

Informe Técnico N° A6829

PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA EL CEMENTERIO

Región Moquegua
Provincia Mariscal Nieto
Distrito Moquegua



YHON SONCCO
JESSICA VELA

AGOSTO
2018

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	2
2. GENERALIDADES	2
2.1 Trabajos anteriores	2
2.2 Objetivo	2
2.3 Ubicación y accesibilidad	2
3. GEOMORFOLOGÍA.....	3
3.1 Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)	3
3.2 Colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv).....	5
3.3 Terraza aluvial (Tmb-i).....	5
3.4 Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)	6
4. GEOLOGÍA	7
4.1 Formación Sotillo (P-So)	9
4.2 Formación Moquegua superior (PN-mo_s)	9
4.3 Formación Huaylillas (Nm-hu)	10
4.4 Depósitos aluviales (Qh-al).....	10
5. MORFOLOGÍA EN LA QUEBRADA EL CEMENTERIO	11
6. PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA	13
6.1 Huaicos y flujos de detritos	13
6.2 Erosión de laderas o cárcavas	16
7. MEDIDAS PREVENTIVAS EN LA QUEBRADA EL CEMENTERIO	17
8. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN LA QUEBRADA EL CEMENTERIO	18
8.1 Método de simulación numérica.....	18
8.2 Método de simulación numérica utilizando el programa LaharZ	19
8.3 Simulación de flujos de detritos (huaicos)	19
8.4 Zonas afectadas por flujos de detritos (huaicos).....	22
9. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS	26
CONCLUSIONES	27
RECOMENDACIONES.....	28
BIBLIOGRAFÍA	29
GLOSARIO.....	30

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. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines, y reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

El director de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Ambientales del Gobierno Regional de Moquegua, mediante oficio N° 230-2018-G/GR.MOQ, de fecha 07 de marzo del presente, dirigido al Presidente de Consejo Directivo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, para solicitar la elaboración de un estudio de peligrosidad en la quebrada El Cementerio del distrito de Moquegua.

El objetivo principal del presente informe es identificar y evaluar los peligros geológicos que se generan en la quebrada El Cementerio.

Se designó a los ingenieros Yhon Soncco y Jessica Vela, para realizar la inspección técnica respectiva.

El informe contiene datos de las observaciones geológicas realizadas en campo e información de trabajos anteriores realizados en la zona de estudio. Incluye texto, ilustraciones y fotografías del área, así como conclusiones y recomendación. Se pone a consideración de las autoridades de (CENEPRED), autoridades regionales y locales con injerencia en el ámbito de la municipalidad provincial de Moquegua.

2. GENERALIDADES

Trabajos anteriores: De la información disponible de trabajos realizados anteriormente en el área de estudio sobresale:

- El mapa de susceptibilidad de inundación fluvial del Perú, escala 1:1000000, generado por el Ingemmet (<http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>)

Objetivo: Evaluar la quebrada El Cementerio, con referencia a determinar los peligros geológicos que le afecten.

Ubicación y accesibilidad: La quebrada El Cementerio se encuentra ubicado en el límite de los distritos Samegua y Moquegua, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua.

Se encuentra en las coordenadas UTM (WGS-84): 296566E, 8097766N y una altitud de 1500 m s.n.m. (figura 1).

El acceso al área de estudio se realiza por vía terrestre, por la Carretera Panamericana Sur. Desde el ingreso a la ciudad de Moquegua hasta la quebrada El

Cementerio, se accede mediante la Av. Andrés A. Cáceres, continuando por la Av. Circunvalación y finalmente se llega a la quebrada El Cementerio.

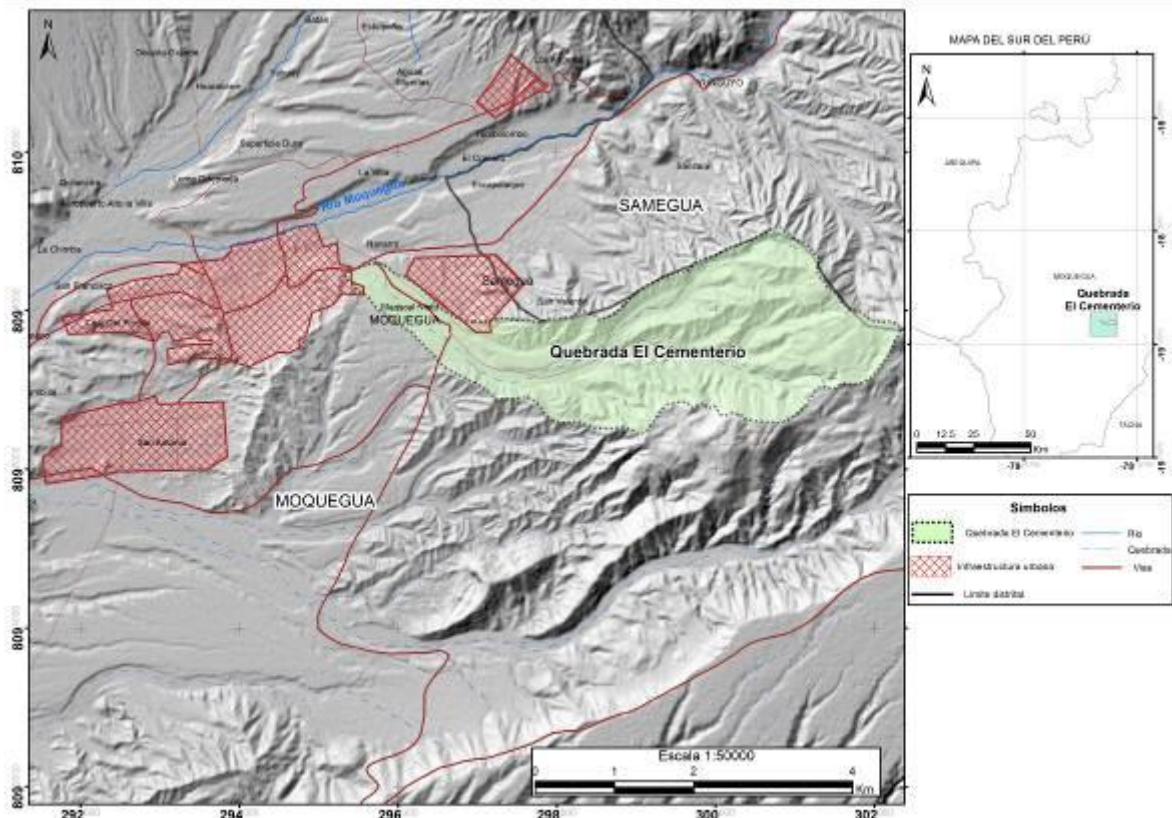


Figura 1. Mapa de ubicación de la quebrada El Cementerio, región Moquegua.

3. GEOMORFOLOGÍA

En el sector de la quebrada El Cementerio y sus alrededores se ha diferenciado las siguientes unidades geomorfológicas (figura 2).

3.1 Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)

Esta unidad geomorfológica posee un relieve de colinas y lomadas con superficies onduladas y disectadas por quebradas ligeramente profundas, (foto 1). Las laderas presentan pendiente de 30 a 40 %, litológicamente estas colinas y lomas están compuestos por rocas de la Formación Moquegua, que consisten de depósitos arenconglomerádicos.

