

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7065**

# **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN LA QUEBRADA ZAPARO**

Región Moquegua

Provincia Ilo

Distrito Pacocha



JUNIO  
2020

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
1.1 Metodología del trabajo .....	2
1.2 Objetivo del estudio.....	2
<b>2. ASPECTOS GENERALES</b> .....	3
2.1 Ubicación y accesibilidad .....	3
<b>3. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	4
3.1 Súper unidad Ilo.....	4
3.2 Depósitos aluviales (Q-al2).....	4
3.3 Depósitos aluviales (Q-al1).....	4
3.4 Depósitos fluviales (Q-fl).....	4
<b>4. ASPECTOS GEOMORFÓLOGICOS</b> .....	5
4.1 Unidad de Colinas y lomadas.....	5
4.2 Unidad de piedemonte .....	5
<b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	7
5.1. Características del huaico del 23 de enero del 2020.....	10
<b>6. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN LA QUEBRADA ZAPARO</b> .....	14
<b>7. ZONAS AFECTADAS EN BASE A LA SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICO) EN LA QUEBRADA ZAPARO</b> .....	15
<b>8. MEDIDAS CORRECTIVAS</b> .....	16
<b>CONCLUSIONES</b> .....	18
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	19
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	20

## RESUMEN

La quebrada Zaparo, ubicada en el distrito de Pacocha, provincia de Ilo, departamento de Moquegua, de muy alta susceptibilidad a generar flujos.

En el área en mención, afloran unidades litoestratigráficas que van desde las más antiguas correspondientes a secuencias del Jurásico, hasta depósitos cuaternarios. Las unidades litoestratigráficas son: la Súper Unidad Intrusiva de Ilo, También se aprecian depósitos recientes de tipo aluviales y fluviales.

La zona evaluada se encuentra sobre geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional (unidad de colinas y lomadas), así como también sobre geoformas de carácter depositacional y agradacional (unidad de piedemonte).

El peligro geológico en la zona evaluada son flujos de detritos (huaicos), está condicionado por la naturaleza litológica de la zona, pendiente de las laderas y la configuración geomorfológica.

En las laderas de la quebrada Zaparo se observó procesos de erosiones de laderas, que aportan material suelto a la quebrada Zaparo.

El flujo de detritos (huaico) del 23 de enero, tuvo como factor desencadenante la lluvia extraordinaria que se dio el mismo día en la cuenca media - alta de la quebrada Zaparo. Las condiciones geológicas, como roca de mala calidad, material suelto sobre la quebrada y pendientes de las laderas de la quebrada, entre 40° y 60°, hace de esta zona susceptible a movimientos en masa. Por las características geológicas, la quebrada Zaparo es considerada como de PELIGRO ALTO y ZONA CRÍTICA POR HUAICOS.

La infraestructura urbana que se ubica en el cauce y parte baja de la quebrada Zaparo fue afectada por el huaico del 23 de enero principalmente la calle Los Álamos, Ciudad Jardín, donde causó daños a una piscina, una cancha de grass sintético, una zona de recreación y un parque recreativo.

Se debe evitar construir infraestructura alguna en el cauce de la quebrada Zaparo; además, plantear la construcción de un canal para encauzar el agua y flujos de detritos (huaicos) provenientes de la quebrada Zaparo. Así mismo, es importante que la autoridad local pertinente emita ordenanzas para prohibir la construcción de viviendas en el cauce actual y en cauce antiguo de la quebrada Zaparo. Por ningún motivo se debe continuar y permitir la expansión urbana en esta zona.

## 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 ACT-7 "EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS A NIVEL NACIONAL, en la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

El alcalde distrital de Pacocha, mediante el oficio N° 061-2019-A-MDP, de fecha 16 de octubre del 2019, solicita una evaluación técnica en la quebrada Zaparo, ubicado en el distrito Pacocha, provincia Ilo, región Moquegua. Para lo cual se delega a los ingenieros, Yhon Soncco, Jessica Vela y David Prudencio; atender dicha solicitud, la misma que se atendió con fecha 04 de febrero del presente año.

### 1.1 Metodología del 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 de los años 2018 – 2019.

#### 1.1.2. Trabajos de campo

El trabajo de campo se realizó en 2 días, donde se elaboró el cartografiado a detalle de peligros geológicos.

#### 1.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en elaborar mapas geológicos y de peligros geológicos para la zona de estudio. 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. ASPECTOS GENERALES

### 2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se localiza en el distrito de Pacocha, provincia Ilo y departamento de Moquegua (figura 1). La zona es accesible desde Ilo (Moquegua) por la carretera asfaltada Ilo - Cochachacra (Arequipa). El viaje dura aproximadamente 30 min.

Tabla 1: Distancia y tipo de vía para acceder al sector consultado

Tramo		Km	Tipo de vía	Duración
Ilo	Pueblo Nuevo	4.6	asfaltada	10 min
Pueblo Nuevo	Quebrada Zaparo	5.8	afirmada	20 min

Tabla 2: Coordenadas geográficas de las zonas de estudio

Zonas de estudio	Coordenadas
Quebrada Zaparo	– 17°35'47.16"S – 71°18'32.73"O

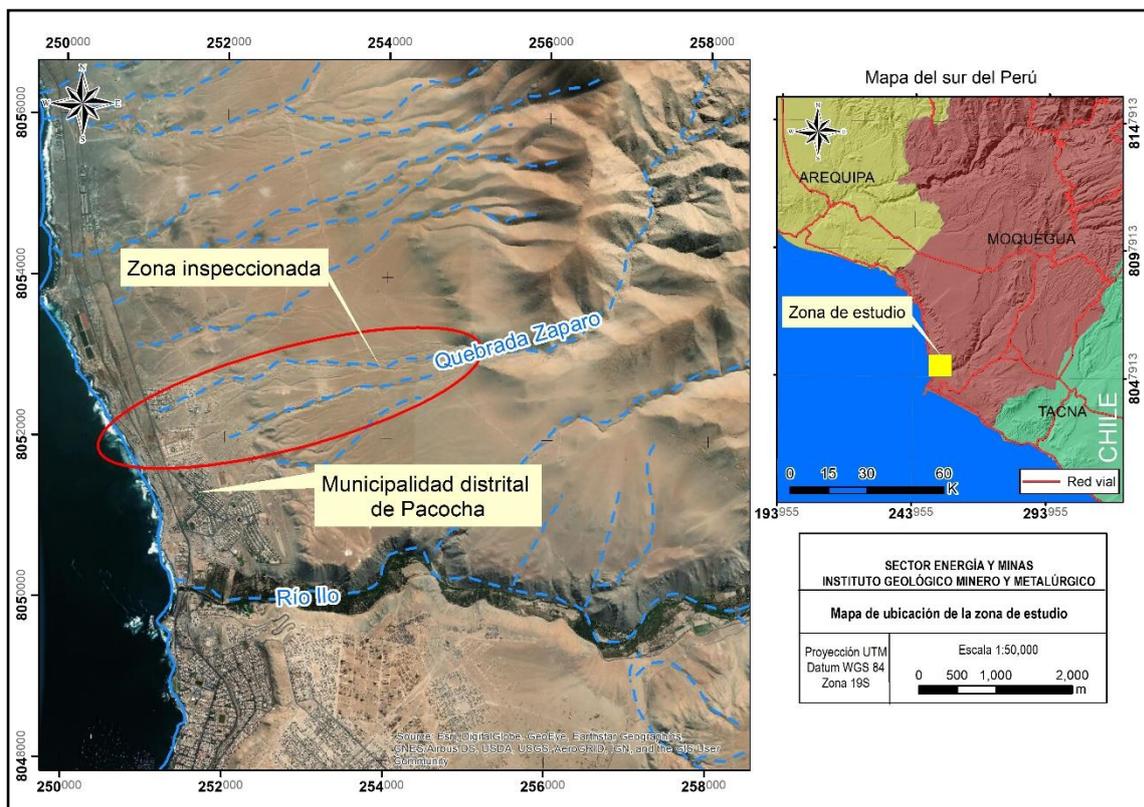


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Las unidades litoestratigráficas más antiguas en la quebrada Zaparo, se formaron durante el Jurásico Superior y las más recientes durante Holoceno. Están representadas por rocas ígneas, sobre las cuales se aprecian depósitos cuaternarios (figura 2).

