancho de la misma.



**Figura 26.** Velocidades y tirantes máximos en el sector de Huayan.

- El volumen de entrada de líquido total es de 468 720.2 m<sup>3</sup>, y la concentración de mezcla agua/sedimento es de 738 000 m<sup>3</sup>.
- La simulación muestra afectación directa de ~80 ha agrícolas, incluido las viviendas rurales que allí se encuentran.
- El tramo de carretera afectada se encuentra entre las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X:268055 m; Y:8732727 m; y X:268252 m; Y:8732924, (~200 m).

### 4.3. Factores condicionantes

Las causas principales para la ocurrencia de movimientos en masa (flujo de detritos) en la quebrada Huarequeque están relacionados a lo siguientes factores

#### Factor geomorfológico

- El cauce principal de la quebrada Huarequeque tiene una longitud aproximada de 23 km, hasta su desembocadura en el río Chancay, los primeros 2 km desde la cabecera presentan una pendiente fuerte ( $20^{\circ}$ ), desde este punto hasta sus 16 km la pendiente es moderada ( $5^{\circ}$ ), y hasta su desembocadura predominan pendientes llanas de  $3^{\circ}$ . Esta configuración de pendientes en el cauce favorecen el incremento de velocidad en la parte alta de la quebrada y deposición de material en la parte baja (figura 24).
- La quebrada Huarequeque se encuentra circunscrita por montañas con laderas de fuertes pendientes, que sumadas a su alto grado de fracturamiento y meteorización aportan de material detrítico (bloques y bolones), al cauce principal, material que puede ser fácilmente erosionado por las corrientes temporales, incrementando la concentración de sólidos del posible flujo de detritos.

#### Factor litológico

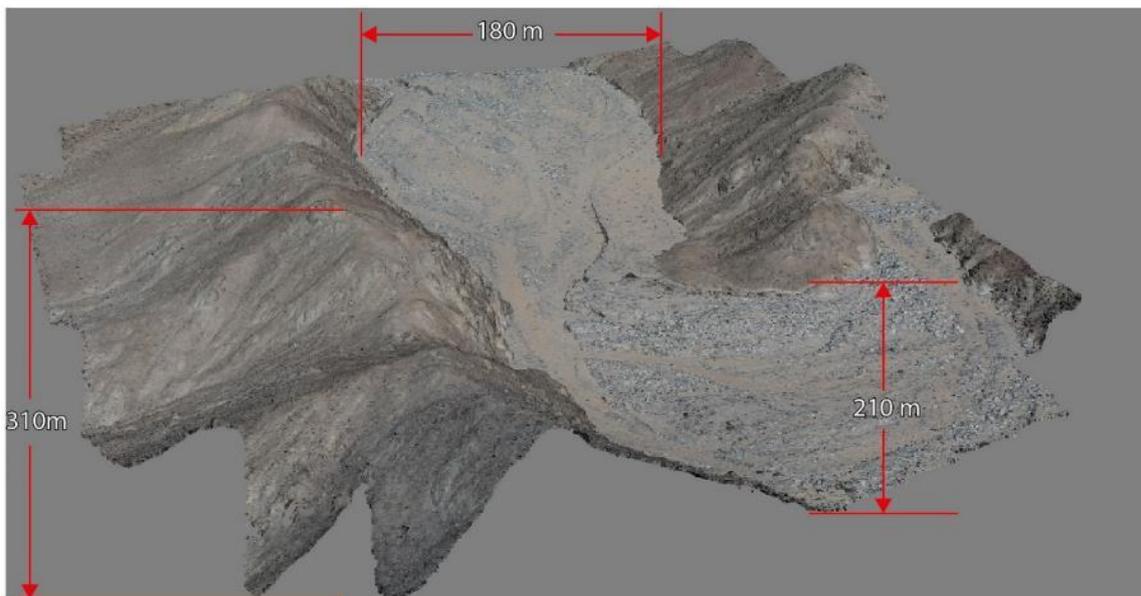
- El depósito proluvial está conformado por material detrítico no consolidado, fácilmente erosionable, los bloques llegan a medir hasta 6 m de diámetro, y se encuentran a lo largo de toda la quebrada.
- La quebrada se encuentra circunscrita por rocas ígneas (granitos, tonalitas y monzogranitos) que forman parte del Batolito de la Costa, estas se encuentran altamente fracturadas y meteorizadas, generando suelos coluviales con bloques angulosos y heterométricos envueltos en matriz areno-limosa y limo-arcillosa, susceptible a procesos de erosión y transporte.

### 4.4. Factores desencadenantes

- Según el registro meteorológico de la estación Huayan (figura 28), administrada por el Senamhi, el principal factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Huarequeque, son las precipitaciones de carácter extraordinario, relacionadas principalmente al fenómeno de “El Niño” y el “Niño Costero” (cuadros 6 y 7), el cual provoca la activación de la quebrada.

**Cuadro 6.** Precipitaciones diarias máximas, registradas por la estación Huayan (Senamhi) en los años donde se registró la ocurrencia de “El Niño”

AÑO DE FENÓMENOS DEL NIÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA REGISTRADA	PRECIPITACIÓN ACUMULADA REGISTRADA
1982	1.8	3.8
1983	2.6	9.2
1997	2	11.68
1998	4.8	39.6
2017	No evaluado	No evaluado



**Figura 27.** Medidas promedio del cauce en la parte media-alta de la quebrada Huarequeque.



**Figura 28.** Ubicación de la estación meteorológica Huayan administrada por el Senamhi.

**Cuadro 7.** Precipitaciones diarias máximas, registradas por la estación Huayan (Senamhi) desde 1963 hasta el 2014, el color naranja muestra incrementos extremos de precipitación y el color azul los años registrados como “El Niño”