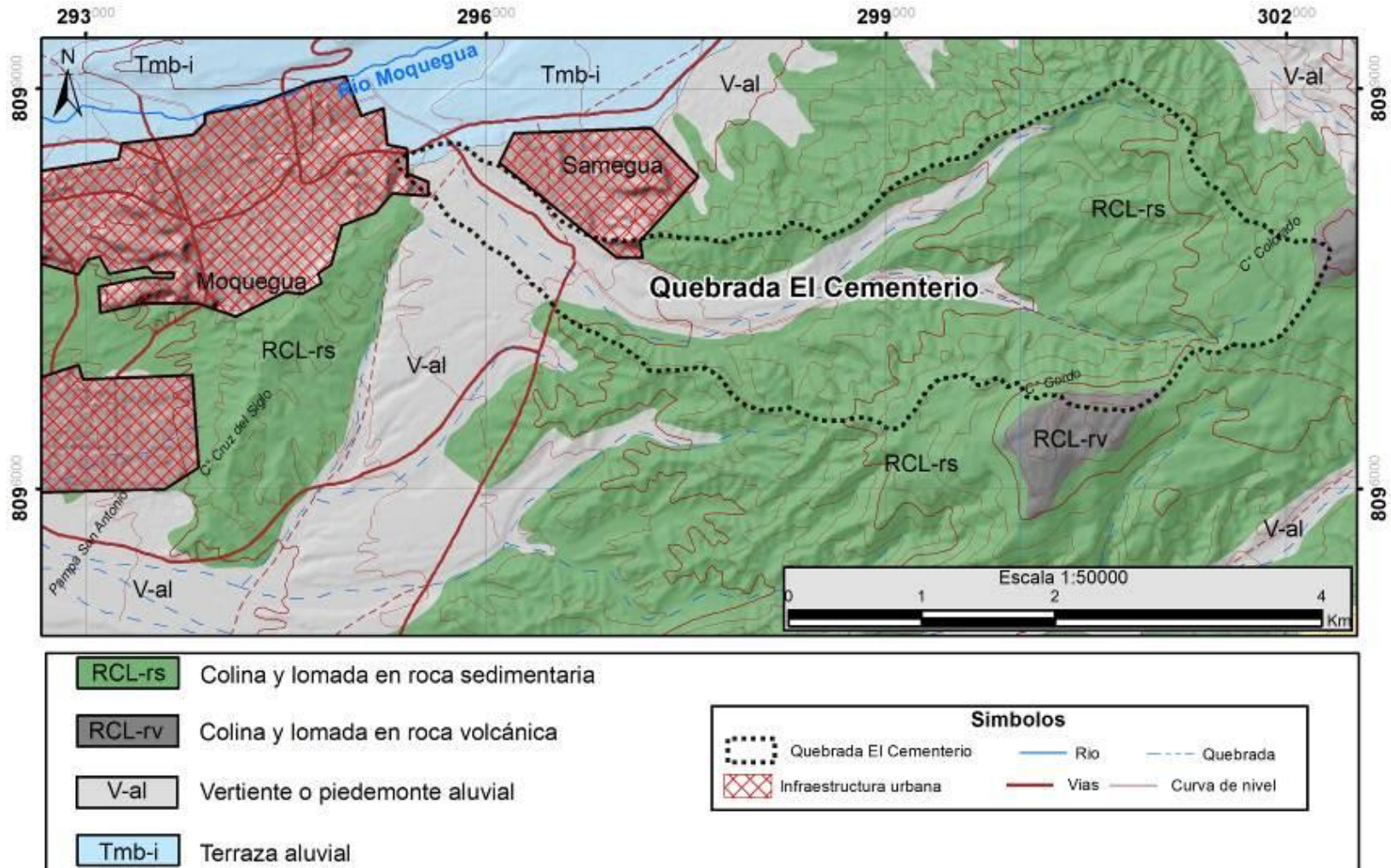


Figura 2. Unidades geomorfológicas en el sector de la quebrada El Cementerio, fuente (GEOCATMIN - <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>)



Foto 1. Colinas y lomadas en la Formación Moquegua superior, ubicadas a ambos márgenes de la quebrada El Cementerio.

3.2 Colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv)

Esta unidad geomorfológica posee un relieve de colinas y lomas con cimas ligeramente onduladas y laderas fuertemente inclinadas con pendiente de hasta 60% (foto 2), litológicamente está compuesto por tobas blancas friables hasta niveles altamente soldadas de la formación Huaylillas, muchas de estas unidades presentan “estructuras en fiamme” de pómez aplastada y alterada. Esta unidad aflora en el cerro Gordo.



Foto 2. Colinas y lomadas en roca volcánica, ubicadas en la parte alta del margen derecho de la quebrada El Cementerio.

3.3 Terraza aluvial (Tmb-i)

Esta unidad geomorfológica posee un relieve plano de terrazas aluviales, con pendiente suave de 10-15% (foto 3). Se caracteriza por ser un valle juvenil de laderas poco empinadas y lechos limitados por flancos de ancho reducido. Litológicamente está compuesto de gravas y arenas, básicamente depósitos aluviales. Corresponde a la parte baja del río Moquegua, en ella se ubica el área agrícola de Moquegua y Samegua.



Foto 3. Terraza aluvial ubicada en el sector del río Moquegua.

3.4 Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Esta unidad geomorfológica posee un relieve suavemente ondulado, compuesto por acumulación de sedimentos clásticos del terciario superior y cuaternario.

Esta unidad se halla fuertemente modificada por la erosión fluvial que ha labrado quebradas poco profundas de fondo plano en las partes bajas y cañones en las partes próximas al flanco andino. En las secciones intermedias la topografía es ondulada y consiste de terrazas (foto 4).



Foto 4. Vertiente o piedemonte, ubicado en el sector de la quebrada El Cementerio.

4. GEOLOGÍA

En el sector de la quebrada El Cementerio y sus alrededores se ha diferenciado, de acuerdo a sus principales características las siguientes unidades geológicas (figura 3)

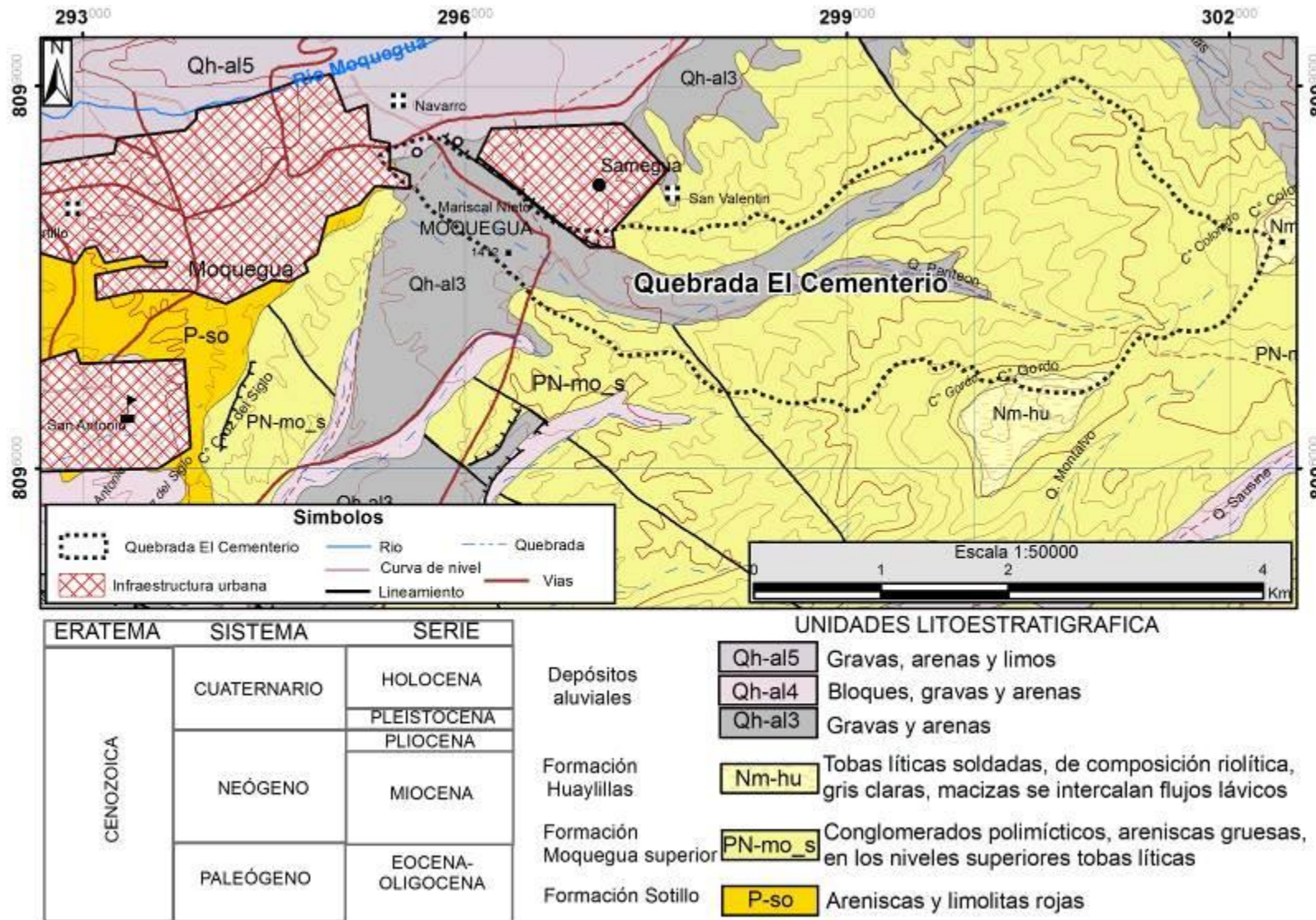


Figura 3. Unidades geológicas en el sector de la quebrada El Cementerio (Mapa geológico del cuadrángulo de Moquegua 35-u-IV).