#### 3.1 Súper unidad Ilo

Esta unidad corresponde a cuerpos de origen magmático compuesto principalmente por granodioritas con hornblenda y dioritas del Cretáceo inferior, el cual posee una edad de 112 Ma datados con el método Rb/Sr y 103 Ma con el método K/Ar (Beckinsale et al., 1985).

En la zona de estudio está súper unidad aflora en la parte alta y media de la quebrada Zaparo, en la primera se tienen granodioritas de hornblenda (Ki-il/gd-h) y en la segunda dioritas (Jim-pc/di).

Esta súper unidad intrusiva, aporta material erosionado en forma de arenas al cauce de la quebrada Zaparo, también es susceptible a generar desprendimiento de bloques desde las partes altas, lo cual podría generar pequeños encausamientos de las partes altas de la quebrada Zaparo.

#### 3.2 Depósitos aluviales (Q-a12)

Está constituida principalmente por conglomerados con clastos subredondeados en matriz arenosa, forma un abanico aluvial de la quebrada Zaparado, así como en las partes bajas formando el piedemonte aluvial.

Esta unidad cuaternaria, representa una zona de acumulación de materiales acarreados desde las partes altas, debido a la matriz arenosa. Estos depósitos son susceptibles a ser removidos y ser incorporados en los flujos de detritos que descienden por el cauce de la quebrada Zaparo,

#### 3.3 Depósitos aluviales (Q-a11)

Es una unidad que está constituida principalmente por conglomerados con matriz areno-limosa. Afloran al sur del río Ilo, rellenando las partes bajas del piedemonte aluvial.

Este depósito no representa ningún peligro para la quebrada Zaparo, debido a que aflora a más de 3 km de distancia a dicha quebrada.

#### 3.4 Depósitos fluviales (Q-fl)

Es una unidad que está constituida principalmente por gravas y arena en el valle del río Ilo, rellenando las partes bajas. Es de fácil remoción.

Este depósito no representa ningún peligro para la quebrada Zaparo, debido a que aflora a más de 2 km de distante a dicha quebrada.

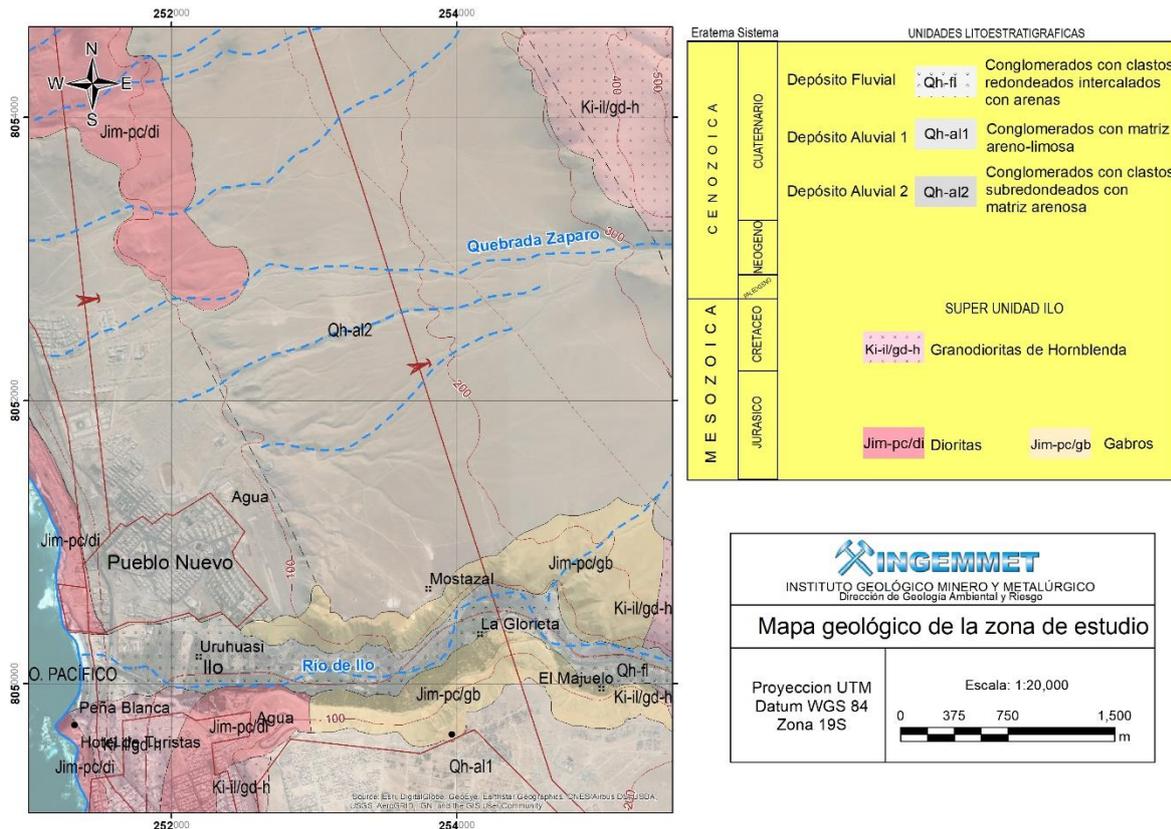


Figura 2. Mapa geológico del sector Pacocha, tomado del cuadrángulo de Ilo, Hoja 36-t-IV.

#### 4. ASPECTOS GEOMORFÓLOGICOS

La zona evaluada se encuentra sobre geformas de carácter tectónico-degradacional y erosional (unidad de colinas y lomadas), así como también sobre geformas de carácter depositacional y agradacional (unidad de piedemonte).

##### 4.1 Unidad de Colinas y lomadas

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 9° (FAO, 1968), conforman alineamientos de carácter estructural y denudativo, que en conjunto ocupan un área de 17.24% dentro de las regiones. Esta unidad se ubica próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de las estribaciones andinas. En la zona evaluada se asocia litológicamente a rocas de tipo intrusivo.

##### Subunidad de colinas y lomadas en rocas intrusivas (RCL-ri)

En la zona de estudio corresponde a afloramientos de rocas intrusivas conformada por intrusiones de dioritas, gabros y granodioritas de hornblenda; se disponen de forma irregular y alargadas, con cimas algo redondeadas en algunos casos, y laderas de pendientes bajas a medias en la quebrada Zaparo (figura 3).