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
1963								0.8	0.6	0.5	1.2	0.1	1.2
1964	0.3	0.4	1.9	0.1	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	0.1	1.9
1965	0.3	0.2	0.6	0	0.6	0.2	0	0	2	0.5	0.1	0.3	2
1966	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.6	0.2	15.8	0.5	0	15.8
1967	4.5	2	0	0	0	0	5.1	0.9	0.6	0	0	0	5.1
1968	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1969	0	0	0	0	0	0.4	0.8	2.2	0	0	0	0	2.2
1970	14	5.2	0	0	0	1.8	1.7	0	1.4	0	0	0	14
1971	0.4	0.1	0	0.5	0	10.4	1	10.8	0	0.3	0.2	1	10.8
1972	0	3.5	3	0.5	0	0	0	1.6	0.8	0	6	6	6
1973	3	0.4	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1974	0.4	1.5	1.1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
1975	0	3.6	0	0	0.01	0.7	0.5	0.3	0	0	0	0	3.6
1976	2.5	3	0.3	0	1	1.5	0.5	1.5	1.2	0	0	0	3
1977	0	0.8	0	0	0	0	0.6	0	2	0	0.1	0	2
1978	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6
1979	0	0	11.9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11.9
1980	0	0	0	0	0.2	0.6	0	0	0	0	0	0	0.6
1981	2	0.1	0.2	0	0	0	0	3	0	0	1.5	0	3
1982	0	1.8	0	0	0.6	0	0.6	0	0	0	0	0	1.8
1983	0.6	1	2.6	0.5	0	0	1.8	0	0	0	0	0.1	2.6
1984	0	3.5	1	0	0.6	0	0	0.1	1.7	0	0	0.2	3.5
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0.3	0.4	0	0	0	0	0.01	0.1	0	0	5.8	5.8
1987	2.5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0.6	4
1988	4.2	0	0	0	0	0	0	2.5	0.1	0.01	0	0.1	4.2
1989	0	10	0	0	0	0	0.01	0.2	0	0.2	0	0	10
1990	0	0	0	0	0	2	0.5	0.01	0.01	0.01	0.01	5.4	5.4
1991	0.01	0	0.01	0	0	0	0.6	0.6	0	0	0	0	0.6
1992	0	0	0	0.01	0	0.2	0.9	0	0	0.1	0	0	0.9
1993	0	0	0	0	1	0.4	0.6	0	0	0	0	0.01	1
1994	0.4	0	0	0.01	0.5	0.5	0	0.1	0	0.2	0.4	0	0.5
1995	0	0	1.3	0.01	0.01	0.01	1	0.3	0.5	0.01	0.01	0	1.3
1996	0	0	6.8	0.1	0	0.5	0.5	0.4	0.1	0.01	0.1	0.01	6.8
1997	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0.6	0.1	1.6	0	2	2
1998	2	4.8	4.7	0	0.5	0.8	1	1.2	0.5	0.1	0.1	0	4.8
1999	2.9	5.2	0.9	0.1	0	1	0.5	0.3	0.4	0	1.4	0	5.2
2000	1.8	0.7	0.3	0	0.3	0.5	0.9	0.4	0.2	0.1	0	0.5	1.8
2001	2.7	1.4	0.8	0.2	1	0.6	0.8	0.3	0.2	0	4.8	0.1	4.8
2002	0	36.7	0.1	0.5	0.1	0.7	0.9	0.7	0.6	0.9	0.4	0.2	36.7
2003	1.4	0.6	0.6	0	0	0.4	0.7	1.1	1.1	0	0	1.1	1.4
2004	0	0	0	0	0	0	0.9	0.2	0.4	0	0.4	0.3	0.9
2005	0.1	0	0	0	0.6	0.5	0.4	0.3	1.1	0	0	0.1	1.1
2006	0.9	0.2	0.9	0	0	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	0.3	0.3	0.9
2007	0	0	0	0	0	0	0.5	1.5	0.3	0	0	0	1.5
2008	0	0	1	0	0.5	1	0.7	1.1	1.2	0.6	1.7	0.6	1.7
2009	1	2.8	1.5	0.5	0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.5	0.7	0.6	2.8
2010	1	0.2	0.4	0.5	1	0.6	0	0.2	0.3	0.3	0.1	0.8	1
2011	0.6	1	1.4	0.9	0.3	2.4	1.2	1.3	1.5	0.4	0.1	0	2.4
2012	0	3.5	2.4	0	0.5	1.5	1.6	1.7	0.5	0.4	0.2	1.4	3.5
2013	0	0.2	2.6	0	0.6	1.2	0.5	0.5	0.6	0.1	0.4	0	2.6
2014	0.7	0	3.3	0.1	0.5	1	1						3.3
TOTAL	14	36.7	11.9	0.9	1	10.4	5.1	10.8	2	15.8	6	6	36.7

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

## 5. CONCLUSIONES

1. La quebrada Huarequeque, presenta evidencias de flujo de detritos desencadenados principalmente por lluvias extraordinarias, relacionadas al fenómeno de “El Niño”, siendo su última activación en el 2017.
2. La recurrencia de huaicos en la quebrada, puede llegar a afectar 80 ha agrícolas, y viviendas asentadas en el borde de la quebrada del poblado de Huayan (sector bajo) y 180 m del tramo de carretera de acceso Huaral-Huayan.
3. Geológicamente, la quebrada se encuentra circunscrita por rocas ígneas del Batolito de la Costa, estas se encuentran altamente fracturadas y meteorizadas, lo que favorece su erosión y aporte de material detrítico al cauce de la quebrada, conformada por material proluvial suelto, con gravas, gravillas, y bloques de hasta 6 m de diámetro envueltos en matriz limo-arenosa fácilmente erosionable.
4. Geomorfológicamente, el cauce de la quebrada presenta una pendiente promedio de 20° en su cabecera, y de 3° en el resto de su trayecto hasta el río Chancay, las montañas en roca ígnea que rodean la quebrada, tienen laderas de pendiente fuerte a muy fuerte lo que favorece el despredimiento de bloques al cauce de quebrada.
5. El principal factor desencadenante de flujo de detritos es la ocurrencia de lluvias de carácter extremo y/o prolongadas, el registro meteorológico del Senamhi (1964-2014), muestra que la precipitación máxima diaria puede llegar a máximos a 36.7 mm.
6. En base a una simulación numérica para un tiempo de retorno de 50 años, se determinó la probabilidad de activación de la quebrada con un caudal pico de 23 m<sup>3</sup>/s, que generaría un flujo de detritos con velocidades promedio de 2 m/s y máximos de 8 m/s, así como tirantes promedio de 1 m y máximos de 3.5 m. El volumen total del flujo (mezcla agua/sedimento) se estima en 738 000 m<sup>3</sup> y afectaría puntualmente 85 ha agrícolas, viviendas rurales allí ubicadas y 200 m de la carretera de acceso a Huayan.
7. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas de la quebrada Huarequeque, el sector Huayan, es considerado como una **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos (huaicos) desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o prolongadas.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Reubicar las viviendas asentadas en la desembocadura de la quebrada Huarequeque.
2. Se debe controlar y restringir la expansión urbana, hacia la quebrada Huarequeque, de igual manera se deben prohibir la edificación de viviendas en abanicos proluviales, zonas de quebrada, y alledañas a sus márgenes.
3. Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en coordinación con INDECI para monitorear los huaicos que se puedan generar en la quebrada, mediante el uso de pluviómetros y los reportes de emergencia generados por Senamhi y ENFEN. En la implementación se debe tener en cuenta la instalación de sensores, sistemas de comunicación, alarmas, entre otros, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de huaicos, para que la población pueda tomar las precauciones del caso y salvaguardar sus vidas.
4. Implementar medidas estructurales para el control de flujo de detritos (huaicos), estos pueden ser la construcción de muros de roca (enrocado) usando el material presente en la quebrada, y diques, estos apoyarán en la retención de material detrítico y reducción de la velocidad de flujo.
5. Encauzar el tramo de la quebrada (~1 km), a través de las áreas de cultivo hasta el río Chancay.
6. Todas las medidas estructurales deben ser realizadas por especialistas, teniendo en cuenta cálculos hidrológicos y geotécnicos, que determinen, las características ingenieriles de cada una.
7. Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre peligro y riesgo a las que se encuentran expuestas las viviendas ubicadas en la desembocadura de la quebrada Huarequeque (sector Huayan).
8. Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR) en el sector Huayan.



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



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

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ANA (2016) Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables de la quebrada Huerequeque, centro poblado Huayán, departamento de Lima  
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5743>
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Luque, G.; Rosado, M.; Parí, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 72,222 p., 9 mapas.
- O´BRIEN J.S & PIERRE Y JULIEN. (1988). Laboratory Analysis of Mudflow Properties. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 114, N° 8, ASCE.
- Martinez, A (2013). Geotecnia de los Huaicos en Chosica. Vol I y II. Lima, Perú
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010a) – Guía climática turística (en línea). Lima: SENAMHI, 216 p. (consulta: 03 junio 2015). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorológicos>
- Suárez, J. (1996) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos, 282 p
- Varnes, J. (1978) - Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.
- Vílchez, M. & Ochoa, M. (2014) – Zonas críticas por peligros geológicos en la región Huancavelica. Informe técnico Geología Ambiental. Instituto Geológico Minero Y Metalúrgico, 55 p <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2016>.
- Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

## **ANEXO 1: MAPAS**



LEYENDA

ERA	SIST	Serie	Unidades litoestratigráficas	Rocas intrusivas y subvolcánicas
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Proluvial Qh-p	<b>BATOLITO DE LA COSTA</b> Super Unidad Acari ks-bc/hu,mgd Super Unidad Humaya KP-ac-di Super Unidad Santa Rosa ks-bc/sr-tn,gd Grupo Casma ki-c
			Aluvial Qh-al	
			Fluvial Qh-fl	
Mesozoico	Cretácico	Superior		
		Inferior		