4.1 Formación Sotillo (P-So)

Esta formación está compuesta por depósitos de areniscas, limolitas rojas y arcosas según Jenks, W. (1948), de color gris con tonalidades rojizas. Se encuentra disconforme sobre rocas volcánicas del jurásico e intrusivos cretácicos. Presentan estratificación paralela y subhorizontal predominando depósitos lacustrinos en los niveles superiores. La transición con la Formación Moquegua está señalada por un banco de 15 a 20 cm. de Yeso. Estas facies afloran al SO de la ciudad de Moquegua (figura 3).

4.2 Formación Moquegua superior (PN-mo_s)

Este miembro posee una litología areno-conglomerádica que sobreyace con débil discordancia a las capas del miembro inferior de la formación Moquegua, tal como se le nota en la parte alta del valle de Moquegua. El contraste de color y topografía entre los dos miembros de la formación Moquegua es claro y visible a distancia y permite definir claramente el contacto. Su parte superior está parcialmente cubierta por un banco de tufo blanco del Volcánico Huaylillas, de 15 a 20 m. de grosor. La litología del Moquegua superior es principalmente areno-conglomerádica y secundariamente se intercalan tufos, areniscas tufáceas, arcillas, tufos redepositados. Los depósitos son ligeramente friables y/o deleznales. Su grosor, textura y estructura de los depósitos varían de un sitio a otro tal como se les observa en inmediaciones de la ciudad de Moquegua. En el sector de la quebrada El Cementerio el miembro superior de la formación Moquegua aflora en la parte alta e intermedia de la quebrada (foto 5).



Foto 5. Depósitos de la formación Moquegua afloran en ambos márgenes de la quebrada El Cementerio.

4.3 Formación Huaylillas (Nm-hu)

Esta formación presenta tobas-lapilli según (Wilson y García, 1962), de composición química ríolítica a dacíticas de color grises, blanco a rosadas. Los rangos generales van desde tobas blancas friables hasta niveles altamente soldadas (figura 3).

4.4 Depósitos aluviales (Qh-al)

En la zona de estudio están compuestos de gravas, arenas, con clastos subredondeados a subangulares (foto 6). Presentan soporte de matriz areno limosos asociados a flujos de barro y conos aluviales y están semiconsolidados. En la zona de estudio se diferencian tres depósitos aluviales, los cuales son:

- a) **Qh-al3**: Compuesta de conglomerados inconsolidados de origen fluvial, color gris y clastos subredondeados.
- b) **Qh-al4**: Consisten de conglomerados semiconsolidados de clastos angulosos, ligera estratificación, con algunos niveles de tobas blancas recicladas y deleznales.
- c) **Qh-al5**: Compuestos de gravas, arenas medias y gruesas. Así como niveles de limolitas, producto de llanuras de inundación. Sobre este tipo de depósito es donde se ha establecido la agricultura de la región Moquegua y se distribuye ampliamente en el valle del río Moquegua.



Foto 6. Diferentes sectores donde puede encontrarse depósitos aluviales.

5. MORFOLOGÍA EN LA QUEBRADA EL CEMENTERIO

La cuenca de recepción en la quebrada El Cementerio es muy amplia y abierta con dos flancos en su cabecera. El cauce de la quebrada tiene una longitud de 5300 m, de los cuales la cuenca media tiene 1500 m y la cuenca baja 1400 m, y el resto corresponde a la cuenca alta.

El cauce en la microcuenca alta se divide en dos ramales principales en dirección NE-SO, en la cuenca media-baja toma una dirección NE-SO y NO-SE (figura 4). En las vertientes de la cuenca alta se tienen varios ramales, dispuestos en forma dendrítica que alimentan con material suelto al cauce principal de la quebrada. En la microcuenca media, las vertientes presentan canales perpendiculares al cauce principal. La pendiente del cauce en la cuenca alta esta entre 20% a 30 % y en la cuenca media es de 8% a 15%, llegando hasta la cuenca baja con pendientes menores a 8%.

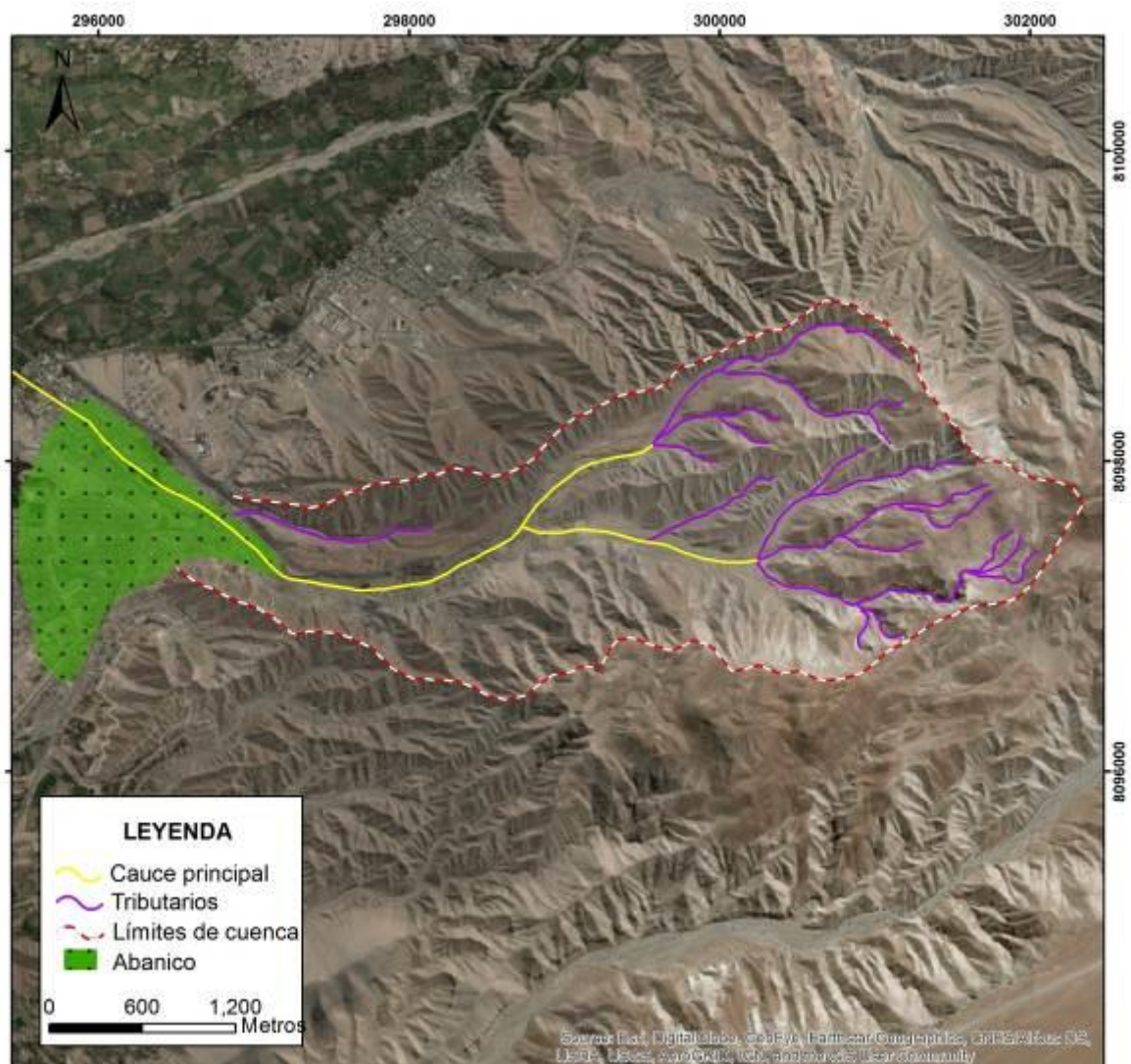


Figura 4. Imagen del Google Earth (2014), se muestra la microcuenca, tributarios y abanico aluvial.