##### 4.2 Unidad de piedemonte

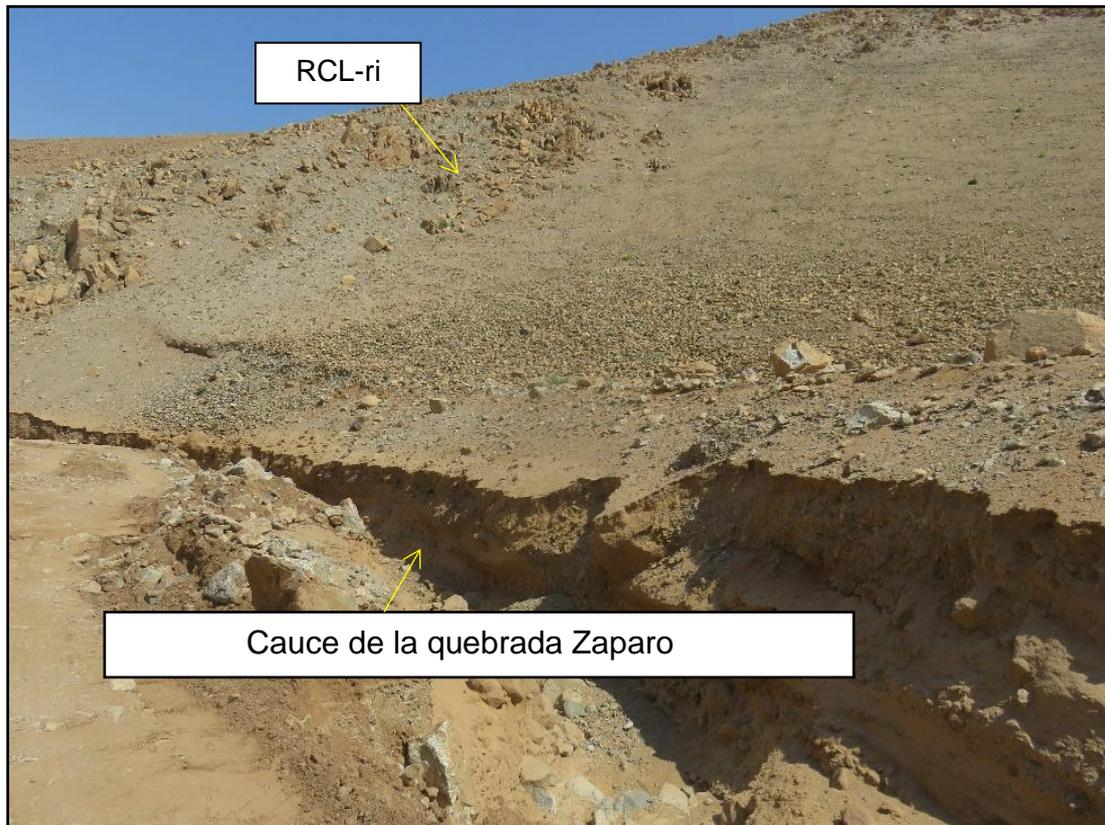
Corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

### **Subunidad vertiente o piedemonte aluvial (V-al)**

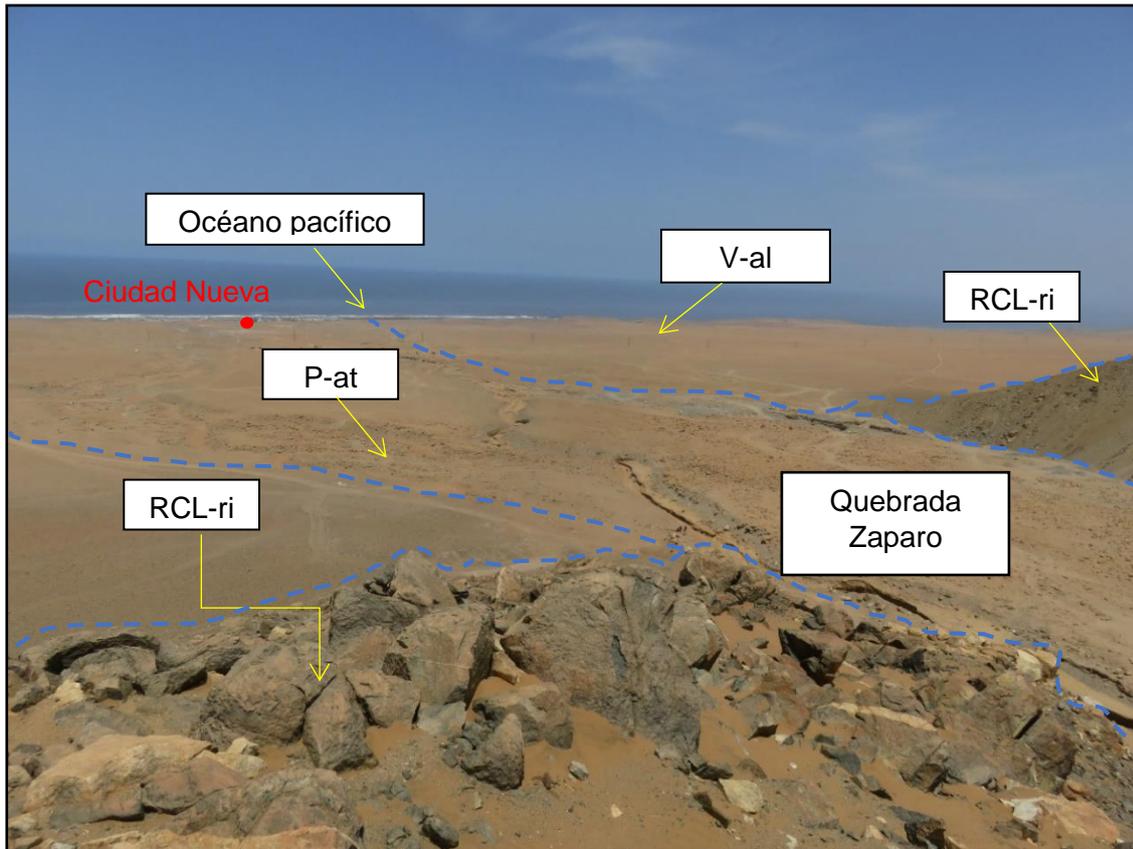
Son superficies inclinadas, constituidas por una sucesión de abanicos aluviales o deluviales que descienden de las colinas y montañas. Estos abanicos están constituidos por material inconsolidado, consistente en grava mezclados con finos de limo y arena, es muy poroso, el material se encuentra distribuido caóticamente. Este tipo de geformas se aprecian en las zonas laterales de la cuenca baja de la quebrada Zaparo (figura 4).

### **Subunidad vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)**

Es una planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional. En la zona de estudio está representado por el abanico aluvial de la quebrada Zaparo (figura 4).



**Figura 3.** Subunidad de colinas y lomadas en rocas intrusivas (RCL-ri)



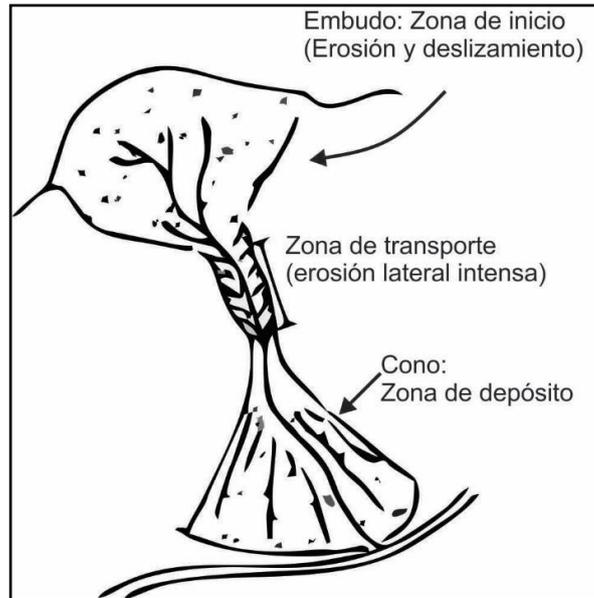
**Figura 4.** Muestra colinas y lomadas en rocas intrusivas (RCL-ri), vertiente o piedemonte aluvial (V-al), vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at), en la zona de estudio.

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El principal peligro geológico que presenta la quebrada Zaparo son los huaicos, que ocurren en temporadas de intensas lluvias, principalmente entre diciembre y marzo.

Los huaicos pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos y originarse a partir de otros procesos, como deslizamientos o desprendimientos de rocas (Varnes, 1978). Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor.

En este tipo de procesos muestra una zona de inicio que forma un embudo, una zona de transición o tránsito y una zona de deposición en abanico como se muestra en la figura 5, (Bateman et al., 2006).