SIMBOLOGÍA

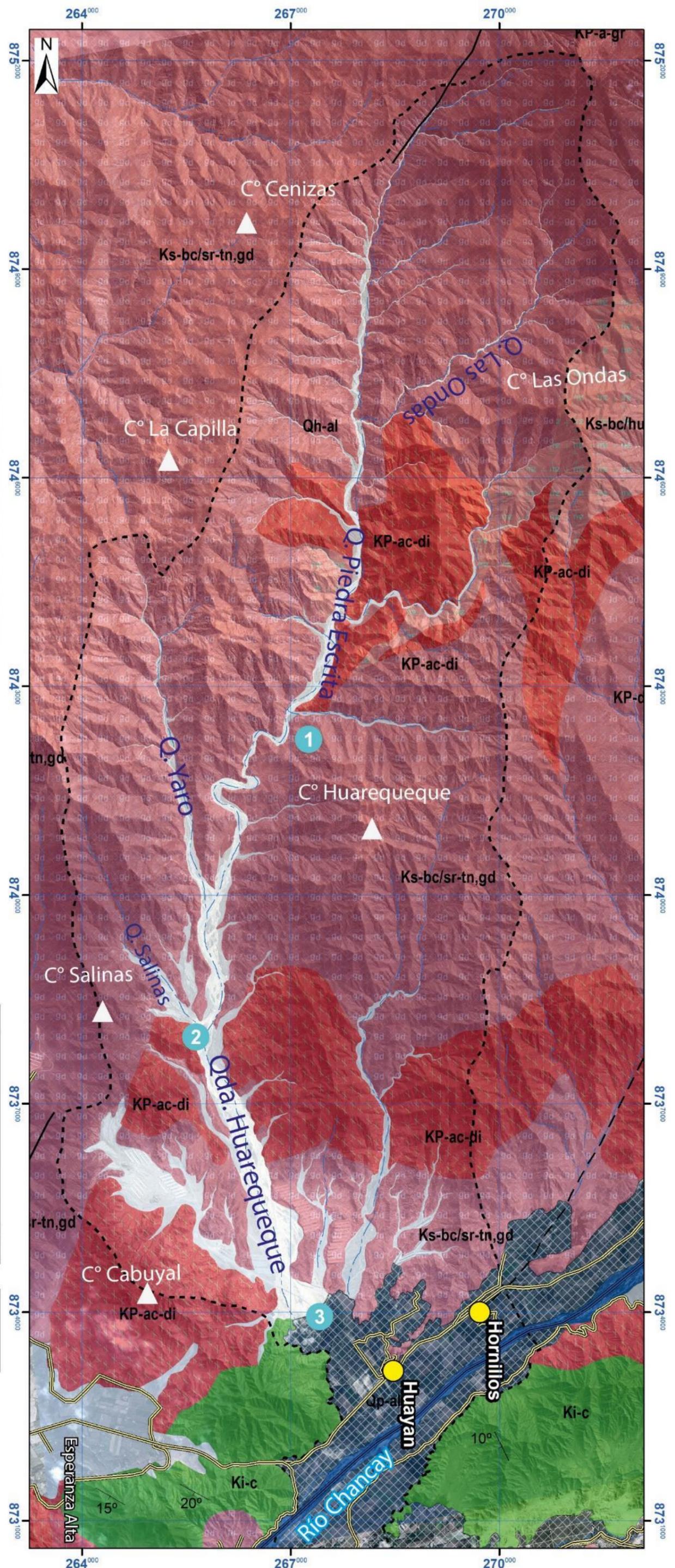
●	Centros Poblados	≡≡≡	Vías de acceso
①	Muestra fotográfica	~	Río principal
▲	Cimas principales	~	Quebradas

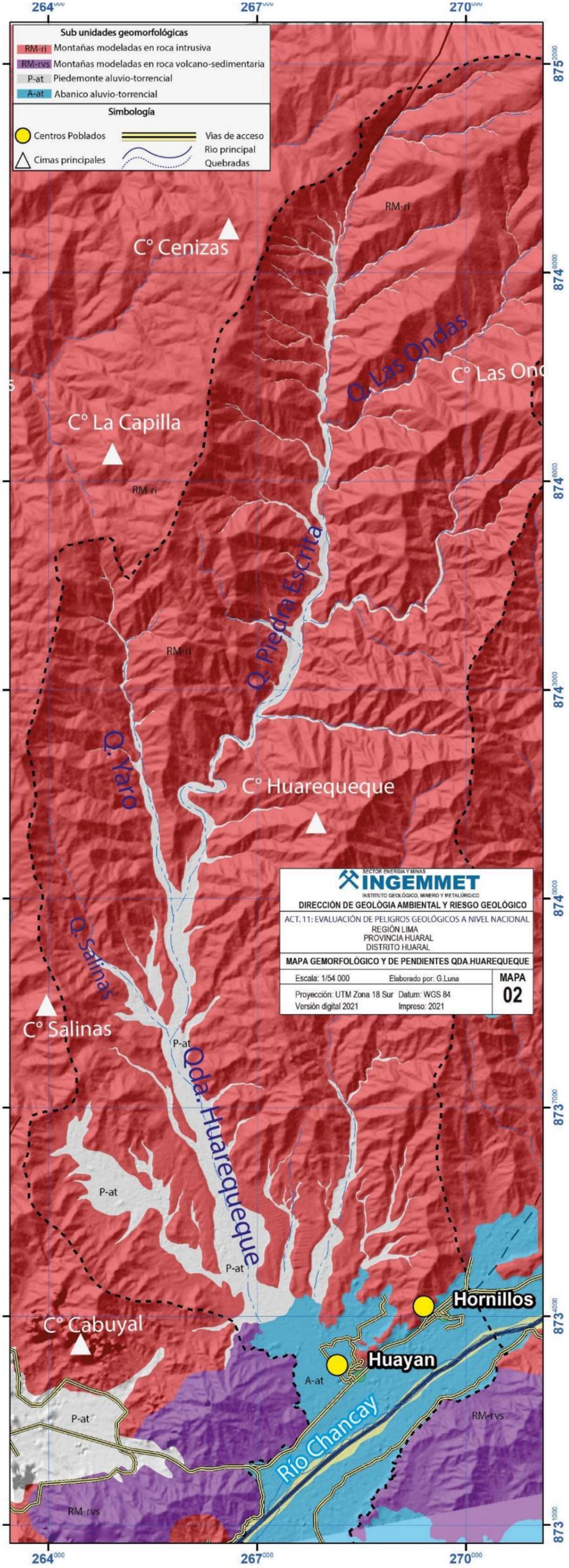
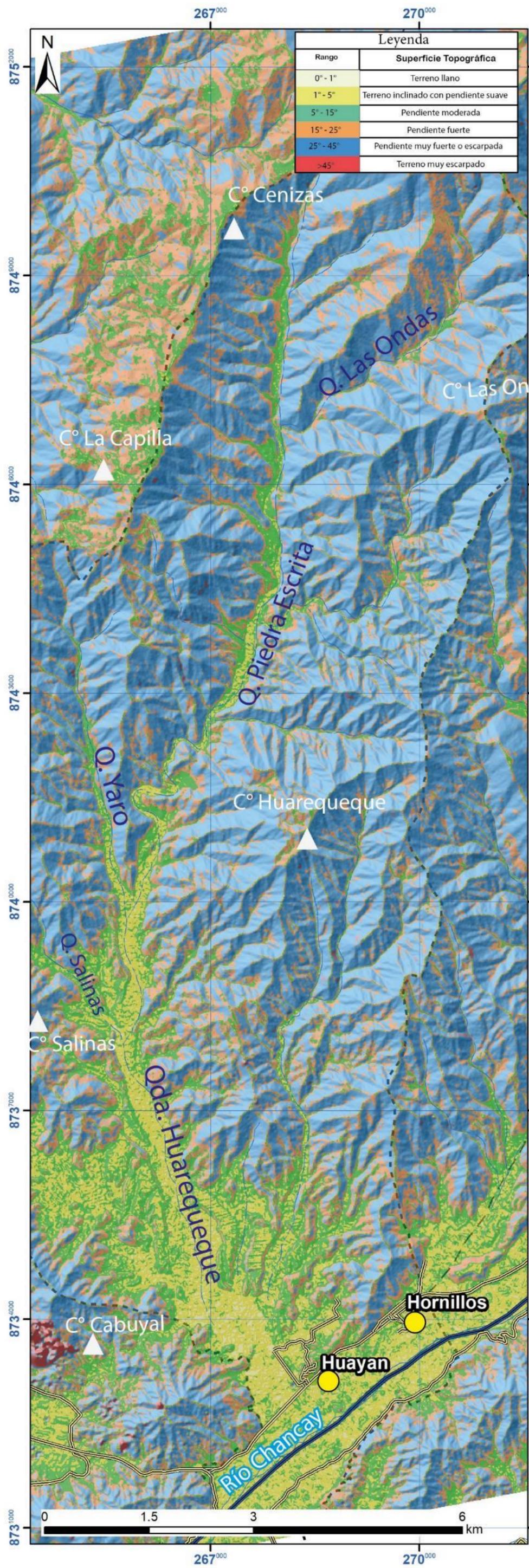
SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO  
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO  
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL  
 REGIÓN LIMA  
 PROVINCIA HUARAL  
 DISTRITO HUAREQUEQUE