En la cuenca media de la quebrada, se tiene la confluencia de dos quebradas, que por los diferentes eventos de flujos de detritos han formado terrazas con alturas hasta de

10 m. Sobre dicha terraza actualmente se ubican las viviendas y criaderos de chanchos (Foto 7).



Foto 7. Viviendas y criaderos de chanchos ocupando la terraza de depósitos aluviales y antiguos flujos de detritos.

En las imágenes satelitales del Google Earth, se estima que el abanico formado en la desembocadura de la quebrada tiene una longitud de 1000 m y se encuentra ocupado por viviendas, esto ha estrechado el cauce (foto 8).

El cauce de la quebrada principal tiene un ancho entre 300 a 400 m y una altura de 30 a 40 m. El cauce antiguo de la quebrada al llegar a la parte media-baja, llega tener un ancho de hasta 200 m. Sin embargo, el canal actual de la quebrada ha quedado reducido con un ancho promedio de 3 m (figura 5).



Foto 8. Viviendas asentadas dentro de la quebrada El Cementerio.



Figura 5. Imagen satelital Google Earth, donde se aprecia el cauce de la quebrada El Cementerio reducido.

6. PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA

A continuación, se presenta una breve descripción de los movimientos en masa identificados en los diferentes sectores inspeccionados dentro de la quebrada.

6.1 Huaicos y flujos de detritos

Por versiones orales de los pobladores de la zona y autoridades de la Región Moquegua, en el año 2012, se generaron flujos de detritos o huaicos que provinieron de la quebrada El Cementerio, afectó viviendas e infraestructuras en el trayecto de su recorrido, los flujos llegaron hasta la Avenida Simón Bolívar. Actualmente esta quebrada tiene una mayor cantidad de viviendas con relación a las que existían en años anteriores, se evidencia una expansión urbana sin planificación alguna, la cual está ocupando zonas de alto peligro a la ocurrencia de flujos de detritos.

Comparando imágenes satelitales de los años 2003 y 2017, en la parte media y baja de la microcuenca, se aprecia el crecimiento poblacional de los últimos años (figura 6).



Figura 6. Izquierda imagen satelital del año 2003, derecha imagen satelital del 2017, se aprecia la expansión urbana en los últimos catorce años en la quebrada El Cementerio.

Las causas para la generación de flujos en la quebrada El Cementerio son las siguientes: Material suelto en los cauces de la quebrada, de fácil remoción por lluvias, área sin cobertura vegetal y erosiones de ladera que alimentan con material suelto a la quebrada.

En la parte alta de la quebrada se aprecian canteras donde se extrae material de construcción. Estos materiales están constituidos por bloques, gravas con matriz limo-arenosa, suelto y de fácil remoción por la lluvia, generando de esta manera flujo de detritos (foto 9). Los bloques poseen litología heterogénea y son principalmente de tipo sedimentario. También se puede ver material de relleno o desmonte acumulado en el cauce y las riberas de la quebrada, así como depósitos de basura (foto 10). En casi todo su recorrido este material está disponible para ser acarreado por los flujos de agua en caso de fuertes precipitaciones pluviales. Es necesario mencionar que las viviendas localizadas dentro de la quebrada serían afectadas en caso de avenidas de flujos de detritos, principalmente en tiempo de lluvias.



Foto 9. Cauce de la quebrada El Cementerio con material suelto de fácil remoción.



Foto 10. *Cauce de la quebrada El Cementerio, donde se observa depósitos de basura y desmante.*

Se ha observado la construcción de una vía de acceso dentro de la quebrada El Cementerio. Esta comunica a los distritos de Samegua y Moquegua ubicados en la margen derecha e izquierda de la quebrada respectivamente. Además, debajo de la carretera se encuentra un puente que tiene 10 m. de largo que posee orificios con gálibo de 2 m. (Gálibo - distancia entre la parte inferior de la estructura y el nivel medio del curso de agua), por el cual discurre los flujos de lodo en tiempos de lluvias. Aparentemente este puente fue diseñado sin tener en cuenta eventos de gran volumen de flujos (foto 11). En caso de producirse lluvias excepcionales se podría producir la colmatación del cauce de la quebrada en este sector.



Foto 11. *Puente que comunica los distritos de Samegua y Moquegua, construidos dentro del cauce de la quebrada El Cementerio.*

6.2 Erosión de laderas o cárcavas

En la quebrada El Cementerio se tienen conglomerados de la Formación Moquegua, así como material aluvial. En época de lluvias intensas estos materiales son afectados por erosión de ladera (foto 12). Se ha evidenciado cárcavas que tienen anchos máximos de 3 m. y profundidades de 2 m. El material erosionado aporta material suelto a la quebrada, contribuyendo a la generación de flujos de lodo.



Foto 12. Erosiones en surco en la margen izquierda de la quebrada El Cementerio, generando material suelto que es vertido en la quebrada. En la parte superior se observa viviendas construidas sobre cortes del talud.

7. MEDIDAS PREVENTIVAS EN LA QUEBRADA EL CEMENTERIO

Las medidas preventivas adoptadas por las municipalidades son principalmente del tipo estructural. Medidas de tipo no estructurales no se han efectuado, porque no se observó ningún tipo de señalización que prohíba y advierta del peligro en ocupar y/o construir en las áreas aledañas a la quebrada El Cementerio. Faltan campañas de sensibilización en la población.

En el sector del terreno de la Universidad José Carlos Mariátegui, se ha colocado gaviones de 3 m de ancho y 2 m de profundidad (foto 13). Esta estructura podría ser socavada y colmatada en caso de producirse flujos de lodo durante periodos de lluvias intensas.



Foto 13. Estructura de gaviones en la quebrada El Cementerio, sector José Carlos Mariátegui.

8. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN LA QUEBRADA EL CEMENTERIO

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

8.1 Método de simulación numérica

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

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

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

8.2 Método de simulación numérica utilizando el programa LaharZ

Este programa fue creado por Schilling, (1998) del Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica (United States Geological Survey, USGS). Se basa en un modelo tanto físico como estadístico, que utiliza dos ecuaciones creadas por (Iverson et al., 1998), las cuales calculan el área de inundación de una sección de corte del canal (A) y su sección planimétrica (B) por parte de un lahar/huaico según su volumen (**Figura 6.1**). Estas ecuaciones (A) y (B) son de conservación de masa, moméntum (cantidad de movimiento) y energía durante el cálculo de la superficie de inundación y utilizan las siguientes fórmulas:

$$A = \alpha_1 \times V^{2/3}$$

$$B = \alpha_2 \times V^{2/3}$$

Donde:

- **A:** es el área de inundación de una sección de corte del canal (A) y su sección planimétrica (B) por parte de un lahar/huaico en una sección de corte del canal,
- **B:** es el área de inundación de un lahar/huaico en su sección planimétrica,
- **α :** es un valor constante que se calcula estadísticamente.
- **V:** es el volumen.

8.3 Simulación de flujos de detritos (huaicos)

La simulación de flujos de detritos en la quebrada El Cementerio, se realizó según el método de simulación numérica mediante el programa laharZ, explicado anteriormente. Para ello, se determinaron 3 escenarios por flujos de lodos en base a cálculos de volúmenes, tomando en cuenta datos de precipitaciones, área de la microcuenca de la quebrada El Cementerio, cuyo valor es 8240000 m², y porcentajes de contenidos de agua y sólidos.

Escenario 1: Se consideró un volumen de 320000 m³. Para este cálculo de volumen se utilizaron valores de precipitación tomados por SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú), de la estación meteorológica CP-Moquegua, ubicado a 2 km de la micro-cuenca de la quebrada El Cementerio. En el informe técnico N° 4-2018-SENAMHI/DZ7/RRF, elaborado por el SENAMHI, mencionan que en los últimos 10 años en la zona de estudio la precipitación alcanzó 15.6 mm, registrado en marzo del 2015 (figura 7).

