

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7040

INSPECCIÓN GEOLÓGICA Y EVALUACIÓN DE DAÑOS EN LOS DISTRITOS DE PAUCARPATA, SOCABAYA, JACOBO HUNTER, CERRO COLORADO Y YANAHUARA, AFECTADOS POR HUAICOS DEL 23 AL 25 DE FEBRERO DEL 2020

Región Arequipa
Provincia Arequipa



ABRIL
2020

CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Metodología de trabajo.....	2
1.2 Objetivo del estudio.....	2
2. GENERALIDADES	3
2.1 Ubicación y accesibilidad	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	3
4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO	6
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	8
ZONAS AFECTADAS POR FLUJOS DE LODO	8
5.1 SECTOR 1: Pozo Negro (distrito Paucarpata).....	8
5.2 SECTOR 2: Baden (distrito Paucarpata).....	14
5.3 SECTOR 3: Lara (distrito Socabaya)	16
5.4 SECTOR 4: Terminal Terrestre (distrito Jacobo Hunter)	18
5.5 SECTOR 5: Puente Tingo (distrito Jacobo Hunter)	21
5.6 SECTOR 6: Urbanización Independencia Americana (distrito Yanahuara)....	23
5.7 SECTOR 7: Puente Montserrat (distrito Cerro Colorado).....	27
CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	37

RESUMEN

La ciudad de Arequipa fue severamente afectada por las precipitaciones pluviales ocurridas del 23 al 25 de febrero del presente año, las que actuando combinadamente con la considerable pendiente topográfica de la ciudad generaron huaicos que produjeron inundaciones en asentamientos humanos y en infraestructuras, así como también interrupción de servicios públicos críticos como los de saneamiento, energía eléctrica, comunicaciones y transporte, riego agrícola, etc.

Según del mapa geológico del volcán Misti, elaborado por Mariño et al., 2016; las zonas afectadas por huaicos en Arequipa tales como, sector de Baden (distrito de Paucarpata), se encuentra sobre el depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza del volcán Misti. El sector de Pozo Negro (distrito de Paucarpata), Terminal Terrestre y puente Tingo (distrito de Jacobo Hunter), Lara (distrito de Socabaya) y Puente Monserrat (distrito de Cerro Colorado), se encuentran sobre depósitos de lahares del volcán Misti. La urbanización Independencia Americana se encuentra sobre depósitos de la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa.

De acuerdo al mapa geomorfológico del volcán Misti, elaborado por Mariño et al., 2016; los sectores Baden, Lara, Terminal Terrestre, Independencia Americana, se encuentran ubicadas en la unidad geomorfológica abanico aluvial. El sector Puente Tingo se encuentra sobre la unidad de llanura de inundación. Mientras que el sector puente Monserrat, se encuentra en la unidad geomorfológica planicie ignimbrítica.

Los cauces de las quebradas de Arequipa están siendo reducidas para construcción de infraestructura urbana, ocasionando desbordes en las torrenteras y por consiguiente graves daños en diversas urbanizaciones. El cauce actual de la torrentera Pozo Negro en el distrito de Paucarpata ha sido reducido por la construcción de una vivienda y una cancha de fútbol; así mismo el cauce de la torrentera Los Incas a la altura del Terminal Terrestre ha sido estrangulado a 4 m. De igual manera, en Urbanización Independencia Americana, distrito de Yanahuara, el cauce tiene solo 3 m.

En los cauces de las quebradas Virgen del Socorro, Los Incas y Chullo, se ha observado depósitos de materiales excedentes de construcción (escombros) y basura en grandes cantidades. Cuando estos elementos entran en actividad en épocas de avenidas, eleva el poder destructivo del huaico aguas abajo, y como consecuencia generan un inminente peligro para la población de Arequipa.

Se recomienda a las autoridades competentes, reubicar toda infraestructura ubicada dentro del cauce de la quebrada Pozo Negro. Esta infraestructura es un obstáculo para el drenaje de los huaicos en esta quebrada. También, se debe ejecutar un proyecto de inversión para la construcción de un nuevo muro de contención en la torrentera Chullo, distrito de Yanahuara, para reducir la vulnerabilidad de la población y la infraestructura urbana adyacente a esta torrentera. Así mismo es importante la ampliación del cauce de la torrentera Los Incas en el sector del Terminal Terrestre, tomando en cuenta estudios de los máximos caudales probables para esta torrentera.

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.

A raíz de las fuertes precipitaciones y reportes de ingresos de huaicos en quebradas que descienden del volcán Misti registradas en la última semana del 23 al 25 de febrero del presente año, los Ingenieros Jessica Vela y David Humerez, especialistas en evaluación de peligros geológico de la Dirección de Geología Ambiental del INGEMMET, realizaron una breve inspección geológica y evaluación de daños de los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Cerro Colorado y Yanahuara (Arequipa).

1.1 Metodología de trabajo

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

1.1.1. Recopilación bibliográfica y trabajos de gabinete

Recopilación de recursos bibliográficos de estudios anteriores realizados en la zona de estudio. Se elaboraron mapas en base a la interpretación de imágenes satelitales Rapid-Eye y Landsat de los años 2018-2019.

1.1.2. Trabajos de campo

En el trabajo de campo se realizó la evaluación geológica de las zonas afectadas por huaicos en la ciudad de Arequipa.

1.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en elaborar mapas de ubicación, geológico, geomorfológicos de la zona de estudio. También se hicieron simulaciones numéricas de flujos de detritos mediante el programa LaharZ, en las quebradas El Chullo, Pozo Negro, Los Incas y Virgen del Socorro.

Los trabajos culminaron con la redacción del informe técnico.

1.2 Objetivo del estudio

El presente estudio tiene como objetivo la evaluación de peligros geológicos en las zonas afectadas por el emplazamiento de huaicos, en áreas pobladas de los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Cerro Colorado y Yanahuara (Arequipa).

2. GENERALIDADES

2.1 Ubicación y accesibilidad

Las zonas de estudio están ubicadas en los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Cerro Colorado y Yanahuara, provincia y departamento de Arequipa (figura 1).

Tabla 1: Coordenadas de ubicación de las áreas consultadas.