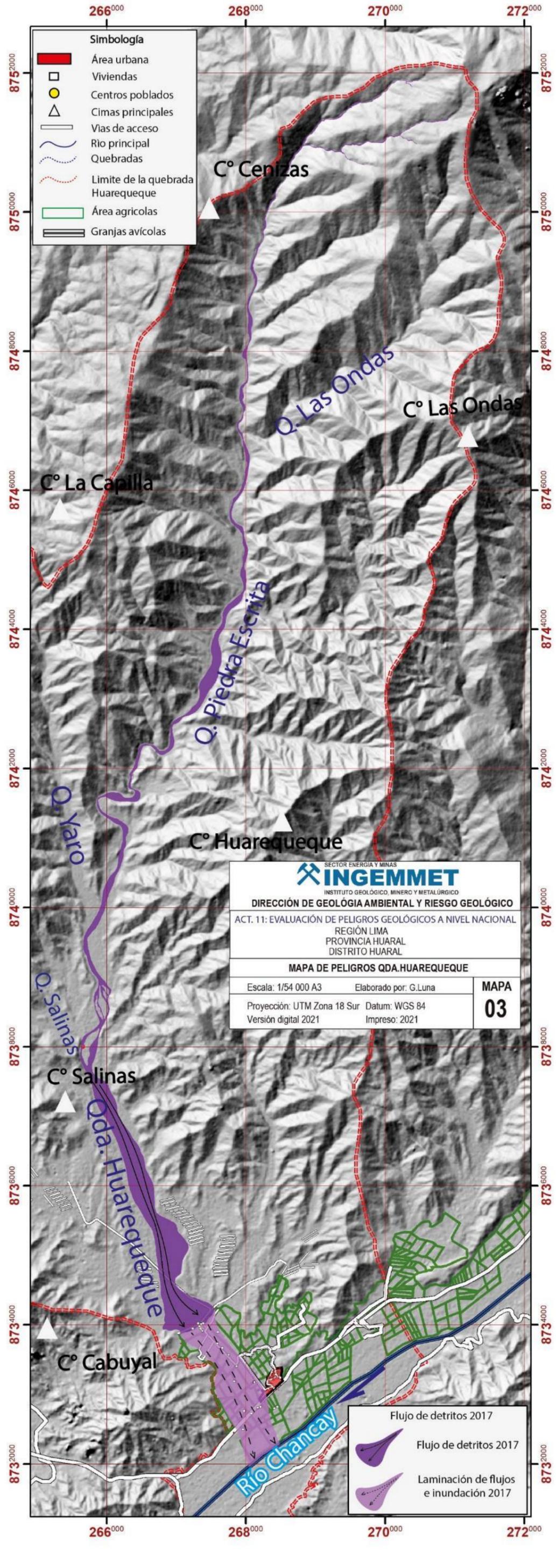
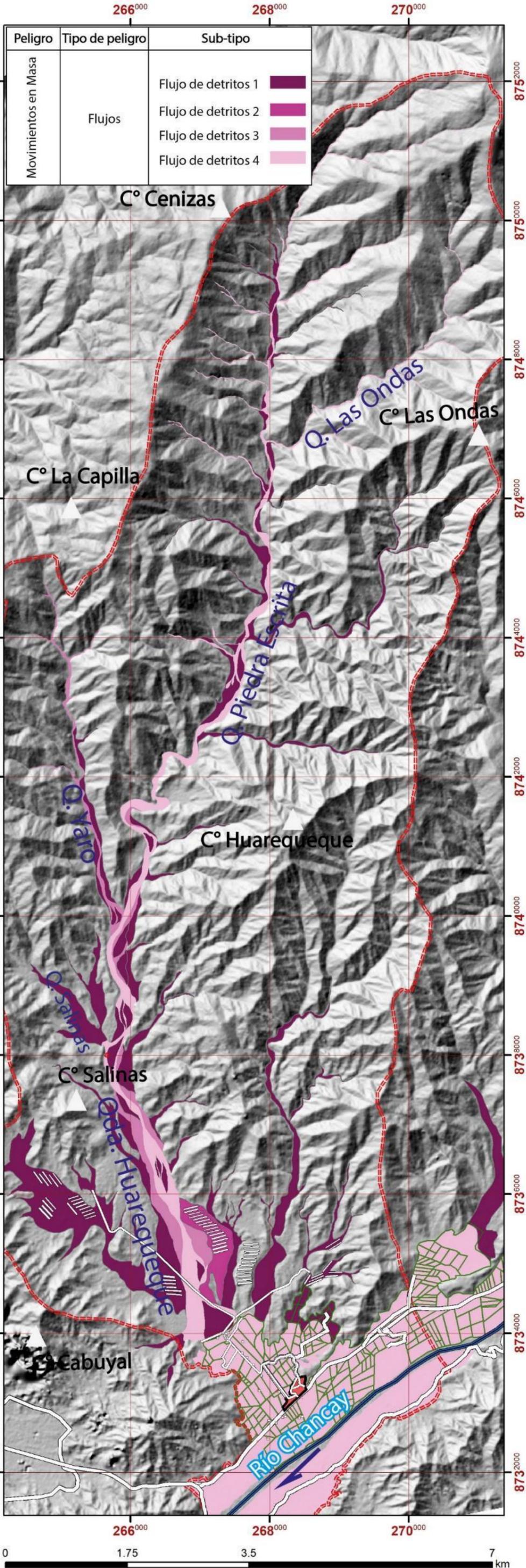
**MAPA GEOLÓGICO QDA.HUAREQUEQUE**