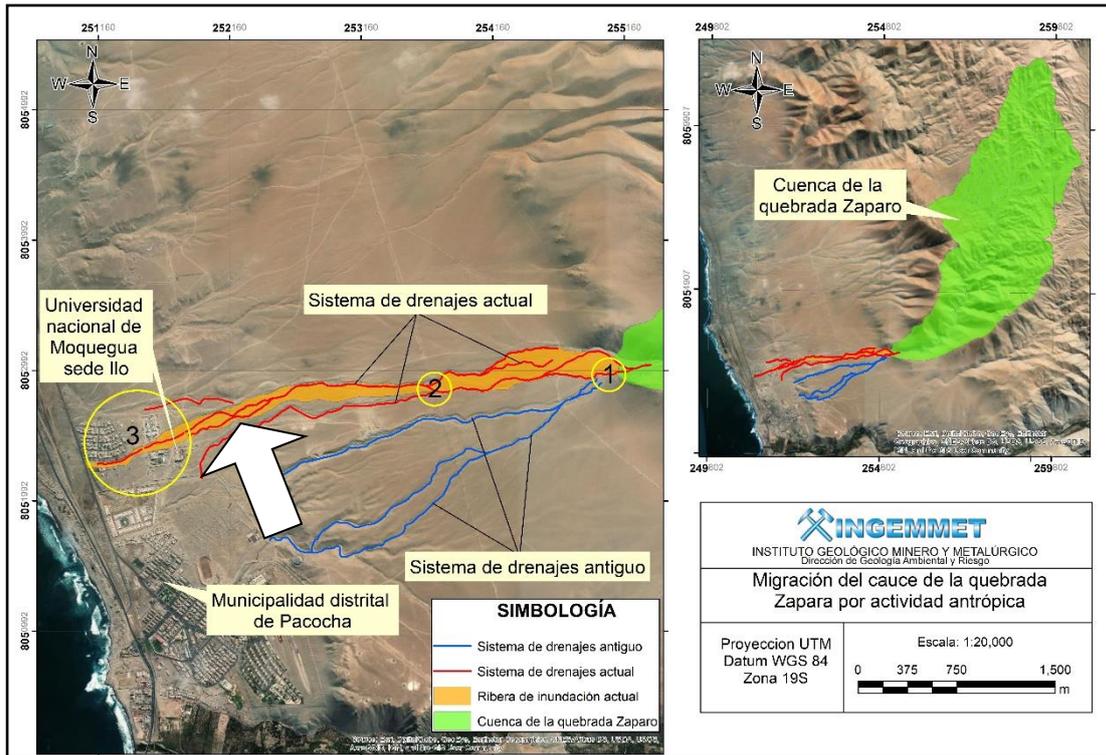
**Figura 5.** Esquema de generación de un flujo (Modificado de: Bateman et al., 2006)

En la parte alta del distrito de Pacocha nace la quebrada Zaparo, la cual en su trayectoria hacia el océano Pacífico cruza por la capital del distrito (Pueblo Nuevo). En base a las imágenes satelitales, huellas de flujos de detritos dejadas en los drenajes antiguos, y acumulación de depósitos aluviales en los antiguos cauces, se deduce que el cauce principal de la quebrada Zaparo ha migrando hacia el norte de Pueblo Nuevo. Aparentemente esta migración es producto de la actividad antropogénica en la parte alta de Pacocha (figura 6).

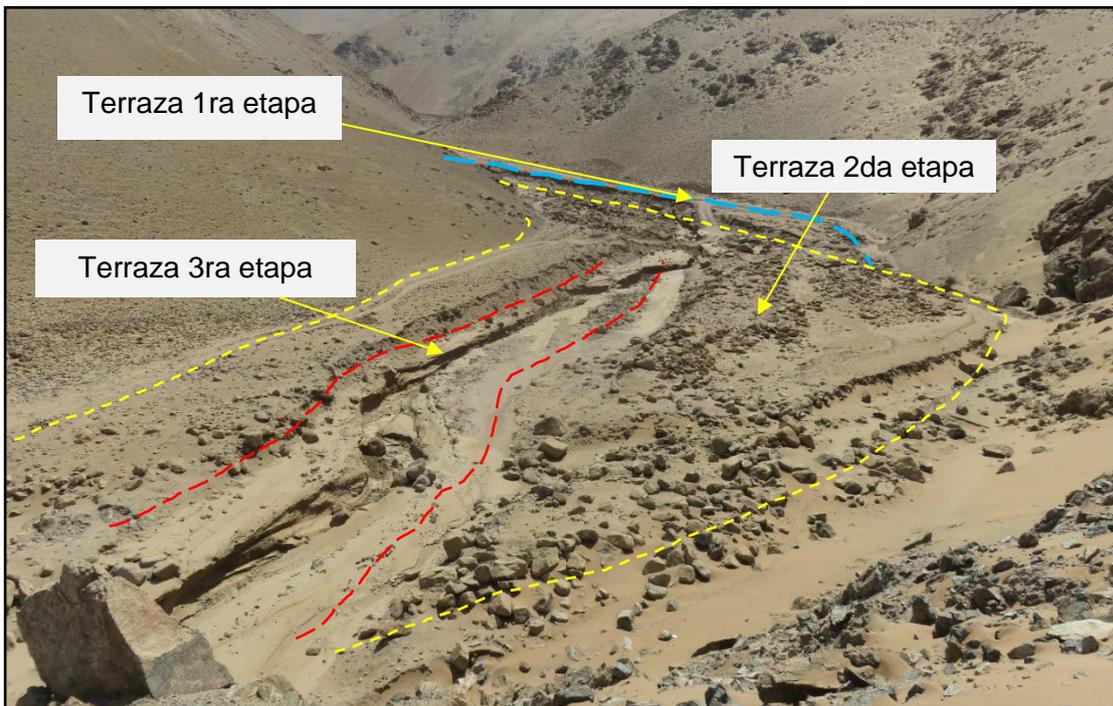
Se identificó tres zonas críticas:

- a) **Zona crítica número 1.** En esta zona el cauce de la quebrada Zaparo, cambia de dirección hacia el norte del sistema de drenajes antiguos.
- b) **Zona crítica número 2.** En esta zona el cauce de la quebrada Zaparo continúa cambiando de dirección hacia el norte, dejando atrás un drenaje reciente.
- c) **Zona crítica número 3.** Esta zona está a la altura del área urbana Pueblo Nuevo. En esta zona se ubica la Universidad Nacional de Moquegua sede Ilo y las viviendas de las urbanizaciones Country Club y las Terrazas en Ciudad Jardín, que serían las zonas más afectadas ante la ocurrencia de huaicos.