Coordenada UTM	Distrito	Norte	Este
Sector 1: Pozo Negro	Paucarpata	8182220	234095
Sector 2: Baden	Paucarpata	8182784	233156
Sector 3: Lara	Socabaya	8179621	229678
Sector 4: Terminal Terrestre	Jacobo Hunter	8182562	228229
Sector 5: Puente Tingo	Jacobo Hunter	8181553	226256
Sector 6: Urbanización Independencia Americana	Yanahuara	8184906	227469
Sector 7: Puente Monserrat	Cerro Colorado	8193938	222116

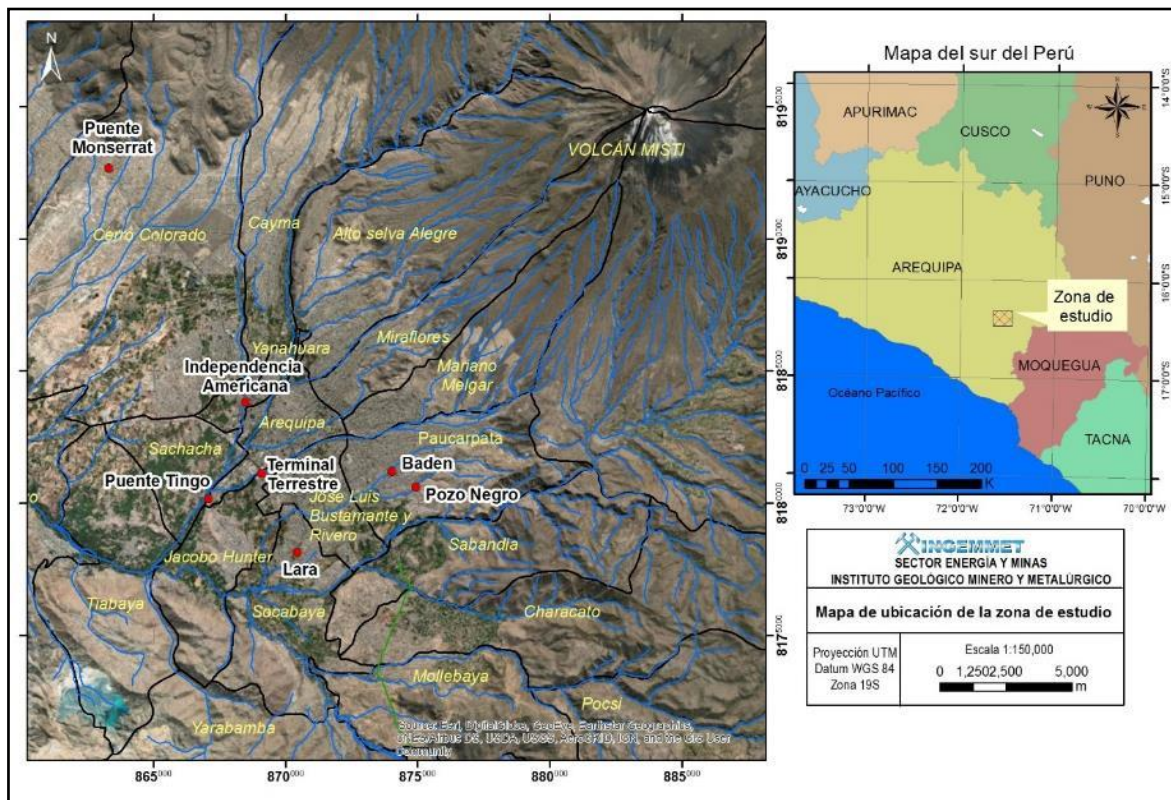


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El sector de Baden (distrito de Paucarpata), se encuentra sobre el depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza del volcán Misti (figura 2), en el mapa geológico corresponde

a la unidad litoestratigráfica FPP-m2. Según Thouret et al. (2001), se trata de ignimbritas no soldadas que tienen entre 30 a 40 m de espesor, que cubren un área aproximada de más de 200 km², y tienen volúmenes que varían entre 3 a 5 Km³. Estos depósitos están distribuidos en los flancos suroeste, sur y sureste del volcán Misti y posiblemente se emplazó entre 50 y 43 ka. Este depósito muestra una concentración de pómez de tamaño centimétrico en la base y en algunos sectores presenta poca ceniza. El emplazamiento de esta secuencia voluminosa de flujos piroclásticos puede estar asociado a la formación de una caldera ocurrida entre 50 y 40 ka, basado en argumentos de tipo geológico, geomorfológico y geofísico: (a) presencia de voluminosos depósitos piroclásticos de pómez y ceniza dacítica a andesítica; (b) una ruptura de pendiente entre los conos del volcán Misti, alrededor de 4400 m s.n.m., reforzado por una discordancia angular entre los flujos de lava de los dos edificios antes mencionados; (c) la existencia de una discontinuidad estructural cerca a los 4400 m s.n.m., inferida a partir de estudios geoeléctricos y magnetotelúricos (Finizola et al., 2004; Tort & Finizola, 2005). Así mismo, en el sector Badén se ha encontrado pequeños depósitos de avalanchas de escombros del volcán Misti.

El sector de Pozo Negro, Terminal Terrestre, puente Tingo y Lara se encuentran sobre depósitos de lahares del volcán Misti (LH-m y LEV-m). Estos depósitos fueron emplazados entre el Holoceno superior y época histórica (figura 2).

La urbanización Independencia Americana se encuentra sobre depósitos de la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa (Ig-a), figura 2. Posee espesores que varían entre 5 a 100 m. Tiene dos facies: una inferior de color blanco grisáceo, bastante consolidada y una superior de color rosado que se presenta no consolidada. Los depósitos no son soldados. Ha sido datada en 1.65 Ma, posee alto contenido de plagioclasas, biotita, óxidos de Fe-Ti, cuarzo, sanidina y anfíbol, y su composición es dacítica a riolítica (Paquereau et al., 2006). Además, en la quebrada Chullo que pasa por urbanización Independencia Americana se ha encontrado depósitos de lahares recientes.