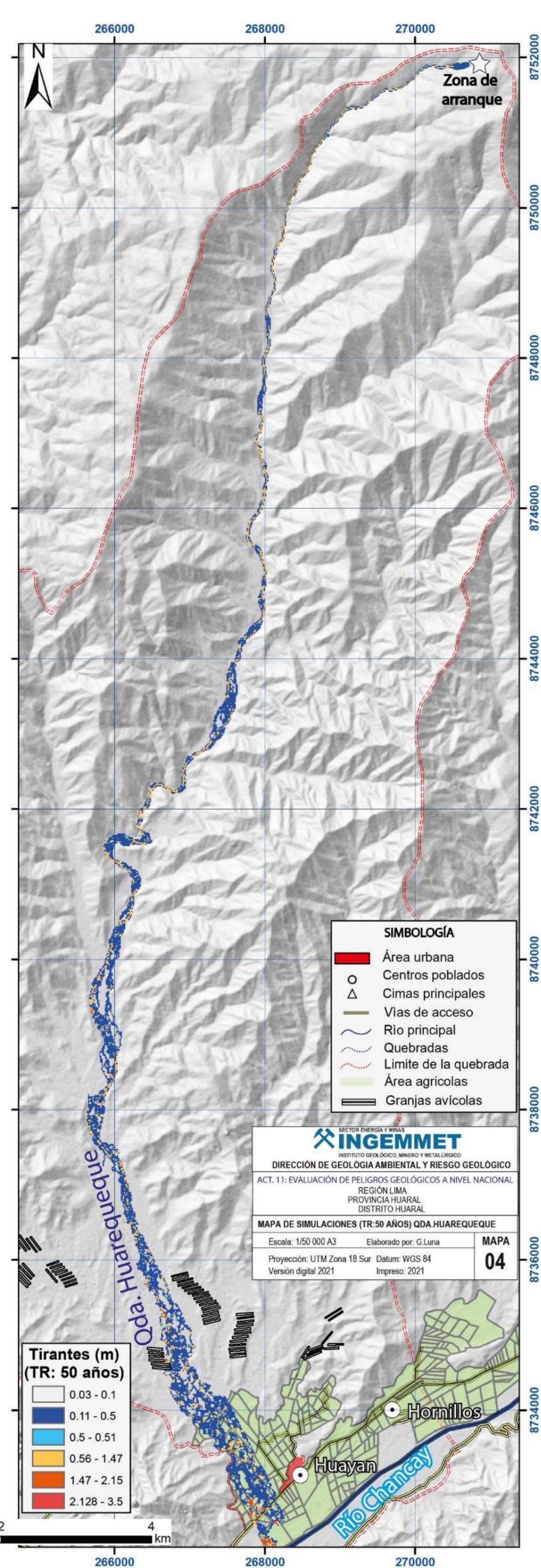
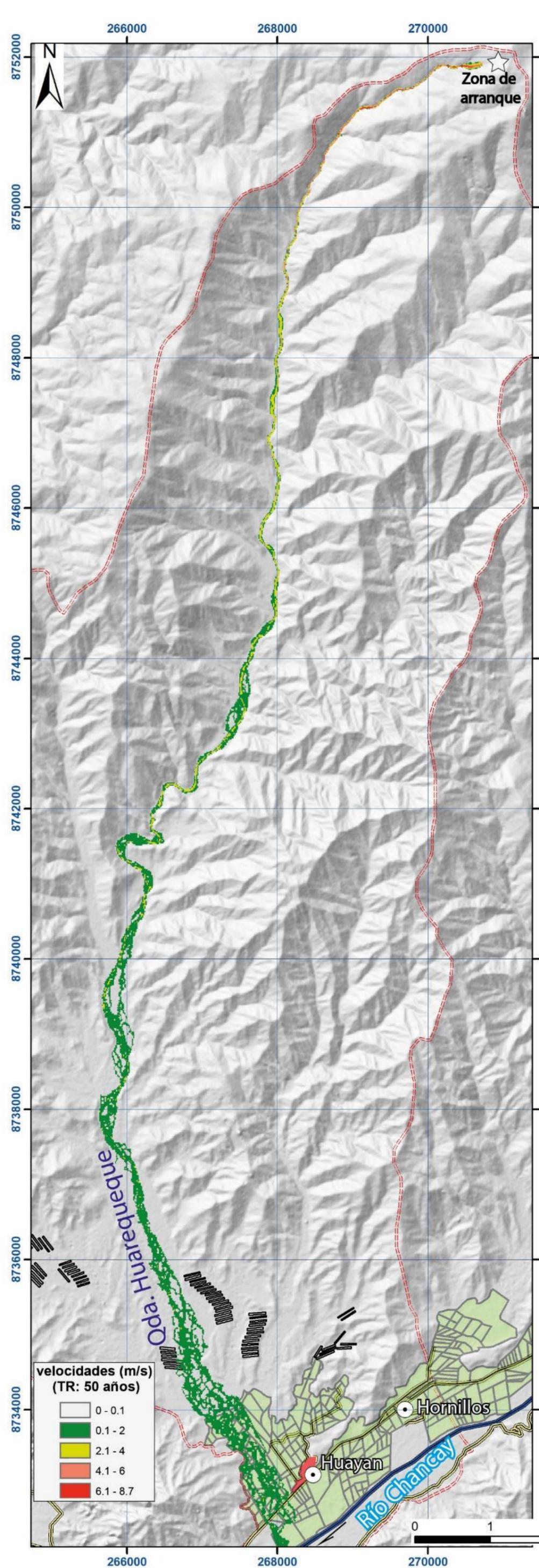
Escala: 1/54 000      Elaborado por: G. Luna      **MAPA 01**

Proyección: UTM Zona 18 Sur    Datum: WGS 84  
 Versión digital 2021                  Impreso: 2021









**SIMBOLOGÍA**

- Área urbana
- Centros poblados
- Cimas principales
- Vías de acceso
- Río principal
- Quebradas
- Limite de la quebrada
- Área agrícolas
- Granjas avícolas

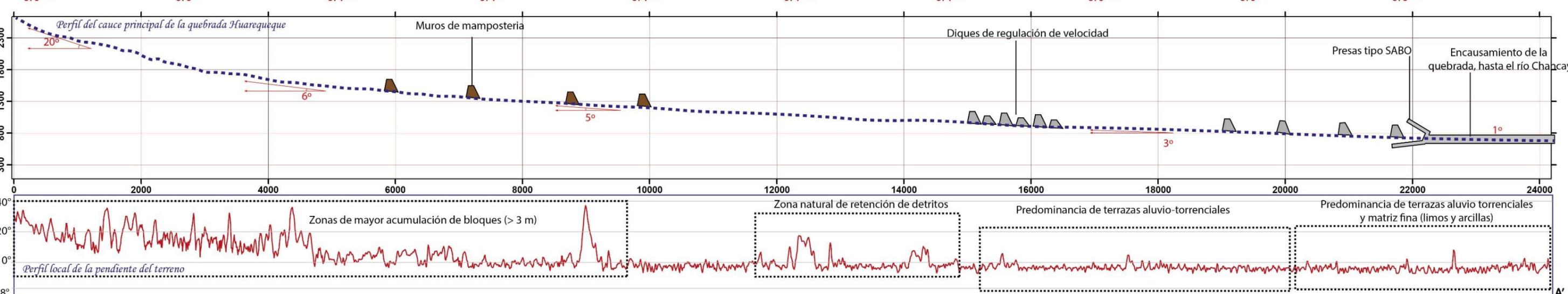
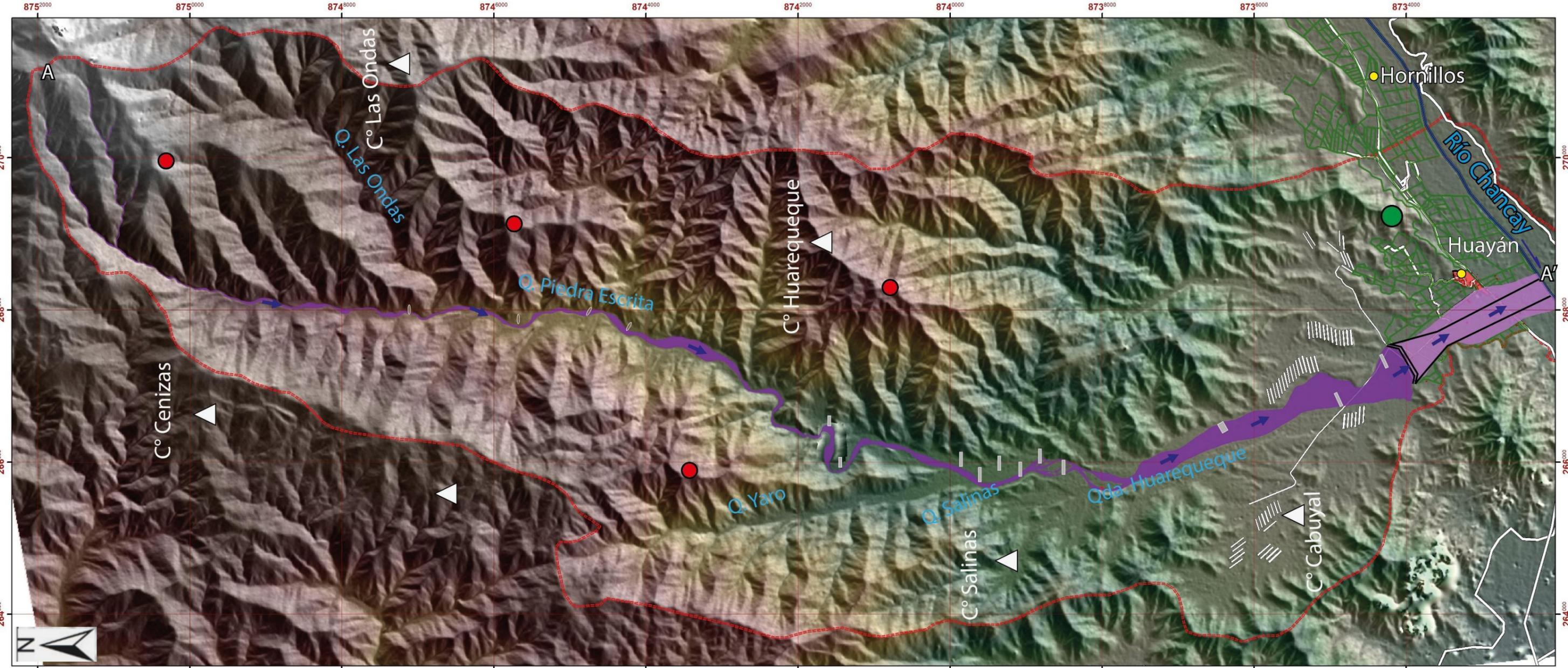
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO  
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO  
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL  
 REGIÓN LIMA  
 PROVINCIA HUARAL  
 DISTRITO HUAREQUEQUE