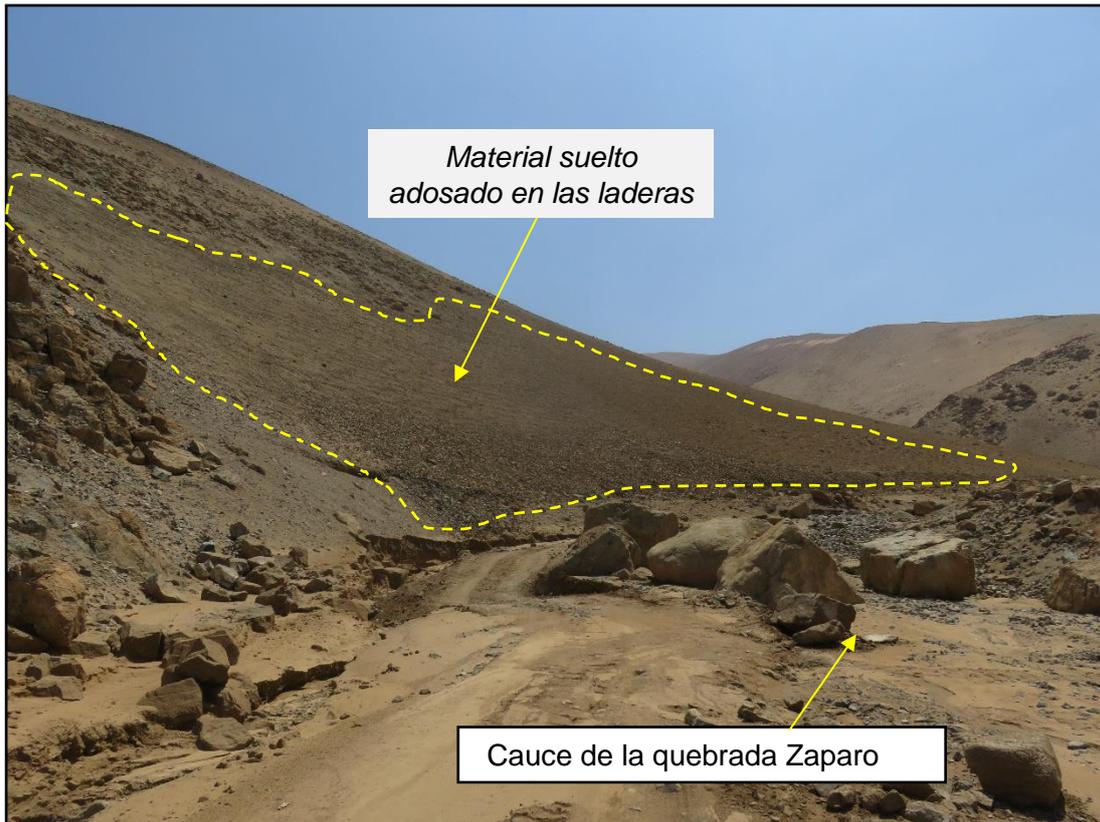
Es importante mencionar que en la quebrada Zaparo se han identificado hasta tres secuencias potentes de flujos de detritos (huaicos), figura 7. Asimismo, se ha observado presencia de abundante material suelto adosado en las laderas de la cuenca media-alta de la quebrada Zaparo (figura 8), cuyas laderas tiene pendientes entre 40° y 60°.



**Figura 6.** Migración del sistema de drenaje hacia el norte por la actividad antrópica



**Figura 7.** Terrazas de flujos de detritos antiguos en la quebrada Zaparo



**Figura 8.** Material suelto adosado en las laderas de la quebrada Zaparo

### 5.1. Características del huaico del 23 de enero del 2020

El 23 de enero del presente año, una intensa lluvia con una precipitación de 18 mm, (fuente EOS, earth observatory system), generó un huaico en la quebrada Pacocha, (figura 9).

La parte alta del distrito de Pacocha es una zona árida y dispone de abundante material de origen eólico (materiales erosionados por acción del viento). Estos se encuentran adosados en el cauce y las laderas de las quebradas. Este material en contacto al agua de lluvia, pierde estabilidad, conllevando a la generación de flujos de lodo (huaicos) en la quebrada Zaparo, tal como pasó el 23 de enero.

En la parte baja de la cuenca de la quebrada Zaparo, se desarrolla minería no metálica, básicamente dedicada a la explotación de material de construcción (figura 10), donde el suelo es removido, ocasionando pérdida de resistencia; asimismo, el material de escombros es acumulado en el cauce de la quebrada. Lo mencionado anteriormente agrava la susceptibilidad a generar movimientos en masa en la quebrada Zaparo.

Los materiales acumulados en el cauce de la quebrada fueron incorporados en los flujos que descendieron por la quebrada Zaparo el 23 de enero, haciendo que el flujo tenga mayor volumen. El flujo al llegar a un dique o montículo de tierra (ubicado a 300 m en la parte alta de la urbanización Country Club) lo represó. Este flujo al romper el dique de represamiento, alcanzó mayor poder destructivo en la parte baja (figura 11).

El flujo de detritos al descender, removió rocas en su cauce, además incorporó a su volumen material de los antiguos movimientos en masa, generando de esta manera

mayor volumen del flujo, el cual movilizó gravas redondeadas, bloques de rocas entre 10 a 15%, con tamaños comprendidos entre 10 cm hasta 4 m, además de arenas.

Los factores condicionantes están ligados a la litología de la zona, la disponibilidad de material suelto relleno de las quebradas, el factor desencadenante para la ocurrencia de flujos son las precipitaciones excepcionales en la cuenca de la quebrada Zaparo.

### **Daños ocasionados**

El flujo de detritos (huaicos) afectó las siguientes infraestructuras urbanas: Urbanizaciones Country Club y las Terrazas, Ciudad Jardín, piscina, cancha grass sintético y ambiente de zonas de recreación; a unos 400 m aguas abajo, afectó un parque recreativo (figuras 12 y 13).

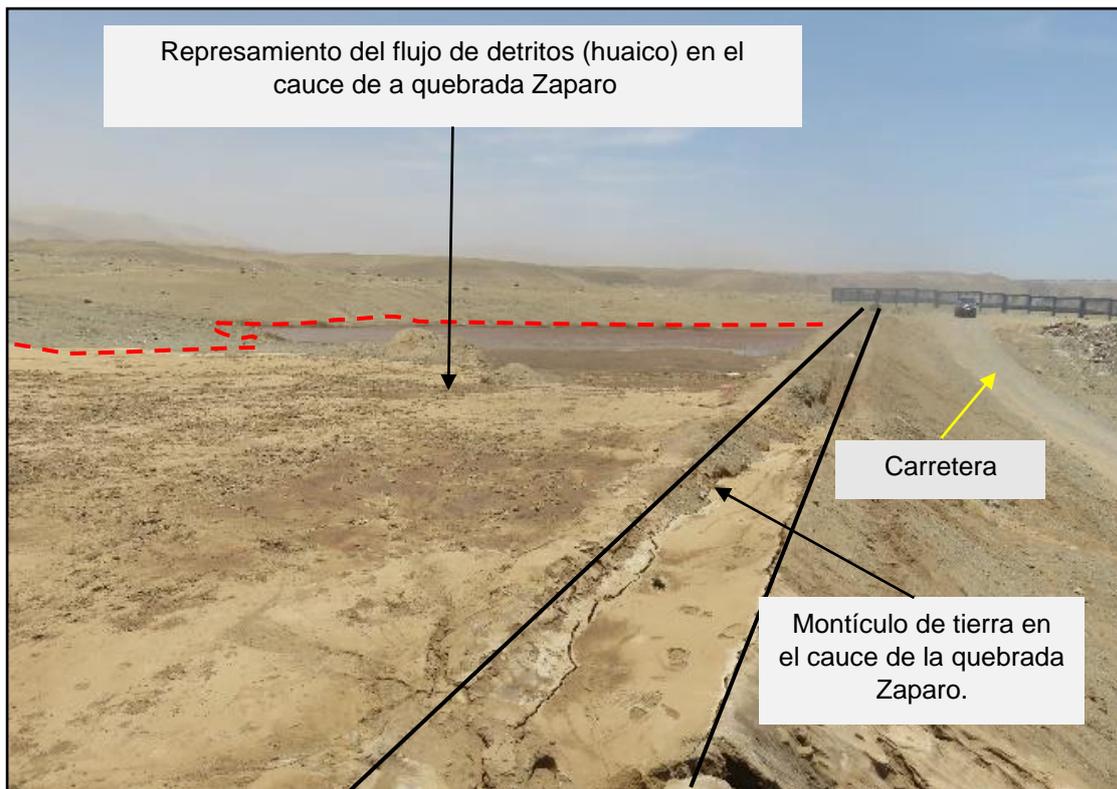
Así mismo, según el REPORTE PRELIMINAR N° 236 - 24/1/2020 / COEN - INDECI/10:40 HORAS, también fueron afectados otros dos puntos más, el primero a la altura del Km 226 de la carretera Costanera Norte en el frontis de la planta Pesquera Austral y un segundo punto a la altura del Km 213 de la carretera Costanera Norte control SENASA en el distrito de Pacocha, provincia de Ilo.