Según el mapa geológico del cuadrángulo de Arequipa, hoja 33S2, el sector de Puente Monserrat se encuentra sobre depósitos aluviales (Qh-al), figura 3. Estos depósitos se encuentran bastante distribuidos en toda la zona de estudio. Son depósitos de algunos decímetros a varios metros de espesor; están conformados por bloques subredondeados a redondeados (cantos rodados), distribuidos en una matriz de arena y limo. Presentan estructuras de estratificación cruzada y laminar. Así mismo, en la zona de estudio aflora lahares canalizados en las quebradas Virgen del socorro, Municipal y Estanquillo.

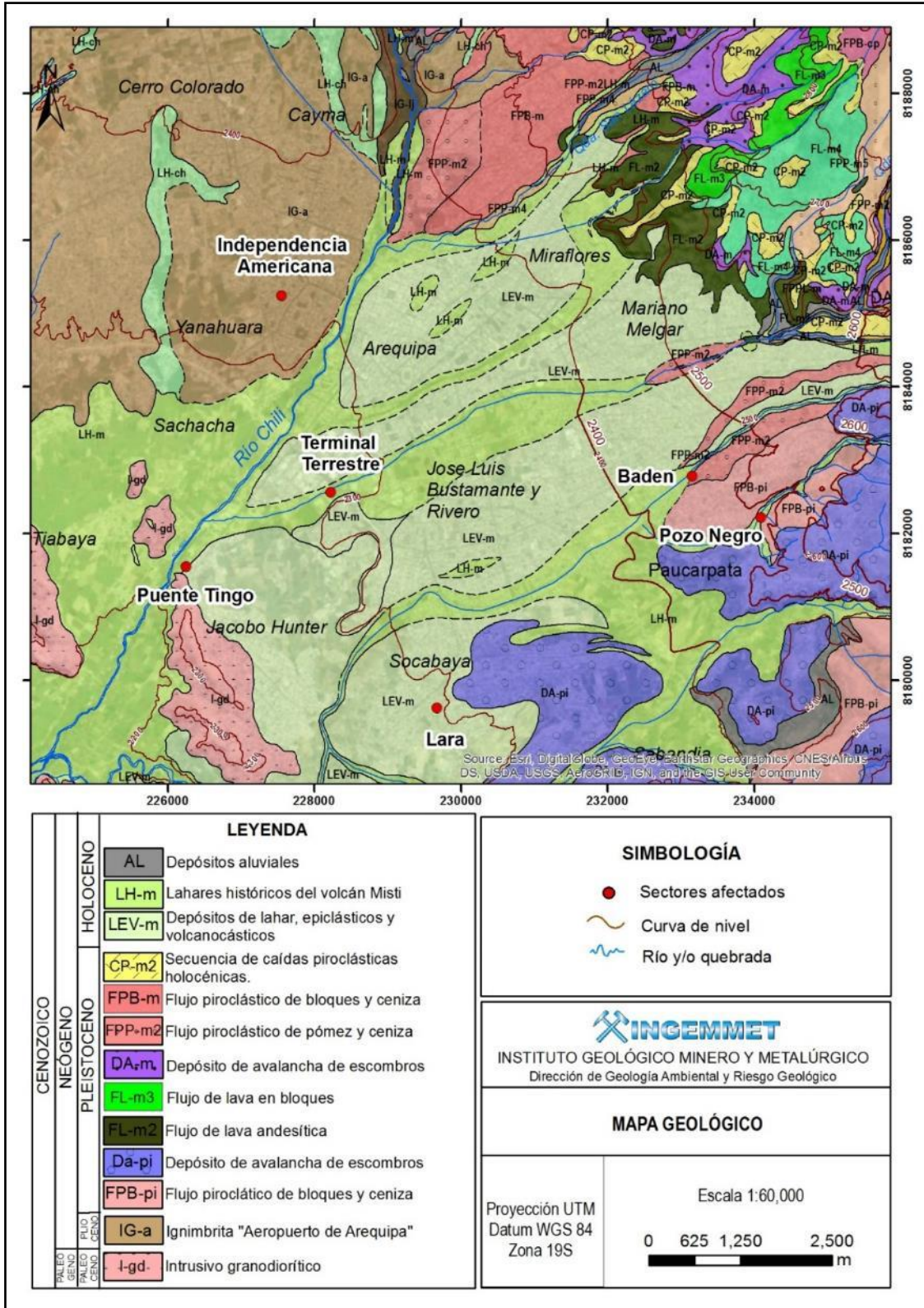


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio, (Mariño et al., 2016). Muestra la ubicación de los sectores afectados por los huaicos en los distritos de Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter y Yanahuara.