**MAPA DE SIMULACIONES (TR: 50 AÑOS) QDA.HUAREQUEQUE**

Escala: 1/50 000 A3	Elaborado por: G.Luna	<b>MAPA 04</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84	Versión digital 2021 Impreso: 2021	

**Tirantes (m) (TR: 50 años)**

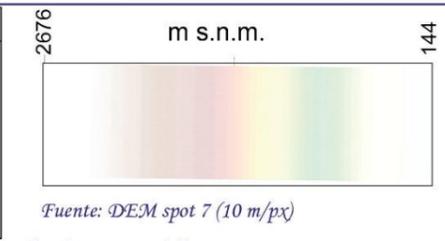
- 0.03 - 0.1
- 0.11 - 0.5
- 0.5 - 0.51
- 0.56 - 1.47
- 1.47 - 2.15
- 2.128 - 3.5



**Simbología**

● Posible ubicación de pluviómetros	▨ Área urbana	~ Limite de la quebrada
● Posible ubicación de alarmas	● Centros poblados	▭ Área agrícolas
▭ Muros de mampostería (piedra seca)	△ Cimas principales	▭ Granjas avícolas
▭ Diques de regulación de velocidad	— Vías de acceso	
▭ Canal de represamiento (represa tipo SABO)	~ Río principal	
▭ Encausamiento de la quebrada principal.	~ Quebradas	

Peligro	Tipo de peligro	Sub-tipo
Movimientos en Masa	Flujos	Antecedentes de flujos de detritos



**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO  
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO  
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL  
 REGIÓN LIMA  
 PROVINCIA HUARAL  
 DISTRITO HUAREQUEQUE

**MAPA DE PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN QDA HUAREQUEQUE**

Escala: 1/35 000 A2    Elaborado por: G. Luna    **MAPA 05**

Proyección: UTM Zona 18 Sur    Datum: WGS 84    Versión digital 2021    Impreso: 2021

\* El mapa representa propuestas de intervención referenciales, los diseños estructurales finales, medidas y ubicación de los mismos deben ser determinados por especialistas, en base a estudios geotécnicos e hidrológicos realizados por especialistas.

## 8. ANEXO 2: GLOSARIO

En el presente glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007).

**FLUJO DE DETRITOS (HUAICOS):** Flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados no plásticos, canalizada. Se movilizan fragmentos y escombros por efecto combinado de la gravedad y el agua (fuertes precipitaciones) que ocasionan la pérdida de cohesión interna del suelo conduciéndolo de estado plástico a líquido y haciendo que se desplace y deposite en forma de abanico o mantos en la parte baja de las laderas o encauzados en quebradas. Puede alcanzar elevadas velocidades y por tanto mayor fuerza de arrastre.

**FRACTURA:** Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan

**DERRUMBE:** Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

**ESCARPE:** Superficie vertical o semivertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

**AGRIETAMIENTO:** Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

**METEORIZACIÓN:** Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

**MOVIMIENTO EN MASA** sin.: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

## ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

### A) SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANO (SAT)

El monitoreo y la comunicación son elementos muy importantes en el manejo de estados de alerta. Para nuestro caso debe establecerse un Sistema de Alerta Temprana (SAT) orientado a la prevención de amenazas por flujo de detritos (huaicos) cuyo detonante es la lluvia. Este SAT deberá estar integrado por personas y organizaciones equipadas que permitan manejar la amenaza y tomar medidas de respuesta inmediata ante la eventualidad de un desastre, por ello el objetivo principal del SAT deberá ser el de salvar vidas y reducir los daños, o en todo caso tomar medidas adecuadas para minimizar los daños. Es importante contar con buenos y modernos equipos de comunicación y organizarse para el mejor uso de los mismos. Se tendrá en cuenta la importancia de los datos de pluviómetros de la estación de Huayan y los reportes del SENAMHI como parte del ENFEN que es la institución encargada del pronóstico de las condiciones atmosféricas conducentes a eventos extremos asociados a El Niño.

#### Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario

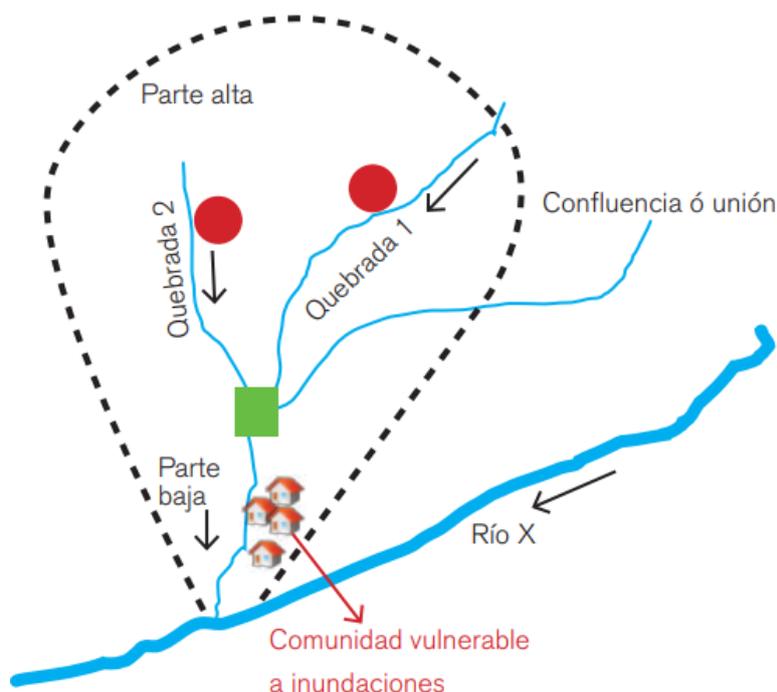
Esta herramienta suele ponerse en práctica con la finalidad de reforzar la capacidad de resiliencia frente a eventos de origen natural, en sectores vulnerables, donde se busca la participación activa de los pobladores. Esta herramienta se encuentra enmarcada conceptualmente dentro de las estrategias de preparación ante desastres, ya que constituye un mecanismo sencillo de fácil comprensión y manejo que le permite a la población obtener información y tomar decisiones anticipadas ante la ocurrencia de un evento con efectos adversos. Es un sistema sencillo que se caracteriza por el uso de equipos de bajo costo y de fácil manejo, operados por miembros de las comunidades, tanto en las componentes de observación y monitoreo del fenómeno como en la comunicación de la alerta.