**Figura 9.** Muestra la huella dejada por el huaico el día 23 de enero



**Figura 10.** Muestra montículo de material de escombros en el cauce de la quebrada

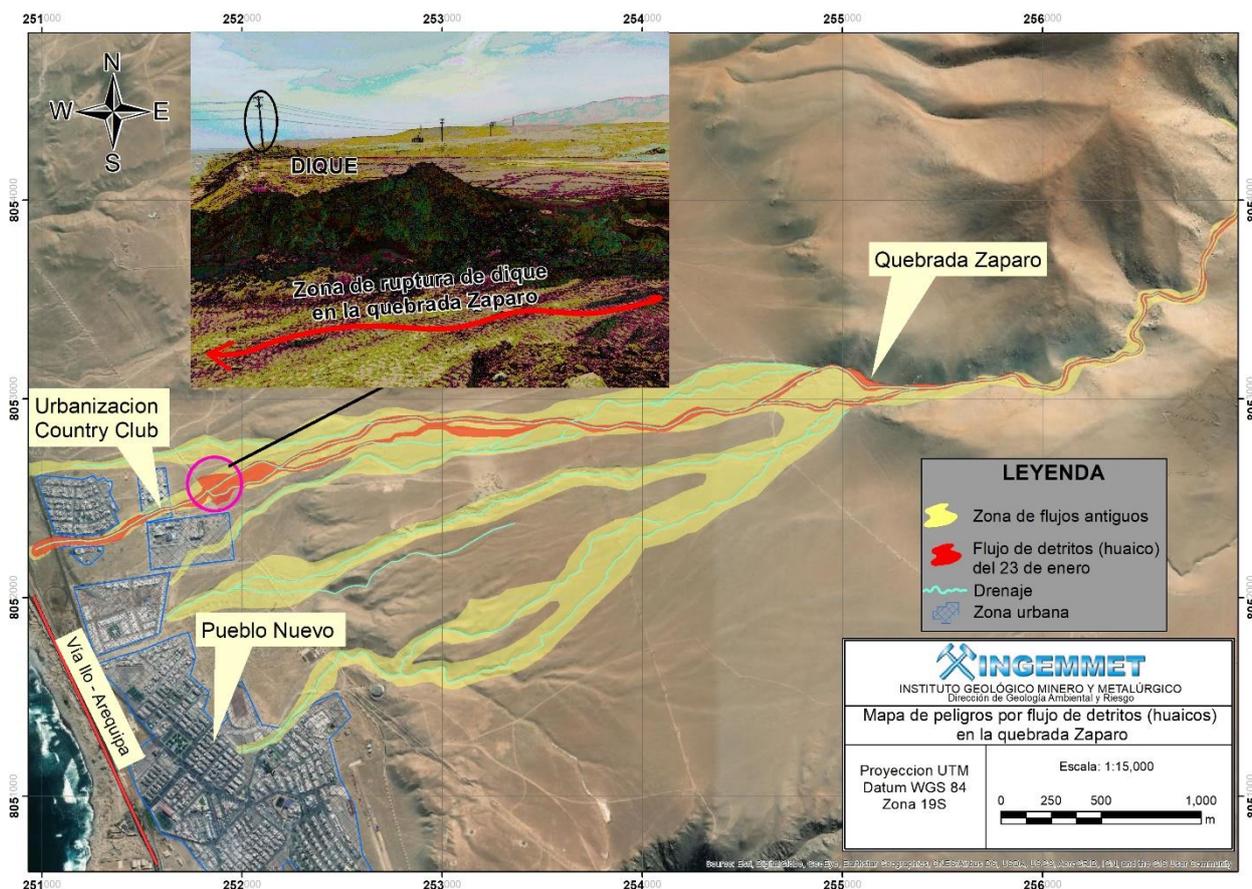


**Figura 11.** Muestra el represamiento del flujo del 23 de enero, debido a un dique o amontonamiento de tierra (el cual se realizó para preservar la carretera afirmada que cruza este sector)



**Figura 12.** Muestra infraestructura urbana construida en la parte baja del cauce de la quebrada Zaparo. Los cuales fueron afectados por el flujo de detritos del 23 de enero del presente año.

La disponibilidad de material de suelos arenosos adosados en las laderas de la quebrada en la cuenca media, la actividad antropogénica en cuenca media - baja, además de la carencia de un canal que drene las aguas provenientes desde la parte alta de la quebrada Zaparo en la zona urbana de Pueblo Nuevo, hace esta zona de **PELIGRO ALTO**, frente a ocurrencias de huaicos (figura 13).



**Figura 13.** Muestra el mapa de peligros por flujos de detritos (huaicos) para la quebrada Zaparo y el dique o montículo de tierra, el cual represó el huaico en ese sector

## 6. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN LA QUEBRADA ZAPARO

Adicionalmente, en el presente informe se presenta la simulación de flujos de detritos (huaicos) para la zona evaluada. Se utilizó como base la data obtenida del Sistema de Datos e Información del Sistema de Observación de la Tierra (EOSDIS). La simulación se realizó sobre un DEM (modelo digital de elevación) con una resolución espacial de 12.5 m, el cual fue construido a partir de una imagen ALOS PALSAR de fecha 09-03-2011. También se utilizó un DEM con una resolución espacial de 6 m, construido a partir de una imagen SPOT estéreo de fecha 02-02-2014.

Para la simulación de flujos de detritos (huaicos), se empleó el método de simulación numérica código VolcFlow.

Para ello, se determinó un escenario por flujos de detritos, en base a cálculos de volúmenes, tomando en cuenta datos de precipitaciones, área de las zonas de generación flujos de detritos (huaico) en las microcuencas de la quebrada Zaparo, y un porcentaje de contenidos de agua y sólidos. Se consideró lo siguiente:

- La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Zaparo, posee un área aproximada de 18 260 869 m<sup>2</sup>.
- En base al valor de precipitación de 18 mm, tomados de EOS (Earth Observatory System), se consideró el siguiente volumen de flujos de detritos para la quebrada Zaparo:

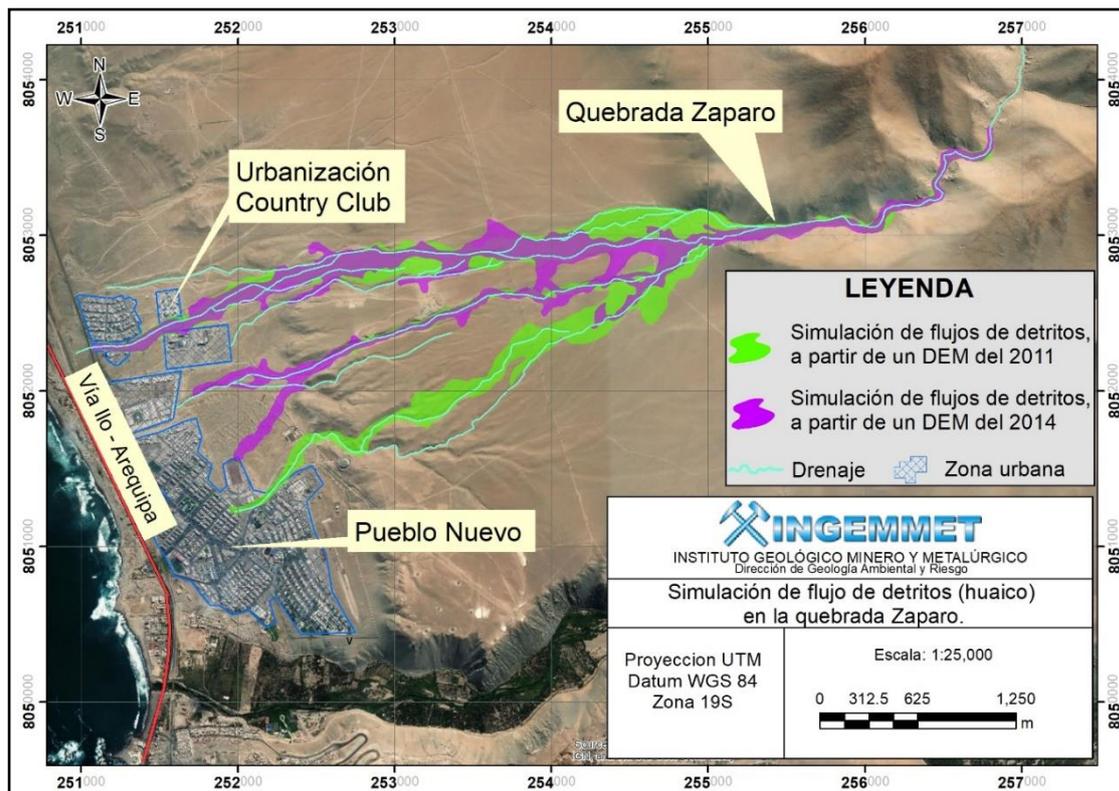
- Para el flujo de detritos (huaico) la quebrada Zaparo, se calculó un volumen de 700 000 m<sup>3</sup>

## 7. ZONAS AFECTADAS EN BASE A LA SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICO) EN LA QUEBRADA ZAPARO

En la simulación de flujos de detritos para la quebrada Zaparo, utilizando un volumen 700 000 m<sup>3</sup>, muestra que los resultados no son similares al evento ocurrido el 23 de enero del 2020. Esta diferencia es debido a que las imágenes a partir del cual se construyeron los DEMS utilizadas en este modelamiento, corresponden a los años 2011 y 2014 (figura 14). Durante esos años había poco o nada de actividad antropogénica en los drenajes antiguos de la parte alta de la quebrada Zaparo. Asimismo, la simulación de flujos en base a los DEMS del 2011 y 2014, muestra la migración del sistema de drenaje de la quebrada Zaparo, congruente a la explicación de la figura 6.

Mediante esta simulación, las zonas afectadas son:

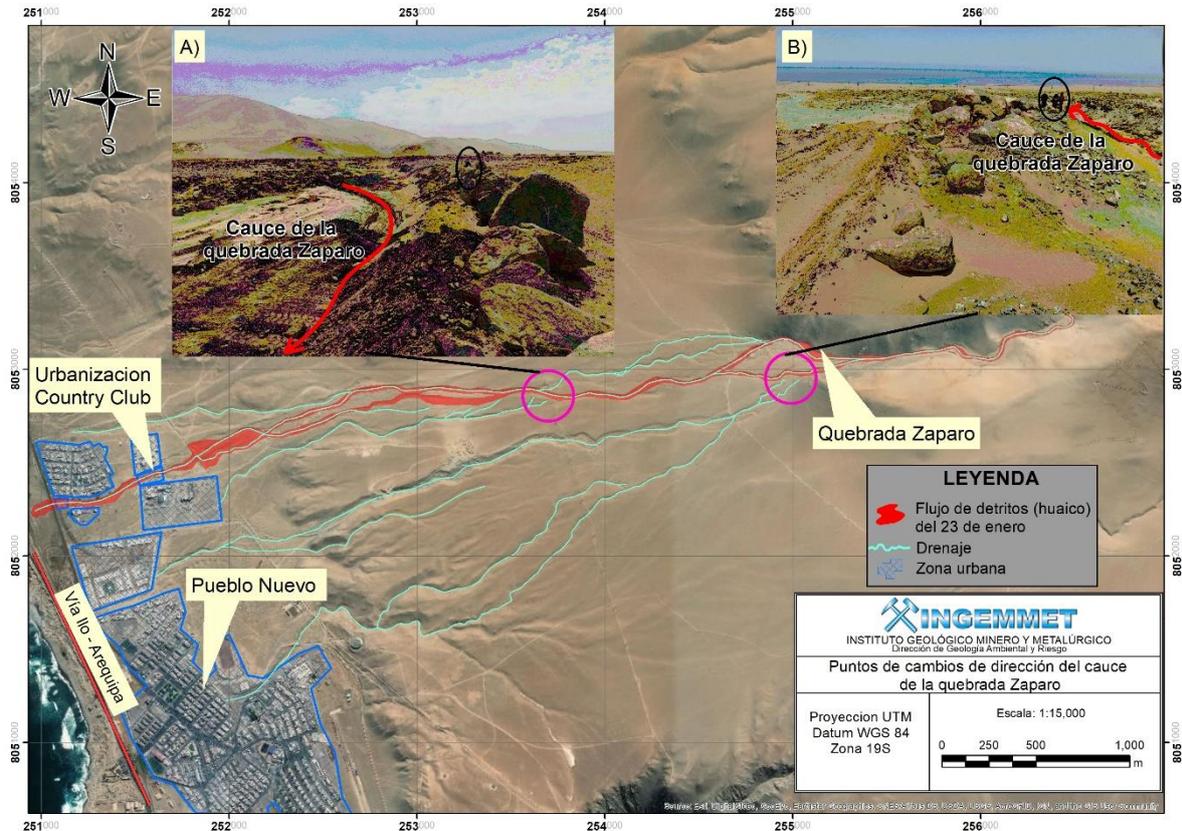
- Viviendas ubicadas en la parte alta de Pueblo Nuevo, donde se aprecia que el cauce natural del drenaje ha sido invadido por las viviendas.
- Instalaciones de la universidad nacional de Moquegua - UNAM - sede Ilo.
- Las urbanizaciones Country Club y las Terrazas, en Ciudad Jardín.
- Viviendas aledañas a la calle Los Álamos en Ciudad Jardín (figura 14).



**Figura 14.** Muestra la simulación de flujo de detritos (huaicos) en la quebrada Zaparo

La simulación de flujos de detritos mostrada en figura 14 (polígonos color verde y morado), corresponden a los antiguos drenajes de la quebrada Zaparo; que en base a imágenes satelitales y por lo evidenciado en campo se observó huellas de potentes flujos de detritos y acumulación de depósitos aluviales; indicando que esos son los drenajes naturales por los que normalmente discurría los flujos de detritos en tiempos históricos. Sin embargo, en la

margen derecha de la parte alta de la quebrada Zaparo (figura 15 B), se observó diques o montículos de tierra, que cambiaron la dirección del huaico del 23 de enero del 2020, este cambio fue probablemente producido por actividades antropogénicas.