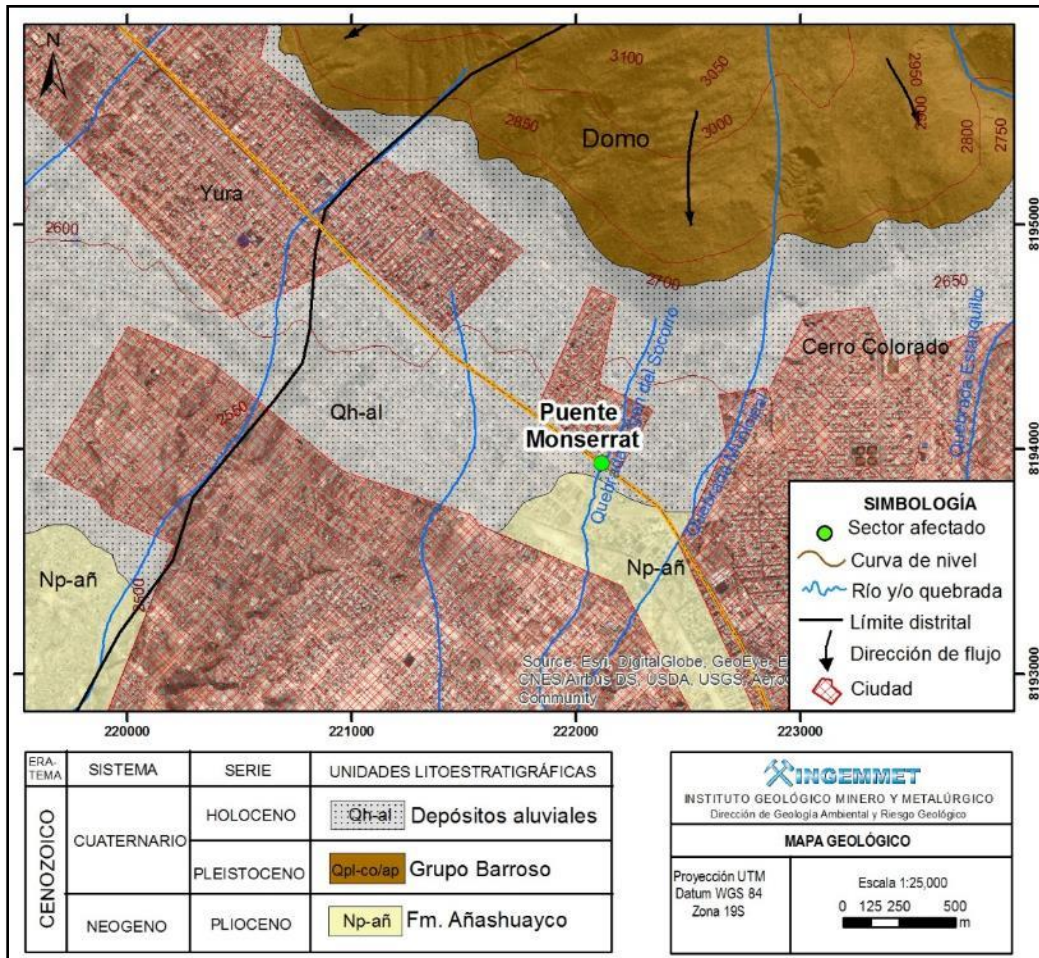


Figura 3. Mapa geológico del área de estudio (cuadrángulo de Arequipa, hoja 33S2). Muestra el sector Puente Monserrat en el distrito de Cerro Colorado.

4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

De acuerdo al mapa geomorfológico del volcán Misti, elaborado por Mariño et al., 2016, las zonas afectadas por huacos en Arequipa (sectores Baden, Lara, Terminal Terrestre, Independencia Americana), se encuentran ubicadas en la unidad geomorfológica abanico aluvial (Aba), figura 4. Esta unidad se extiende entre los 2200 y 2500 m s.n.m., en los tramos finales de las quebradas que bajan del volcán Misti, tales como Pastores, San Lázaro, El Chical y Guarangal. Es una planicie de poca pendiente (~20°), surcada por quebradas que frecuentemente poseen menos de 10 m de profundidad. Se formó debido a sucesivas acumulaciones de lahares y depósitos de caídas y flujos piroclásticos del volcán Misti.

El sector Puente Tingo se encuentra sobre la unidad de llanura de inundación (Llan), figura 4. Esta unidad se inicia al final del Cañón del Río Chili y se extiende a lo largo del valle pasando por la ciudad de Arequipa. En la parte superior (sector de Chilina), es un valle angosto, orientado en dirección N-S, de 500 m de ancho y 200 m de profundidad. La parte media, ubicada en la parte urbana de Arequipa, es un valle un poco más amplio y de menos de 25 m de profundidad, que se extiende en dirección NNO-SSE. En la parte baja (distritos

de Tiabaya y Uchumayo), la llanura tiene una orientación E-O y vuelve a ser angosto (200 a 300 m de ancho) y más profundo. El valle tiene profundidades que varían entre 30 a 150 m. La llanura de inundación está formada por terrazas originadas por el emplazamiento de lahares ocurridos en el Holoceno y durante las épocas históricas, en su gran mayoría. La última inundación ocurrió en el año 1997 y afectó varias áreas de la ciudad, especialmente la zona de la Av. La Marina y Vallecito.

El sector puente Monserrat, se encuentra en la unidad geomorfológica planicie ignimbrítica (pla_i), figura 5. Es un área relativamente plana y extensa que se ubica hacia el oeste de la ciudad de Arequipa y limita al norte con los flujos de lava del volcán Chachani. Esta zona tiene pendientes menores a 15°, y está cortada por quebradas de poca profundidad. Está conformada por una secuencia de ignimbritas cubiertas por una delgada capa de depósitos volcanoclásticos y sedimentos epiclásticos provenientes de los volcanes Misti y Chachani.

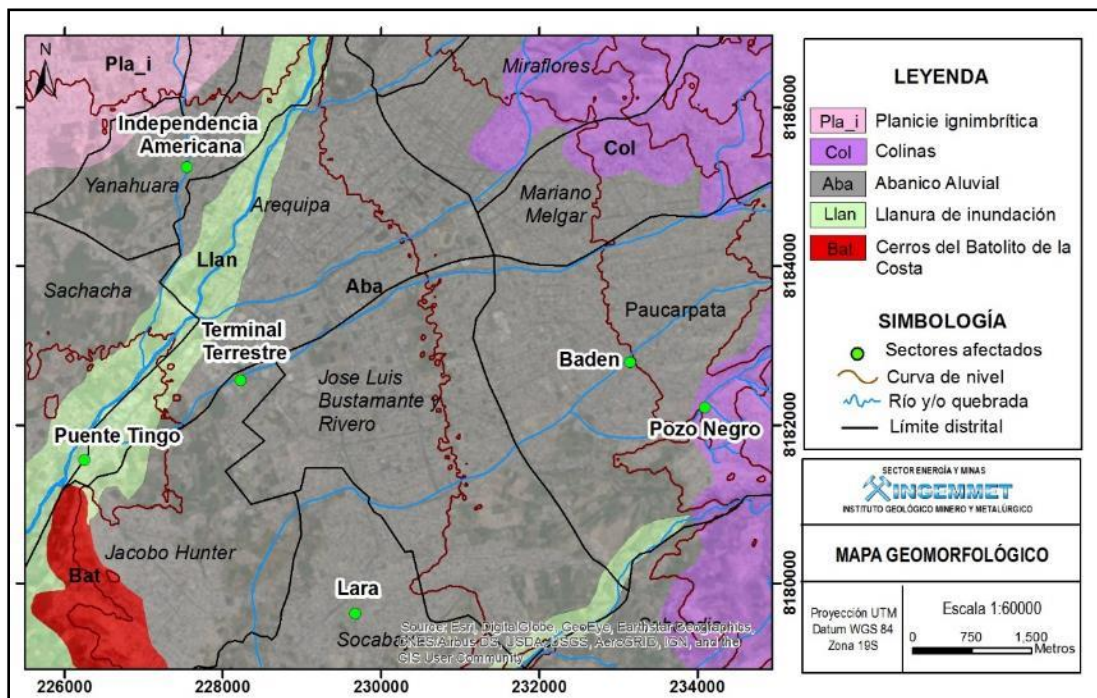


Figura 4. Mapa geomorfológico del área de estudio, (Mariño et al., 2016). Muestra la ubicación geomorfológica de los sectores afectados por los huaicos en los distritos de Paucarpata, Jacobo Hunter, Socabaya y Yanahuara.