Esta herramienta fue concebida para ayudar a reducir el riesgo presente en sectores vulnerables, ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos excepcionales (El Niño), ya que permiten salvar vidas, reducir las pérdidas de bienes, ganar tiempo para la respuesta y hacer posible que las autoridades municipales y la población tomen precauciones específicas, antes de que suceda un evento potencialmente dañino, como inundaciones, aludes torrenciales o movimientos de masa. Por ello la imperiosa necesidad de registrar y difundir datos pluviométricos e hidrológicos que brinden información anticipada a estas comunidades, sobre la posible ocurrencia de estos eventos, con el fin de avisar tanto a la población vulnerable, como a los organismos competentes para ejecutar respuestas en tiempo oportuno.

El sistema de alerta temprano comunitario puede estar basado en los siguientes componentes primordiales:

- **Componente comunitario:** Corresponde a la capacitación de los pobladores del sector afectado, mediante el fortalecimiento de sus capacidades para la prevención, preparación, respuesta, monitoreo y la comunicación de alerta como parte de su conducta cotidiana y en situación de emergencia. Para ello se debe buscar la integración de los participantes con los organismos institucionales involucrados en la gestión de riesgo de desastre.
- **Componente de monitoreo y medición:** corresponde a la medición del factor desencadenante de la ocurrencia de peligros geológicos, en este caso del incremento de precipitaciones, para ello se puede considerar la instalación de pluviómetros en la parte alta y media de la quebrada Huarequeque o mediante la obtención de datos pluviométricos (en tiempo real) de la estación Huayán operada por el SENAMHI, de igual manera se debe considerar la información del ENFEN, frente al pronóstico de la ocurrencia de EL Niño, esto permitirá categorizar los niveles de alerta temprana.

- Componente de comunicación: comprende la instalación de sirenas (o diferentes tipos de alertas con sonido intermitentes y constantes de gran alcance que ponga en atención a los pobladores del sector Huayan), de igual manera pueden usarse sistemas de radio portátiles que permitan la comunicación desde la quebrada hasta el sector urbano de Huayán (operado por pobladores) y los entes correspondientes a la gestión de riesgo de desastres.
- Componente de evacuación: una vez lanzada la alerta, la población debe ser evacuada a lugares previamente acondicionados, libre de la influencia de los eventos.



**Figura 29.** Esquema básico de estaciones de monitoreo en un SAT Tomado de <http://www.rimd.org/advf/documentos/4ce3f9086d6db.pdf>

## MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA EL CONTROL DE FLUJO DE DETRITOS (HUAICOS)

Dentro de la alternativa para el control de huaicos se encuentran las medidas estructurales, son aquellas medidas tácticas o ingenieriles, que se encuentran orientadas a la construcción de obras o métodos manuales ejecutados por el hombre, con el objetivo de prevenir o mitigar los desastres ocasionados por el huaico. Dentro de las medidas se puede encontrar:

### 1. Medidas alternativas para la mitigación:

Estas medidas básicamente tienen como objetivo principal controlar o mermar los efectos que producen los huaicos, para la protección de las zonas de deyección que generalmente son las comunidades cercanas a las quebradas activas. Y los cuales pueden ser:

- **Muros de Mampostería en Piedra (piedra seca):** sirven para frenar la velocidad del agua y a la vez conseguir condiciones favorables para el establecimiento de la vegetación permanente o defender zonas críticas en donde no cabe ningún otro sistema de protección.

En las rocas, las diaclasas o fracturas propias de su origen presentan caras planas y llanas con diversas formas, desde un paralelepípedo hasta un cubo. Por lo tanto, sería las más adecuadas para ser empleadas la construcción de muro de mampostería en piedra o también llamados pircas.

Para la construcción es necesario la pirca seca sin mortero, que es altamente permeable por estar formada por bloques y fragmentos de rocas que dejan espacios vacíos del orden de 10% al 30 % en las mejores construidas. Estos conductos funcionan como drenes impidiendo la formación de presión por acumulación de agua en su lado posterior.

Las pircas se comportan como elemento asísmico. Durante el movimiento de la energía que transmite la onda sísmica es absorbida por las fuerzas de fricción generadas entre las caras de los bloques de los muros cuando entran en contacto. Esta es la razón por las que no han fallado en comparación de los muros de concreto de mayor superficie de fricción.

De acuerdo a las consideraciones y resultados de estudios anteriores, se deben evaluar las propuestas con alturas (0.5 a 10 m) Martínez (1990,1992).

- **Diques de regulación en el cauce del huaico:** Los diques de regulación en el cauce son útiles para retener los sólidos que arrastra el flujo aluvional, disminuyendo la masa y velocidad del flujo huaico, al impedir la erosión de fondo del cauce.

Pueden ser construidos de piedra con solo un 5% en volumen de mortero añadido al volumen total, de esta manera se puede mejorar la resistencia y durabilidad.

Disponen de un vertedero central para evitar socavación lateral de los apoyos en la sección. Es recomendable construir los diques separados cada 25 o 50 metros, dependiendo el grado de riesgo que presenta la zona (García, 2016).

- **Dique de control de cárcavas:** Los diques son barreras que cruzan un curso de agua, para controlar el nivel y velocidad del agua. De esta manera resiste el desgaste del fondo de las quebradas por efecto del arrastre ejercido por el agua. Además de retener los sólidos del material que cae por la torrentera.

No es necesario emplear mortero como cementante de los bloques de rocas para la construcción de estas estructuras, lo que es importante es controlar los tamaños de roca a emplearse debiendo tener medidas aproximadas de 0.70 m en la base y de 0.3 en la corona.

El dique además contendrá un vertedero que orientará el flujo y elementos de protección de la base para evitar la erosión que se produciría por la caída del agua desde el vertedero. Se recomienda que el largo del vertedero sea de 2 m. y un alto de 0.5 m. La separación entre diques recomendable es de 50 m (García, 2016).

- **Barreras Dinámicas**

Esta es una alternativa nueva, que viene siendo estudiada y ya fue aplicado en países europeos. Aquí en Sudamérica fue presentada en el Curso de Patología Geotécnica en el 2009 por el ingeniero Javier Gonzales Gallego.

La barrera dinámica es el sistema de protección contra la caída de rocas, constituido por un obstáculo que se interpone a las posibles trayectorias de los desprendimientos, deteniendo los bloques y transformando la energía cinética que llevan dichos

bloques en descenso, en un trabajo de deformación, sin que se produzcan importantes deterioros en la misma y acumulando los materiales componentes del desprendimiento.

Las obras de protección de este tipo, se diseñan para soportar impactos de rocas de diferentes pesos, volúmenes, formas y velocidades. En general, estas estructuras han de ser diseñadas para soportar fuertes choques, en intervalos de tiempo muy pequeños.

#### - La tecnología SABO

SABO en japonés significa “control de la erosión” y con ese nombre se conoce a la tecnología que fue introducida en el Japón en 1860 por especialistas holandeses y posteriormente se perfeccionó en dicho país con apoyo de expertos suizos y alemanes. Actualmente el término SABO en Japón incluye todos los trabajos de prevención y mitigación de movimientos en masa, considerando la influencia futura de las medidas de control adoptadas con énfasis en su calidad (Ikeya, 1976; Tetra Tech, 2001; Wright, 1999).