Escenario 2: Se consideró un volumen de 515000 m³. Para este cálculo de volumen se utilizaron valores de precipitación de la data histórica de la página web del SENAMHI, que muestran valores de hasta 25 mm de precipitación fluvial en los años 1980 y 1990, registradas en la estación CP-Moquegua (figura 8).

Escenario 3: Se consideró un volumen de 618000 m³. Este escenario representa a un flujo de lodo más voluminoso que los anteriores, que se podría presentar en la zona de estudio en caso de producirse lluvias excepcionales. Para este cálculo de volumen se utilizó como referencia datos de precipitaciones excepcionales ocurrida en Chosica-Lima en el año 2012, donde los valores de precipitación llegaron hasta 30 mm (figura 9).

En la figura 10 se muestra el mapa de escenarios de flujos de detritos en la quebrada El Cementerio.

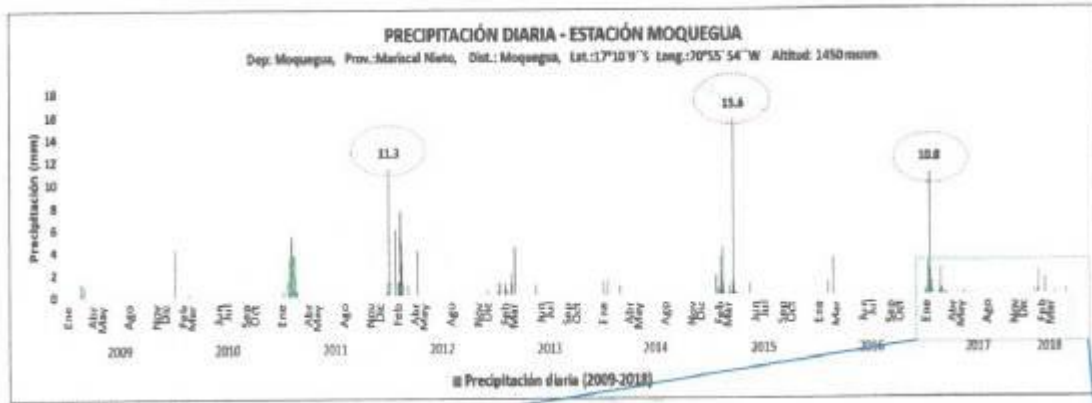


Figura 7. Datos de precipitación registrada en los últimos 10 años en la zona de la quebrada El Cementerio, fuente (informe técnico N° 4-2018-SENAMHI/DZ7/RRF)

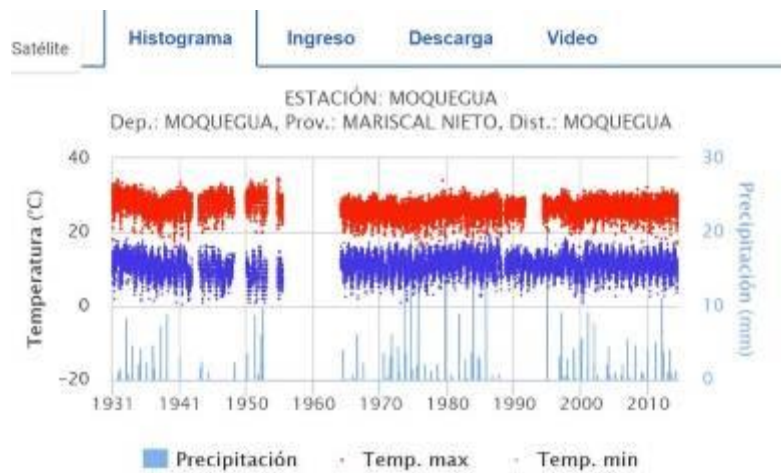


Figura 8. Datos de precipitación histórica en el sector de la quebrada El Cementerio, fuente (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica>)



Figura 9. Datos de precipitación histórica en el sector de Chosica 2012, fuente (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica>)

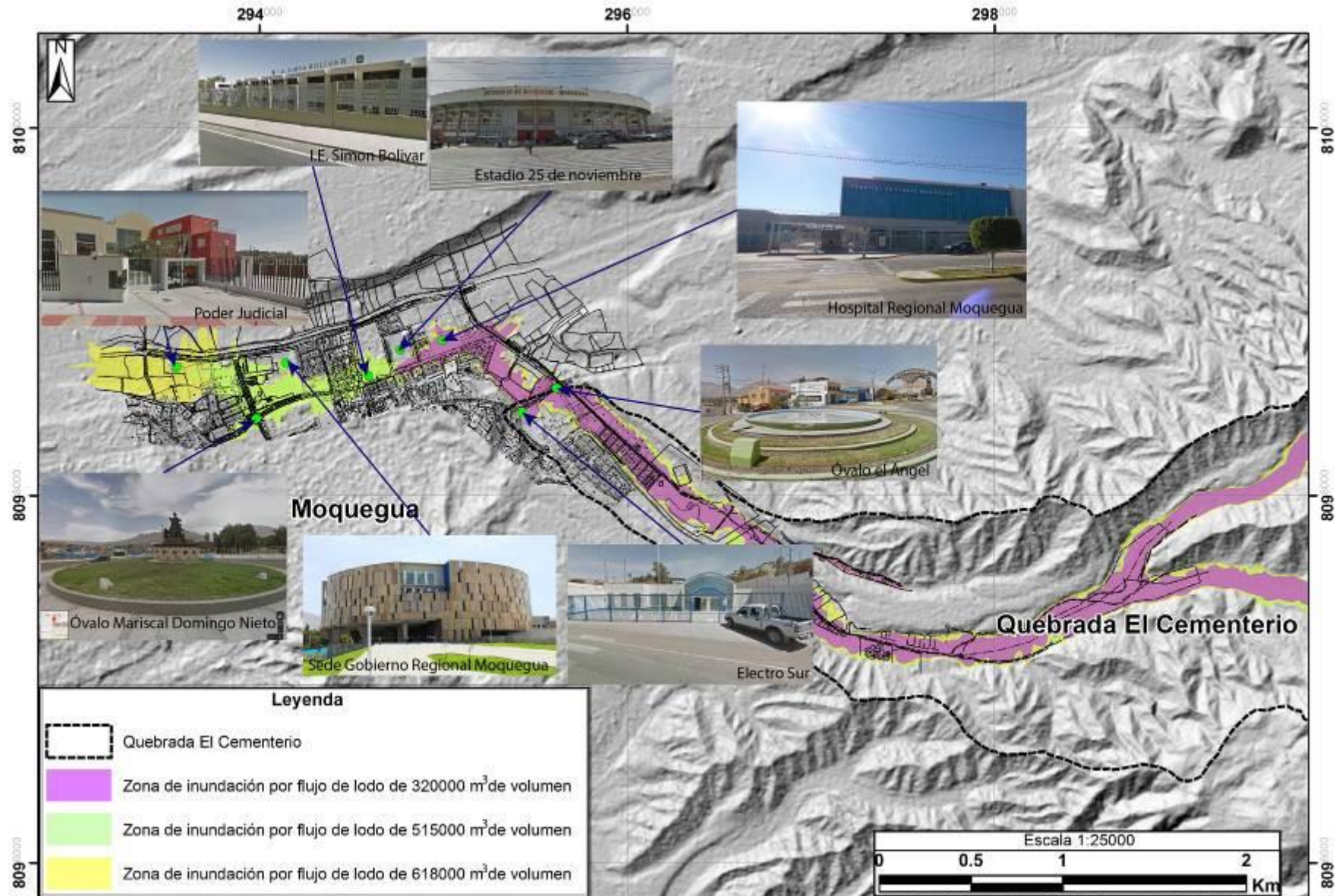


Figura 10. Mapa escenarios de flujos de detritos en la quebrada El Cementerio.

8.4 Zonas afectadas por flujos de detritos (huaicos)

Se describen los daños que pueden causar los flujos de detritos, para los tres escenarios planteados de acuerdo a los distintos volúmenes de flujos.