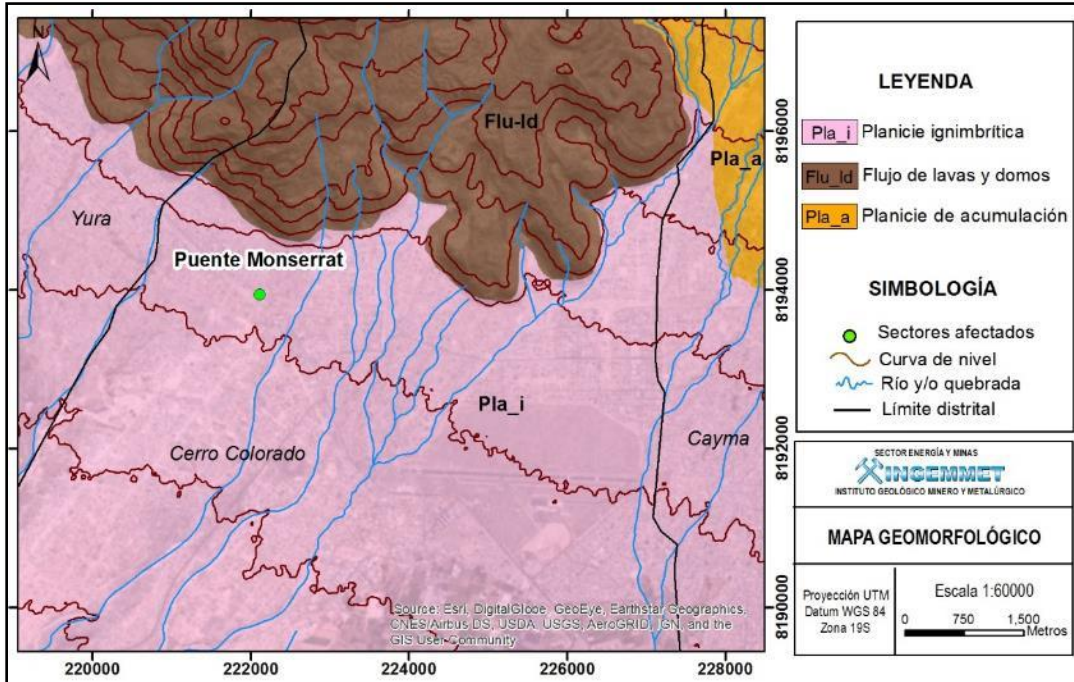


Figura 5. Mapa geomorfológico del área de estudio, (Mariño et al., 2016). Muestra la ubicación el sector Puente Monserrat, afectado por los huaicos en el distrito de Cerro Colorado.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

ZONAS AFECTADAS POR FLUJOS DE LODO

5.1 SECTOR 1: Pozo Negro (distrito Paucarpata)

Alrededor de 15 viviendas fueron inundadas en los sectores Pozo Negro y Cristo Rey en el distrito de Paucarpata. El cauce actual de la torrentera ha sido reducido en su anchura por la construcción de una vivienda y una fábrica de bloquetas; lo cual causó que los huaicos que descienden por esta torrentera se desvíen de su cauce y afecten viviendas aguas abajo (figura 6a y b). Además, la Municipalidad Distrital de Paucarpata ha construido una cancha de fútbol dentro de la quebrada, siendo este un obstáculo para el flujo natural del huaico. La cancha de futbol se encuentra llena de lodo y basura (figura 6c). En las viviendas se aprecia que las marcas de los huaicos alcanzaron hasta ~1.50 m de altura, lo que produjo que artefactos y muebles queden inservibles (figura 6d y e). Los pobladores quedaron con sus viviendas inhabitables tras el ingreso del huaico. También fueron afectados un puente, calles principales y vías de acceso. La quebrada se encuentra parcialmente colmatada (figura 6f).

Factores condicionantes

- Incompetencia del material en la quebrada Pozo Negro, conformado por sedimentos poco consolidados, constituidos de una matriz de arena y bloques de rocas de tamaños centimétricos y decimétricos. Los bloques poseen litología heterogénea, principalmente de origen volcánico.

Factores desencadenantes

- Intensas precipitaciones pluviales que descendieron por la quebrada Pozo Negro.



La Municipalidad de Paucarpata realizó trabajos de limpieza en las viviendas afectadas y en la torrentera con maquinaria pesada. Además, la población colocó sacos terreros en las veredas de sus viviendas, esto como defensa ante nuevos huaicos (figura 7).



Figura 7 a y b. Trabajos de limpieza de la Municipalidad distrital de Paucarpata, en el sector Pozo Negro.

Quebrada Pozo Negro

La torrentera Pozo Negro tiene su nacimiento en tres microcuencas en la parte alta del distrito de Paucarpata, y tiene una dirección general NE-SO. En las laderas de esta quebrada afloran depósitos de lahares históricos y depósitos de caídas de lapilli de pómez volcán Misti (figura 8).

Los lahares históricos están conformados por bloques de hasta 50 cm de diámetro englobados en una matriz areno-arcillosa, posee cerca de 2 m espesor. Los depósitos de lapilli de pómez se encuentran re TRABAJADOS y están conformados por pómez de hasta 2 cm de diámetro, tiene un espesor de 70 cm.