Los métodos de trabajos SABO han sido clasificados históricamente en dos grandes grupos de obras: en ladera y obras de control de torrentes (Ikeya, 1976).



**Figura 30.** Represa SABO para el control de flujos de detritos en Minami-Aso Village (Kumamoto). Nótese el gran tamaño de la misma (Foto: S. Villacorta, 2015).

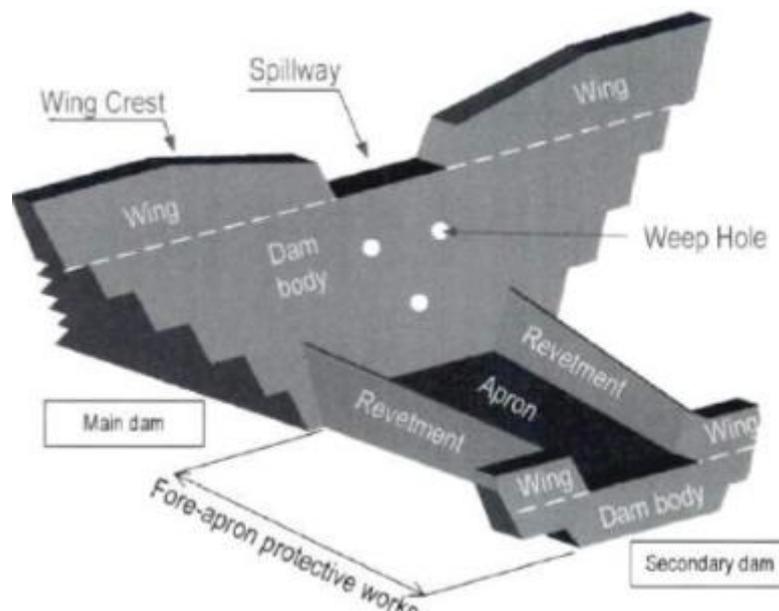
## Las presas SABO

Son estructuras que permiten estabilizar los márgenes de cauces de quebradas de fuerte pendiente en las cuencas altas y medias, deteniendo los grandes bloques movilizados por flujos de detritos y eventos similares (avalanchas, etc.). El principal beneficio de una presa SABO radica en su funcionamiento ya que permite atrapar los sedimentos que bajan por el cauce activo y, una vez colmatada esta, se produce un cambio en la pendiente del cauce que se traduce en la disminución de la fuerza de futuros eventos. Por consiguiente, disminuye la velocidad de transporte de materiales, lo que incide en una menor erosión que protege frente a nuevos eventos (Mizuyama & Mizuno, 1997).

Están construidas principalmente de “suelo-cemento” (cemento ciclópeo con material del sitio) y tienen los siguientes componentes:

- Cuerpo de la presa
- Muros laterales (aguas abajo)
- Piso de fondo
- Contra-presa
- Agujeros disipadores de energía.

El cuerpo principal permite el almacenamiento de sedimentos, lo que poco a poco va disminuyendo la pendiente del río. Los muros unen la presa con la contra-presa. El piso de fondo protege a la presa contra la caída del agua e impacto de los sedimentos. La contra-presa disminuye la energía del agua y permite la formación de un colchón amortiguador hidráulico. Las perforaciones en el cuerpo principal alivian la presión hidráulica que tiende a socavar la contra-presa.



**Figura 31.** Modelo de presa tipo SABO (Tomado de: Ikeda, 2015)

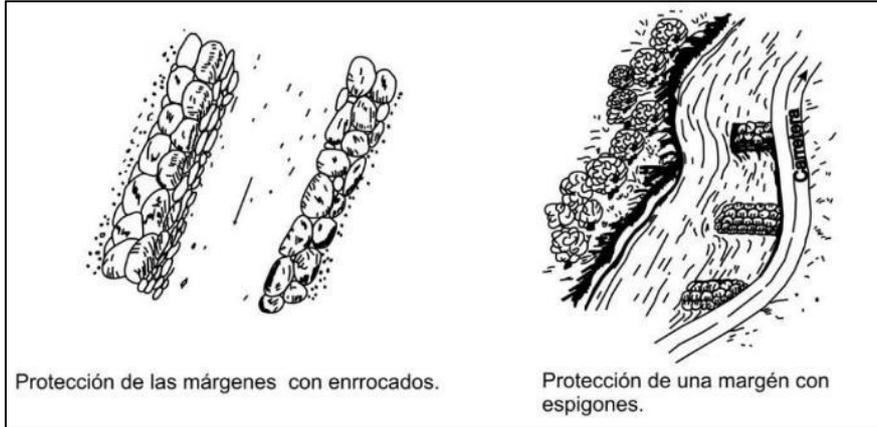
El diseño de estas presas, considerando la colmatación de sedimentos, es tal que no necesita un proceso de limpieza constante. La aplicación de modelos numéricos permite la selección del modelo de presa, así como planificar el proceso de supervisión (Mizuyama & Mizuno, 1997)

## 2. Otras obras de mitigación para huaicos

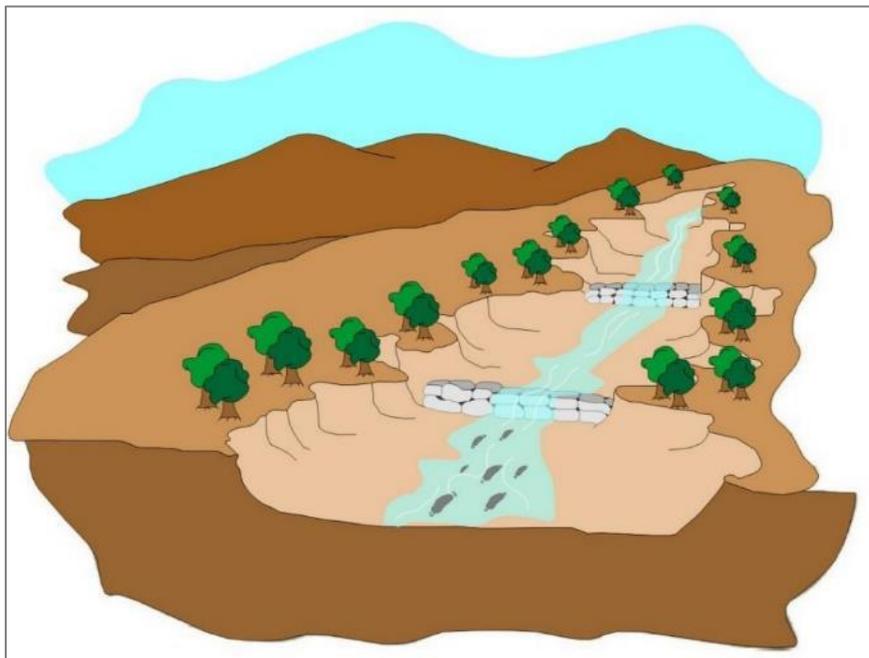
Estas medidas de mitigación deben emplearse en quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y transportar amplios volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sean posibles, las medidas que se proponen a continuación

- Encauzamiento del canal principal de los lechos fluviales secos, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes (figura 32). Considerar siempre que estos lechos fluviales 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.
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 33).
- La construcción de obras e infraestructuras que crucen estos cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máxima crecidas registradas, que permitan el libre paso de huaicos, evitándose obstrucciones y represamientos, con posteriores desembalses más violentos.
- Realizar la construcción de presas 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.
- Evitar en lo posible la utilización del lecho fluvial como terreno de cultivo que permita el libre discurrir de los flujos hídricos.
- 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.

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 32.** Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.



**Figura 33.** Presas transversales a cursos de quebradas.