Escenario 1:

De acuerdo a los resultados de la simulación, el flujo de detritos para el primer escenario, afectaría a las viviendas ubicadas en las siguientes zonas: a) las viviendas aledañas a la avenida el Sol en el sector del terreno de la universidad José Carlos Mariátegui y el Óvalo El Ángel ubicados dentro de la quebrada El Cementerio, b) las viviendas localizadas entre el Óvalo el Ángel y las instalaciones de Electro Sur, c) las viviendas ubicadas en ambas márgenes de la avenida Simón Bolívar, afectando al hospital Regional Moquegua, al estadio 25 de noviembre, a la institución educativa Simón Bolívar y viviendas aledañas a esta avenida (figura 11).

Escenario 2:

De acuerdo a los resultados de la simulación, el flujo de detritos para el segundo escenario, afectaría a las viviendas ubicadas en las siguientes zonas: a) las viviendas aledañas a la avenida el Sol en el sector Jose Carlos Mariátegui y el Óvalo El Ángel ubicados dentro de la quebrada El Cementerio, b) las viviendas localizadas entre el Óvalo el Ángel y las instalaciones de Electro Sur, c) las viviendas ubicadas en ambas márgenes de la avenida Simón Bolívar, afectando al hospital Regional Moquegua, al estadio 25 de noviembre, a la institución educativa Simón Bolívar y viviendas a ambos lados de esta avenida, d) las viviendas ubicadas en el sector del Óvalo Mariscal Domingo Nieto, donde el flujo cambia de curso hacia la calle Ancash llegando hasta la avenida Los Chirimoyos, en su trayecto afectaría a las viviendas ubicadas a ambos lados de esta calle (figura 12).

Escenario 3:

De acuerdo a los resultados de la simulación, el flujo de detritos para el tercer escenario, afectaría a las viviendas ubicadas en las siguientes zonas: a) las viviendas aledañas a la avenida el Sol en el sector Jose Carlos Mariátegui y el Óvalo El Ángel ubicados dentro de la quebrada El Cementerio, b) las viviendas localizadas entre el Óvalo el Ángel y las instalaciones de Electro Sur, c) las viviendas ubicadas en ambas márgenes de la avenida Simón Bolívar, afectando al hospital Regional Moquegua, al estadio 25 de noviembre, a la institución educativa Simón Bolívar y viviendas a ambos lados de esta avenida, d) las viviendas ubicadas en el sector del Óvalo Mariscal Domingo Nieto, donde el flujo cambia de curso hacia la calle Ancash llegando hasta la avenida Los Chirimoyos, en su trayecto afectaría a las viviendas ubicadas a ambos lados de esta calle, e) las vivienda ubicadas en los alrededores de las instalaciones del Poder Judicial. El flujo continuaría por la avenida La Paz y finalmente desembocaría en el río Moquegua (figura 13).

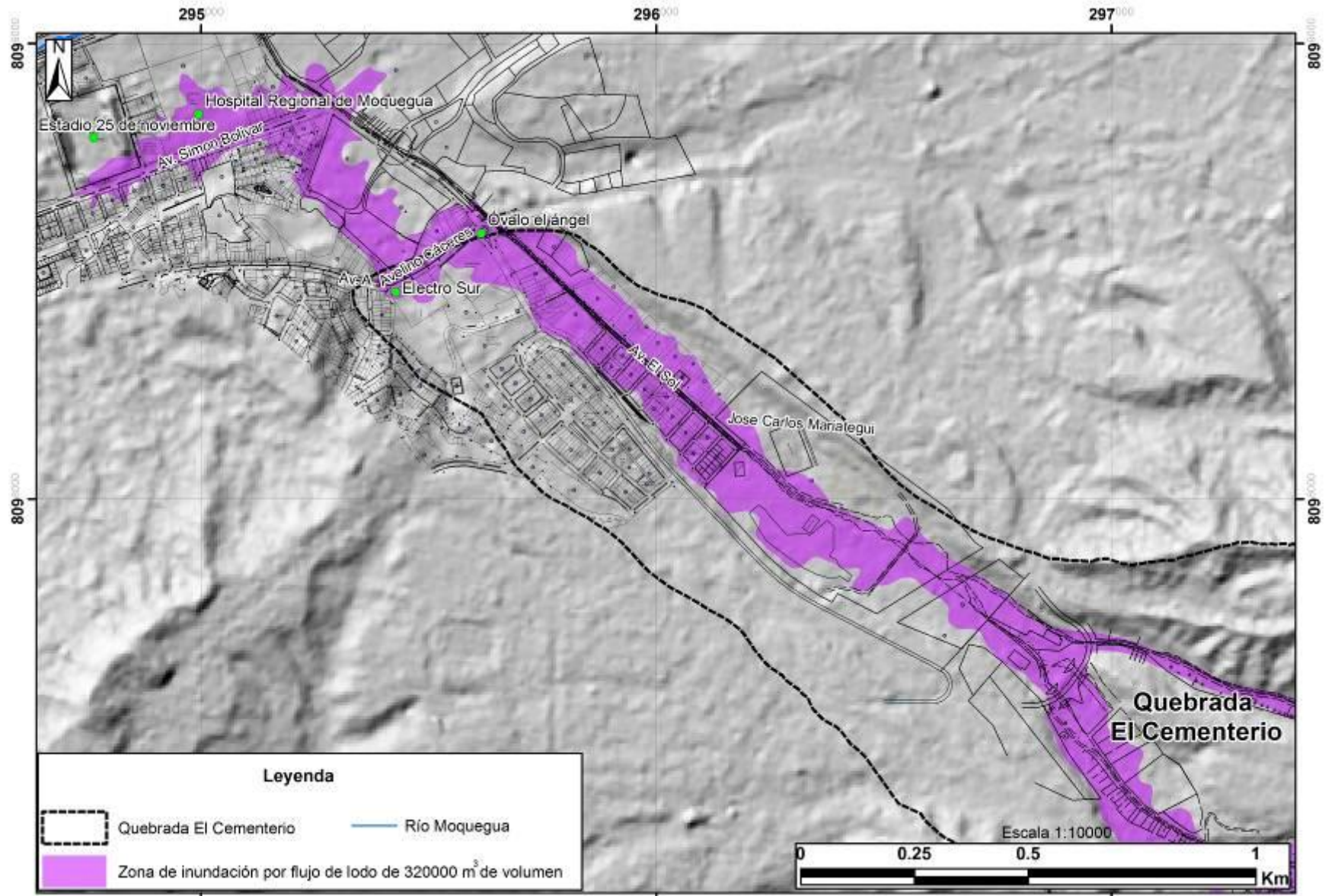


Figura 11. Mapa del primer escenario de flujos de detritos en la quebrada El Cementerio