En el cauce de esta quebrada se distingue sedimentos poco consolidados, constituidos de una matriz de arena (60 – 70 %) y bloques de rocas (30 – 40%) de tamaños centimétricos y decimétricos y el 1 % de bloques de tamaño métrico, son de forma subangulosa a subredondeada. Los bloques poseen litología heterogénea, son de naturaleza principalmente volcánico.



Figura 8. Depósitos volcánicos que afloran en la quebrada Pozo Negro. a) lahares históricos del volcán Misti. b) depósitos de caída de lapilli de pómez re TRABAJADOS del volcán Misti en la margen derecha de la quebrada Pozo Negro.

A continuación, se muestra una secuencia histórica de imágenes satelitales Google Earth, del sector Pozo Negro. Se muestra que el ancho del cauce de la quebrada desde el año 2004 hasta el 2013 era de 11 m; sin embargo, desde año 2014 al 2018, el ancho del cauce es 10 m. La imagen del año 2019 muestra que el cauce se ha reducido a 8.5 m; también se observó la construcción de una vivienda en pleno cauce, generando obstrucción para el flujo normal de los huacos (figura 9).



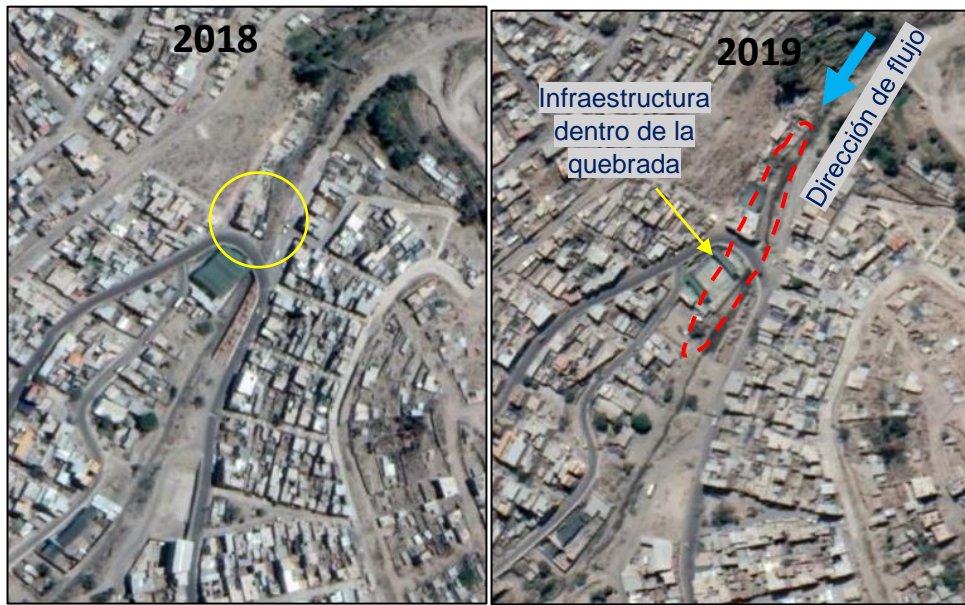


Figura 9. Muestra la reducción del cauce de la quebrada Pozo Negro desde el año 2004 al 2019.

Simulación de flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Pozo Negro

Para la simulación de flujos de detritos para quebrada Pozo Negro, se usó el método de simulación numérica por medio del programa LaharZ. Se determinó 1 escenario por flujos de lodos en base a cálculos de volumen, tomando en cuenta datos de precipitaciones, área de la microcuenca de esta quebrada, y porcentajes de contenidos de agua y sólidos.

Para la simulación se consideró un volumen de 20400 m³. Para este cálculo se utilizó el área máxima de la microcuenca 373000 m² y valores de precipitación tomados por SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú), de la estación meteorológica CPPampilla, ubicado en la ciudad de Arequipa. Se tomaron valores de las precipitaciones ocurridas el 24 de febrero, cuyo valor fue de 27.4 mm (figura 10, tabla 1).

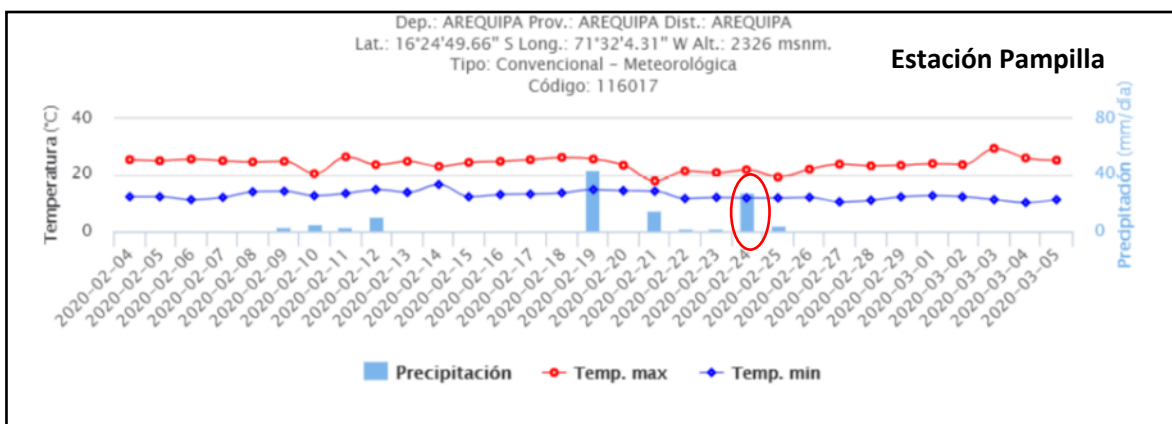


Figura 10. Gráfico que muestra las precipitaciones para los meses Enero y Marzo, estación Pampilla, SENAMHI.

Tabla 1. Valores de precipitaciones para los meses Enero y Marzo, estación Pampilla, SENAMHI.