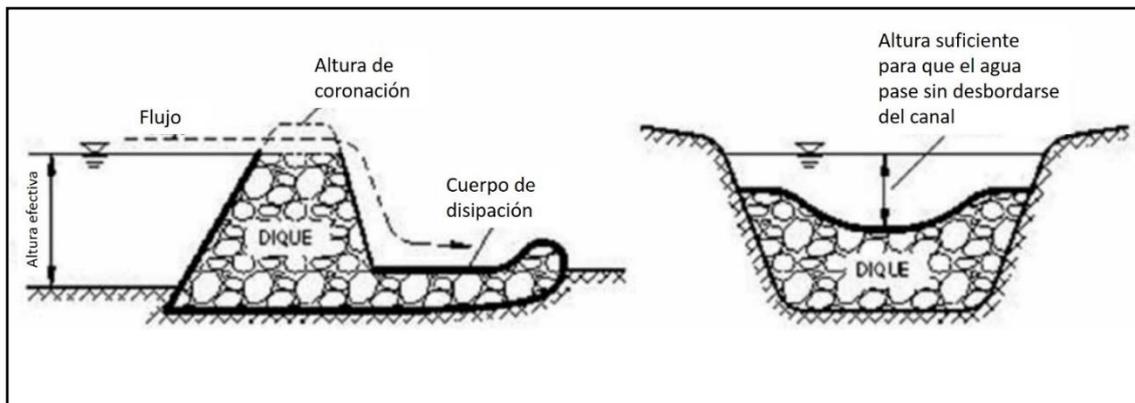
**Figura 15.** Muestra los flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Zaparo, ocurridos el día 23 de enero. Así como los diques o montículos de tierra en la margen derecha de la parte alta de la quebrada Zaparo, que cambiaron la dirección del huaico

## 8. MEDIDAS CORRECTIVAS

- Para la gestión local del riesgo de desastres establecer un plan de emergencia local o vecinal, con la ubicación de lugares de resguardo y vías de escape. Este plan debe ser socializado en la población para generar conciencia de los procesos que pueden afectarlos, así como cómo prevenir sus daños. Las capacitaciones pueden ser proporcionadas por la subgerencia de Defensa Civil de las Municipalidades competentes y el INGEMMET.
- Es importante que las autoridades trabajen en la normativa que prohíba la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas. Debe colocarse letreros de advertencia, con lemas referidos al grado de peligro en el que se encuentra los cauces de las quebradas en la zona. Es necesario además planificar la reubicación de las viviendas que se ubican actualmente en el cauce de las quebradas hacia sitios seguros.
- Tanto en el cauce actual y antiguo es necesario efectuar estudios geotécnicos y de ingeniería de detalle para canalizar adecuadamente los flujos que puedan descender por los cauces. Para saber las dimensiones de los canales, se deben hacer primero los modelos de avenidas usando caudales extremos de los últimos años. Esto permitirá construir medidas adecuadas para impedir el ingreso de los flujos hacia las

zonas urbanas. Estos modelos requieren datos de lluvias máximas en 24 horas para 30 años (como mínimo) para poder construir un buen pronóstico.

- Considerando los escenarios o simulaciones realizadas se debe elaborar escenarios futuros con una mayor cantidad de lluvias. Esto permitirá mejorar el diseño de la canalización y profundización de la quebrada.
- Es sumamente importante enfatizar en las 3 zonas críticas descritas en el capítulo 5, para la construcción de infraestructura de barrera para preservar el cauce actual de la quebrada Zaparo.
- Es recomendable que la municipalidad de Pacocha coordine y dirija el mantenimiento y limpieza del canal ante eventos de lluvia, con el fin de minimizar la cantidad de material que pueda incluirse al flujo, reduciendo así la intensidad del mismo.
- A pesar de que la quebrada Zaparo no presenta pendiente fuerte, se ha observado socavamiento de fondo del cauce de la quebrada, por ello es preciso disipar la energía del flujo y reducir el volumen de los materiales acarreados por el flujo; para ello es necesario conocer la cantidad de material que será trasladado por el flujo y con esa información construir estructuras transversales al eje del cauce, en forma de diques, orientados a la disipación de energía y la retención de la mayor cantidad posible de materiales, sólidos o líquidos, (figura 16).



**Figura 16.** Componente de un dique de retención (Gómez et al., 2011)

## CONCLUSIONES

1. El flujo de detritos (huaico) del 23 de enero, tuvo como factor desencadenante la lluvia extraordinaria que se dio el mismo día en la cuenca media - alta de la quebrada Zaparo. Las condiciones geológicas, como roca de mala calidad, material suelto sobre la quebrada y pendientes de las laderas (40° y 60°) de la quebrada, además de ser una zona árida, hace de esta zona susceptible a movimientos en masa ante lluvias extraordinarias.
2. Las infraestructuras urbanas de Pacocha se encuentran asentadas sobre el cauce actual y antiguo de la quebrada Zaparo. El huaico del 23 de enero afectó infraestructura urbana en la parte baja de dicha quebrada, principalmente en la calle Los Álamos, en Ciudad Jardín, donde causó daños a una piscina, una cancha de grass sintético, una zona de recreación y un parque recreativo.
3. Se evidencia una migración del cauce principal de la quebrada Zaparo hacia el norte, en la parte media - baja de dicha quebrada, el cual está directamente ligado a la actividad antrópica. Además, el cauce actual y antiguo de la quebrada Zaparo, han sido modificados y estrechados en su trayectoria, no tiene curso definido en la zona urbana del distrito de Pacocha.
4. Las laderas de la quebrada Zaparo en la cuenca alta, están conformadas por rocas intrusivas pertenecientes a la Súper unidad Ilo, compuesto principalmente por granodioritas y dioritas muy meteorizadas, donde se generan procesos de erosiones de ladera. Estos procesos generan material suelto que alimentan al cauce de las quebradas.
5. La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Zaparo, tiene un área aproximada de 18 260 869 m<sup>2</sup>. En base al valor de precipitación de 18 mm, tomados de EOS (Earth Observatory System), el flujo de detritos (huaico) ocurrido el 23 de enero del 2020 en quebrada Zaparo, tuvo un volumen de 700 000 m<sup>3</sup>.
6. Por las características geológicas de la quebrada Zaparo, se considera de **PELIGRO ALTO**; así mismo, es una **ZONA CRÍTICA POR HUAICOS**.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe evitar construir infraestructura alguna en el cauce de la quebrada Zaparo; además, encauzar el cauce de la quebrada, para que los flujos de detritos (huaicos) provenientes de la quebrada Zaparo, fluyan libremente y no causen daños. Para ello se tienen que realizar cálculos con lluvias extremas.
2. La autoridad local pertinente debe emitir ordenanzas para prohibir la construcción de viviendas en el cauce actual y antiguo de la quebrada Zaparo, por ningún motivo se debe permitir la expansión urbana en esta zona. Así como la delimitación de la franja marginal de la quebrada.
3. Reubicar las infraestructuras urbanas ubicadas en la parte baja, cauce actual de la quebrada Zaparo, por ser una zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa, como flujos de detritos (huaicos).
4. Es necesario mantener limpio el antiguo sistema de drenaje de la quebrada Zaparo, actualmente estos cauces fueron rellenos.
5. Junto con la canalización de la quebrada, se debe realizar una forestación.
6. Se debe considerar ejecutar un Sistema de Alerta Temprana colocando sensores que puedan advertir de la venida de un flujo, la gestión debería ser del municipio, para lo cual INGEMMET puede participar en su ejecución y capacitación.



Jessica Carolina Vela Valdez  
Ingeniera Geóloga  
CIP N° 215198



César Augusto Chacaltana Budiel  
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bateman, A., Medina, M, Steiner, F, Velasco, D. (2006). "Estudio Experimental sobre flujos granulares hiperconcentrados". XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela.pp. 1-10.

Beckinsale et al., 1985. Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar age determinations for the Coastal Batholith of Peru. In: Magmatism at a Plate Edge, the Peruvian Andes; Pitcher W.S., Atherton M.P., Cobbing E.J. & Beckinsale R.D. (eds), Blackie, Glasgow and Halsted Press, New York, 177-202.

Gómez, J., Taguas, E., Vanwalleghem, T., Giráldez, J., Sánchez, F., Ayuso, J., Lora, A., Mora, J. (2011). "Criterios técnicos para el control de cárcavas, diseño de muros de retención y revegetación de paisajes agrarios: manual del operador en inversiones no productivas". Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, 55, p.

Narvaes, S. (1964). Geología de los cuadrángulos de Ilo y Locumba (36-t y 36-u). Servicio de Geología y Minería. Boletín N° 7, Carta Geológica Nacional, n. 77, p.

Varnes, J. (1978). Slope movements types and processes. En: SCHUSTER, L. y KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.