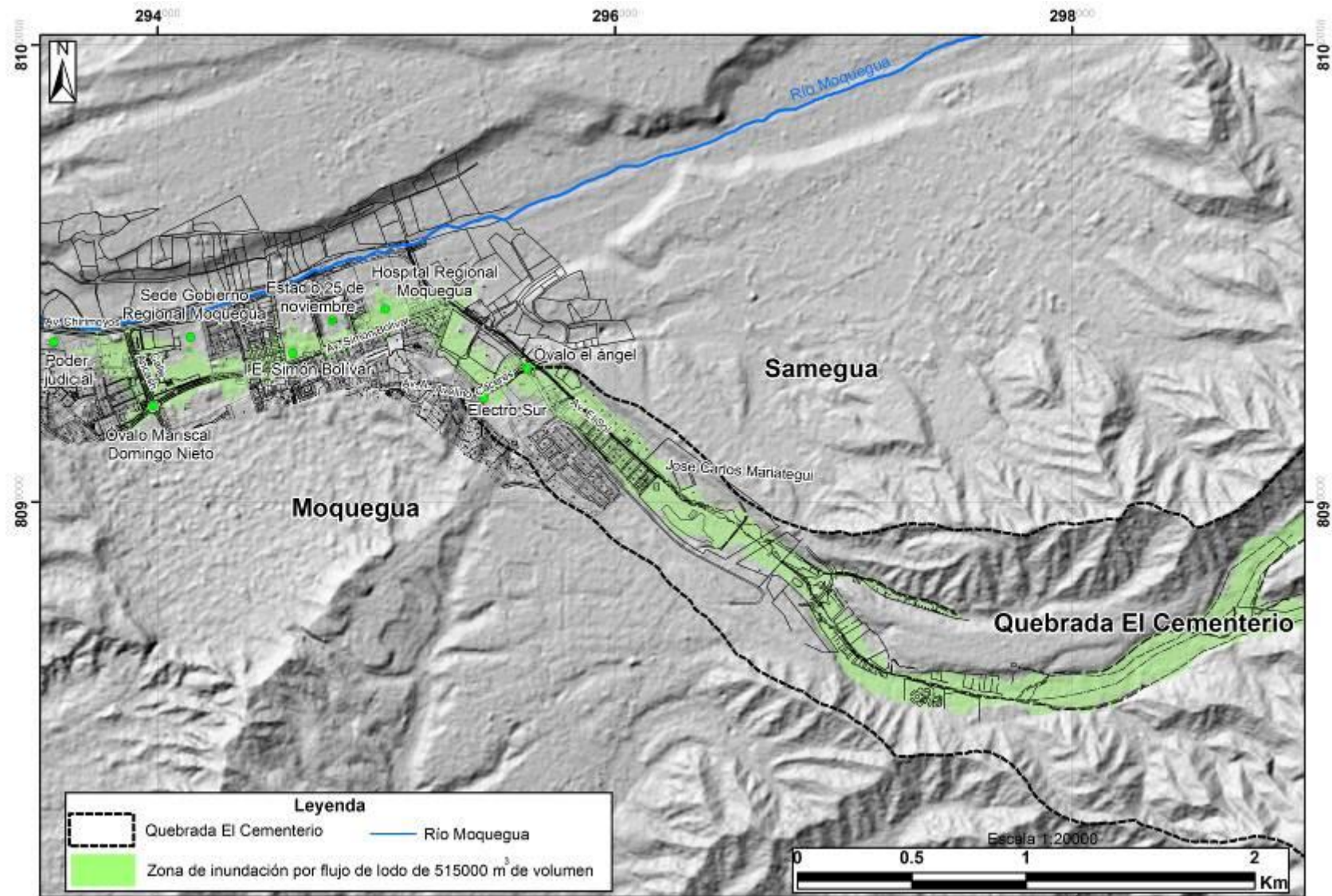


Figura 12. Mapa del segundo escenario de flujos de detritos en la quebrada El Cementerio

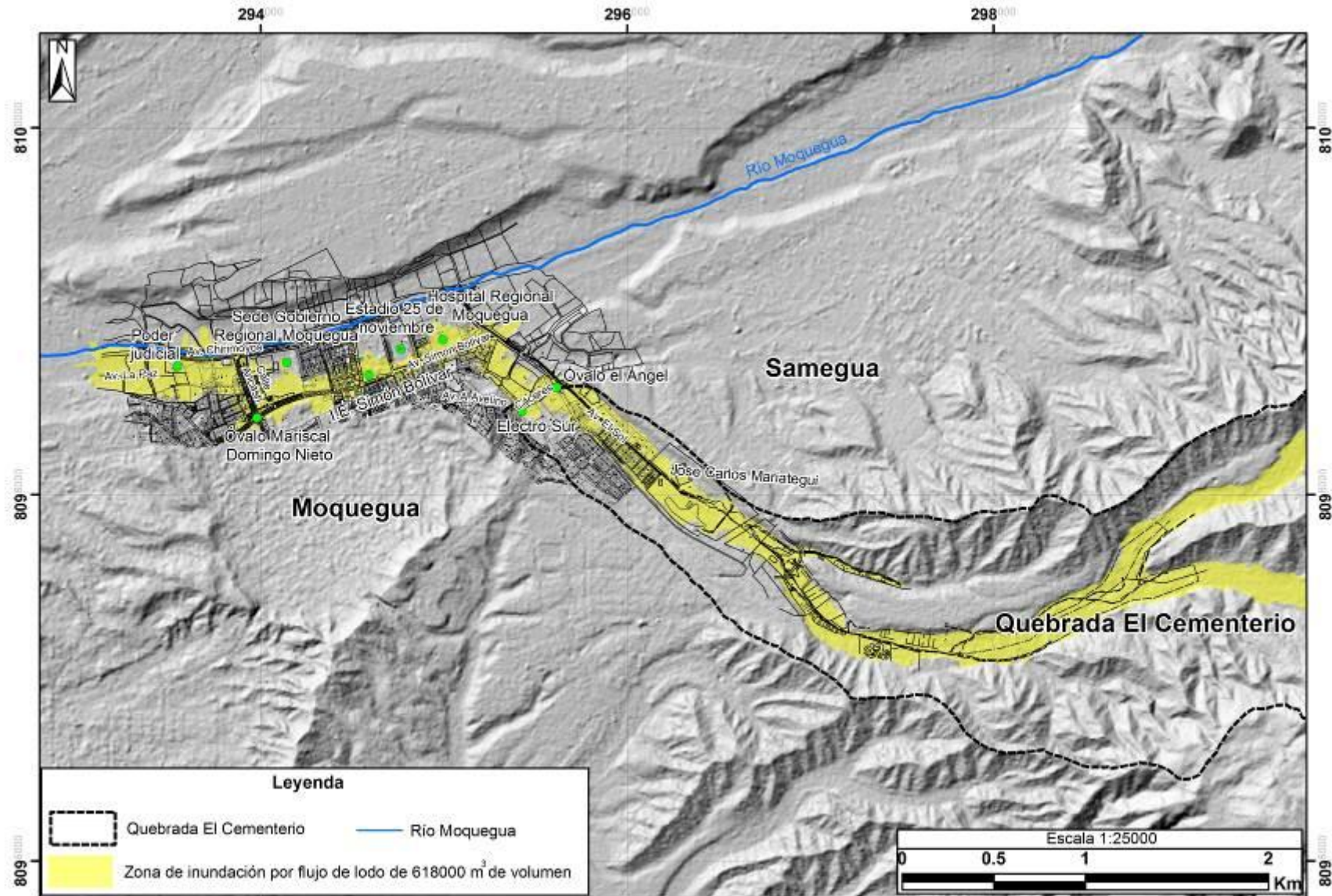


Figura 12. Mapa del tercer escenario de flujos de detritos en la quebrada El Cementerio.

9. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS

A continuación, se presentan algunas propuestas generales de solución para los problemas geodinámicos que puedan afectar a la zona en estudio. Las mismas que están encaminadas a prevenir los procesos y mitigar los daños ante la ocurrencia de fenómenos naturales, tales como flujo de detritos.

Dentro de estas propuestas, de acuerdo a la evaluación realizada en este estudio tenemos aquellas para el control de flujos y medidas para el control de la erosión de laderas, siendo estas:

- a) Construcción de muros disipadores en la cuenca media de la quebrada El Cementerio: diques, gaviones, presas.
- b) Reforestación de laderas.
- c) Para reducir la erosión en cárcava, construcción de barrera, rellenos y cortacorrientes en laderas.
 - Construir obras hidráulicas y de control de erosión, mediante diques transversales como trinchos de madera, de enrocado o gaviones, (figura 13). El objetivo de esta medida, es disminuir la energía del agua y retener sedimentos.

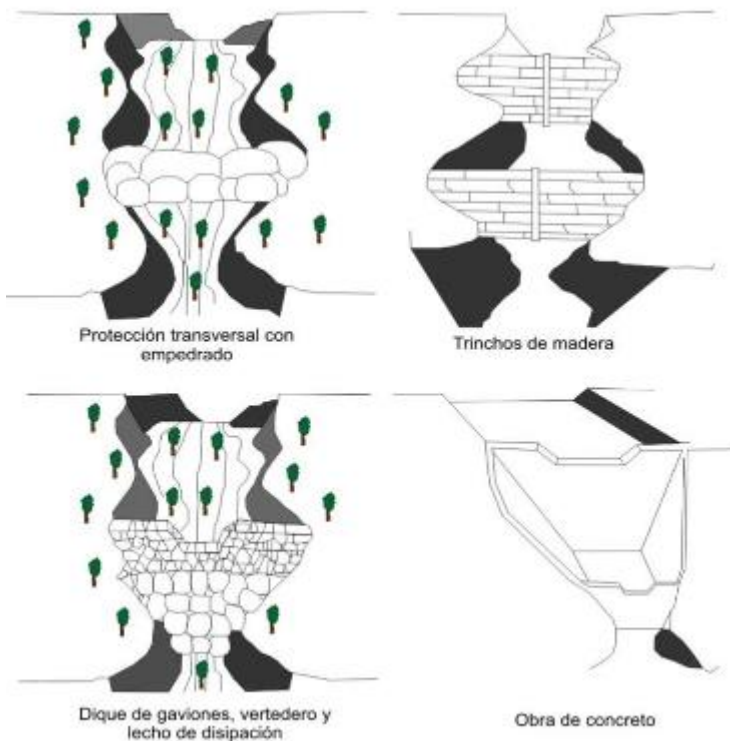


Figura 13. Obras hidráulicas transversales para cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales (Tomado de Instituto Nacional de Vías-Colombia-1998).