Departamento : AREQUIPA		Provincia : AREQUIPA		
Latitud : 16°24'49.66"		Longitud : 71°32'4.31"		
Tipo : MAP - Meteorológica		Código : 116017		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/02/2020	24.4	12	60.8	0
2/02/2020	24.8	12.4	62.5	0
3/02/2020	25.2	15	57.2	0
4/02/2020	25.4	12.2	64.3	0
5/02/2020	25	12.2	63	0
6/02/2020	25.6	11.2	58.2	0
7/02/2020	25	12	63.1	0
8/02/2020	24.6	14	64.4	1.3
9/02/2020	24.8	14.2	66.5	3.3
10/02/2020	20.4	12.6	81.7	4.9
11/02/2020	26.4	13.4	74.8	3.1
12/02/2020	23.6	14.8	73.2	11.1
13/02/2020	24.8	13.8	76.3	T
14/02/2020	23	16.6	81.5	0
15/02/2020	24.4	12.2	65.7	0
16/02/2020	24.8	13	74.9	T
17/02/2020	25.4	13.2	63.4	0
18/02/2020	26.2	13.6	69	1.2
19/02/2020	25.6	14.8	76.5	43.4
20/02/2020	23.4	14.4	83.3	T
21/02/2020	17.8	14.2	90.8	14.9
22/02/2020	21.4	11.6	74.8	1.8
23/02/2020	20.8	12	77.4	2
24/02/2020	21.8	11.8	75.9	27.4
25/02/2020	19.2	11.8	86.1	4
26/02/2020	22	12	79.2	1.4
27/02/2020	23.8	10.4	66.5	0
28/02/2020	23.2	11	72	T
29/02/2020	23.4	12.2	71.2	0

La simulación muestra que el huaico se desborda en el sector Pozo Negro (figura 11), e inunda las viviendas localizadas en la margen izquierda de la quebrada.

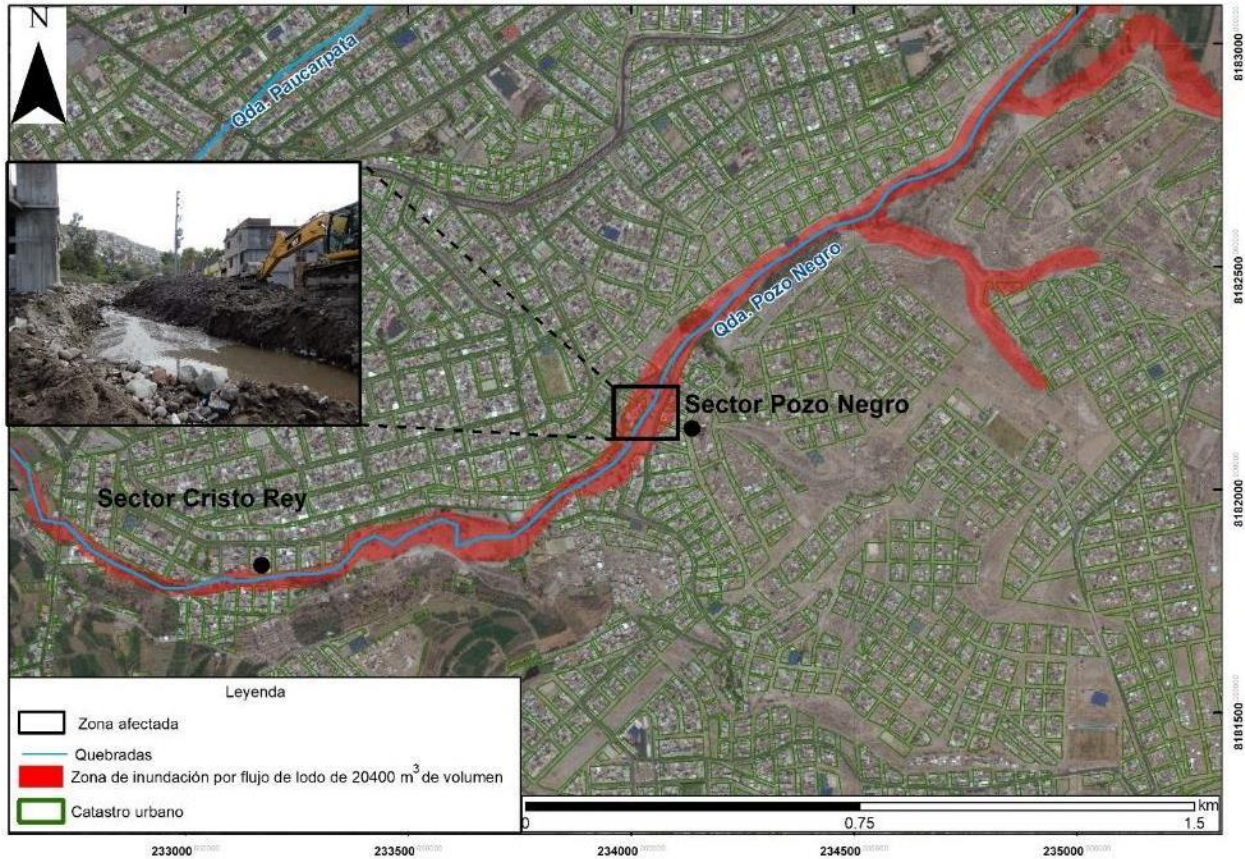


Figura 11. Simulación por flujo de detritos (huaicos) en el sector Pozo Negro.

5.2 SECTOR 2: Baden (distrito Paucarpata)

Las fuertes precipitaciones pluviales del día 25 de febrero en el sector de Paucarpata, originaron huaicos que descendieron por la Av. Guevara Argentina y la Av. Revolución, para luego ingresar a un canal de aproximadamente 3 m de ancho y 1.5 m de alto ubicado en el sector Baden (figura 12a y b, figura 13). En este sector el canal colapsó debido a la gran presión ejercida por los huaicos (figura 12c). Las viviendas que se encuentran asentadas en la Av. Jesús, así como establecimientos públicos fueron inundados por el flujo. Este sector no cuenta con cunetas para drenar el agua o huaicos en tiempo de lluvias.

El suelo en la Av. Malecón Arica es de tipo limo-arenoso deleznable, por ello se generó surcos y cárcavas que tienen hasta 50 cm de ancho y 20 cm de profundidad, esto llegó a socavar la base de las veredas (figura 12d).

En el sector de Baden se observó depósitos de avalanchas de escombros del volcán Misti conformados por bloques centimétricos a métricos (hasta 1.5 m), englobados en una matriz arenosa. Estos depósitos son deleznales y pueden ser fácilmente acarreados por el agua en tiempo de lluvia (figura 12a).