CONCLUSIONES

1. Los suelos en la quebrada El Cementerio, presentan mediana a baja compactación y son susceptibles a derrumbes de tierra y huaicos.
2. Los depósitos antropogénicos acumulados en las cabeceras de las quebradas (desmonte y basura) podrían ser removidos por las precipitaciones pluviales, ello aportaría material suelto al cauce de la quebrada para futuros flujos de detritos (huaicos).
3. En el sector del terreno de la universidad José Carlos Mariátegui, el cauce de la quebrada El Cementerio presenta un estrechamiento de hasta 3 m de ancho. Donde se podría represar agua o flujos de lodo y el desembalse afectaría la población que se encuentra aguas abajo. También el flujo de este sector hacia aguas abajo aumenta su poder erosivo.
4. El área presenta condiciones intrínsecas de susceptibilidad para la generación de flujos de detritos (huaicos), tal como deforestación y material suelto en el cauce de la quebrada.
5. La simulación de flujos de detritos (huaicos) planteados para los tres escenarios muestran que: a) el flujo de detritos (huaicos) para el escenario 1, podría llegar hasta el colegio I. E. Simón Bolívar, ubicado en la avenida del mismo nombre, b) para el escenario 2, el flujo llegaría hasta la avenida Chirimoyos y c) para el escenario número 3, que representa el flujo más voluminoso, llegaría hasta la avenida la Paz, en el sector del Poder Judicial. En todo su trayecto estos flujos afectarían viviendas, importante infraestructura e incluso se podría producir la muerte de personas.
6. La falta de un plan urbanístico, ha permitido que la población se desarrolle sobre zonas susceptibles a movimientos en masa.
7. El área de estudio se considera activa, susceptible a movimientos en masa, principalmente por flujos de lodo. Se le considera como **zona crítica, por lo tanto, de peligro inminente, ante la ocurrencia de lluvias excepcionales.**

RECOMENDACIONES

1. Reubicar las viviendas localizadas en el cauce de la quebrada El Cementerio, por estar en un área de muy alto peligro. Esta debe ser declarada como zona intangible.
2. Evitar la expansión urbana en las proximidades de la quebrada El Cementerio y en las laderas de los cerros. En estos últimos los suelos no son favorables, en caso de sismos fuertes o de gran magnitud se verían afectadas las viviendas.
3. Construir muros disipadores de energía a lo largo del cauce de la quebrada. Para ello se tienen que realizar estudios detallados (diseños de los muros disipadores).
4. Realizar un programa de forestación con la finalidad de disminuir o atenuar los procesos de flujos de detritos.
5. Se debe evitar botar desmonte o basura en los cauces de las quebradas o torrenteras, y además deben ser limpiadas periódicamente, sobre todo antes de iniciarse la temporada de lluvias.
6. Tomar medidas de información y difusión pública entre la población sobre el riesgo existente y las medidas a tomar en caso de avenidas (Sensibilización sobre los peligros a que está expuesta la población e infraestructura).
7. Se recomienda a las autoridades, la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT).

BIBLIOGRAFÍA

Cruden, D.M. y Varnes, D.J. (1966). Landslide types and process, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, 36-75 p.

Griswold, J.P., 2004. Mobility Statistics and Hazard Mapping for non-volcánic flows and rock avalanches. Thesis for the Master of Science in Geology, Portland State University.

Hungr, O. & Evans, S (2004). Entrainment of debris in rock avalanches: An analysis of a long run-out mechanism. Geol. Soc. Am. Bull. 116, 1240-1252.

INGEMMET, GEOCATMIN (El mapa de susceptibilidad de inundación fluvial del Perú, escala 1:1000000). URL. <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Iverson, R.M., Schilling, S.P., Vallance, J.W., 1998. Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. GSA Bulletin 100, 972-984.

Jenks, W. 1948. Geología de la Hoja de Arequipa, al 11200.000. Instituto Geologico dei Peril No. 9. 104 pp.

R. Tosdal E. Farrar and Al. Clark (1981) "K-Ar Georchronology of the late Cenozoic Volcanic Rock of the cordillera Occidental, Southernmost Peru. Journal of Volcanology And Geothermal Research Vol. 10. pp. 157-173.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

Wilson y García, (1962), Geología de los Cuadrangulos de Pachia. Con Carta Geológica Nacional. Vol IIN°4.

GLOSARIO

DESLIZAMIENTO: Movimiento que se produce al superarse la resistencia al corte de un material (suelo, roca o ambos), a lo largo de una o más superficies de ruptura, y donde la masa original se desliza a distancias variables.

EROSIÓN DE LADERA O CÁRCAVA: Zanja producto de la erosión que generalmente sigue la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas del suelo. Las cárcavas se inician cuando el suelo ha sido removido por el flujo superficial formando pequeños surcos considerado como zanjeado incipiente y a medida que aumenta el escurrimiento se forman pequeños canalillos que van creciendo en ancho y en profundidad hasta formar secciones transversales de diferentes formas que se agrandan con la presencia de las avenidas máximas.

HUAICO Y/O FLUJO DE DETRITOS: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. 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. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo al tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado) (figura 14).

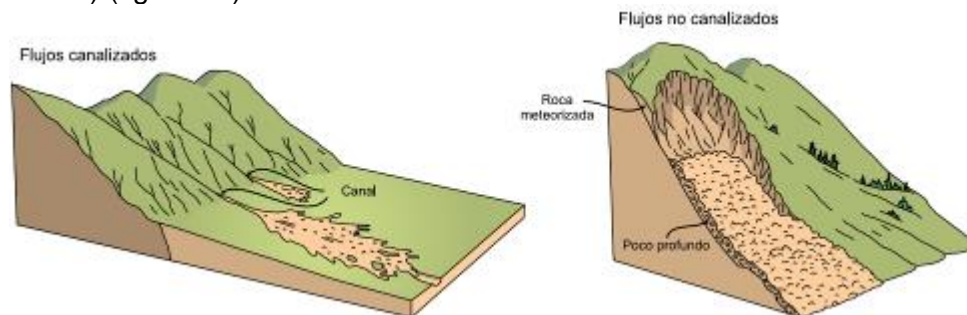


Figura 14. Esquema de flujos canalizado y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996).

Los flujos de detritos, comúnmente conocidos como “huaicos”, son muy comunes en nuestro país debido a la configuración del relieve en el territorio, constituido por altas montañas, vertientes pronunciadas de valles con rocas y suelos deleznable o susceptibles de remoción con aguas de lluvia.

Generalmente las zonas afectadas son espacios delimitados por una microcuenca, subcuenca, quebrada o riachuelo, siendo los principales daños, los que se producen en el cono o abanico deyectivo, parte terminal del depósito de un cauce tributario a otro. Los daños que producen son considerables, por la gran energía y violenta aparición con que se presentan, destruyendo, arrasando o sepultando lo que encuentran en su paso, infraestructura urbana, vial, hidráulica y productiva agrícola.

MOVIMIENTO EN MASA: Proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, escombros o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una ladera o talud (superficie inclinada) por acción de la gravedad. Corresponden a deslizamientos, flujos de detritos, derrumbes, etc.

PELIGRO: Probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad, en un periodo de tiempo y frecuencia definidos.

PELIGRO GEOLÓGICO: Proceso natural que puede causar daños materiales o la pérdida de vidas, la interrupción de actividades sociales y económicas, así como también la degradación ambiental.