Factores condicionantes

- Rocas de mala calidad de tipo limo-arenoso deleznable, en la Av. Malecón Arica. Depósitos de avalanchas de escombros en el sector Baden conformados por bloques centimétricos a métricos en una matriz arenosa.

Factores desencadenantes

- Intensas precipitaciones pluviales que descendieron de la parte alta de la Av. Guevara Argentina, Av. Revolución y Av. Jesús.



Figura 12. Sector Baden, distrito de Paucarpata. a) dirección de flujo del huaico desde la Av. Revolución y la Av. Guevara Argentina hasta el sector de Baden. b) canal angosto por donde ingresó el huaico. c) canal colapsado, impidió el tránsito peatonal e inundó farmacias y casas. c) cárcavas en suelos limo-arenosos de la Av. Malecón Arica.

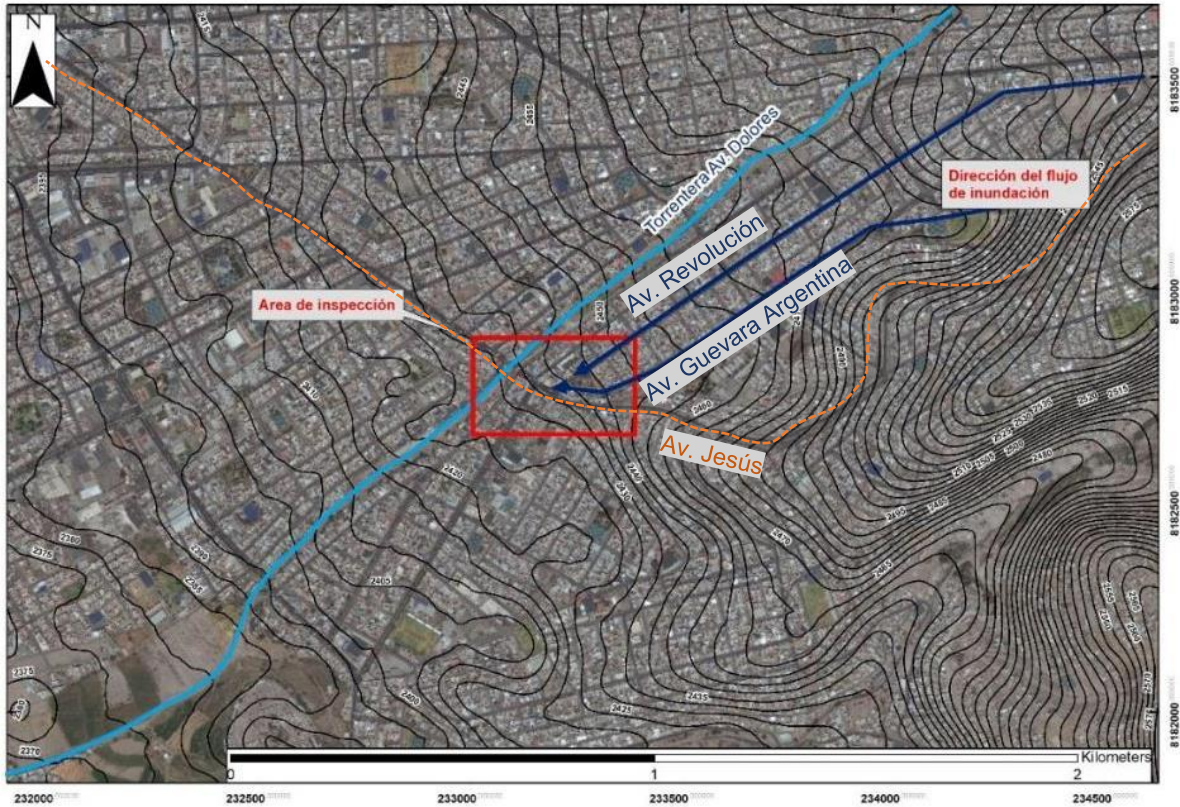


Figura 13. Muestra la dirección de flujo del huaico, desde la Av. Guevara Argentina y Av. Revolución hasta la zona de inundación en el sector de Baden (Av. Jesús).

5.3 SECTOR 3: Lara (distrito Socabaya)

El 24 de febrero se registraron intensas lluvias en el distrito de Socabaya. Los huaicos ingresaron por la torrentera Coscollo y la Av. Salaverry, hacia el sector de Lara (figura 14a y figura 15). Cabe resaltar que según declaraciones de los pobladores la mayor cantidad de agua ingresó por la Av. Salaverry.

Los huaicos colmataron las calles y avenidas, esto ocasionó el colapso de buzones de desagüe porque superó su capacidad de carga (figura 14b y c). Se produjo la afectación de viviendas, vías de comunicación y áreas de cultivo (figura 14d). En las viviendas del sector de Lara se aprecia el huaico tuvo una altura de 1.2 m.

La torrentera Coscollo se encuentra ubicada en el sector de Lara, tiene 3 km de longitud y 10 m de ancho, en dirección NE-SO (figura 14e y f). En casi todo su recorrido de la quebrada se observó que hay material disponible para ser acarreado, además se observó desmonte y basura acumulada. Este material en caso de nuevas lluvias intensas, van a ser removidas e incrementar el volumen del nuevo huaico a formar.

Factores condicionantes

- Material de fácil remoción conformada por arena, grava y bloques. Además basura acumulada dentro de la quebrada Coscollo.

Factores desencadenantes

- Intensas precipitaciones pluviales que descendieron por la quebrada Coscollo y la Av. Salaverry.



Figura 14. Sector Lara, distrito Socabaya. a) dirección de flujo del huaico hacia el sector Lara. b y c) buzones colmatados. d) viviendas que fueron inundadas por el huaico b) material de escombro y basura en la quebrada Coscollo.



Figura 15. Muestra la dirección de flujo del huaico desde la quebrada Coscollo y la Av. Salaverry hacia el área de inundación (sector Lara, distrito Socabaya).

5.4 SECTOR 4: Terminal Terrestre (distrito Jacobo Hunter)

El 25 de febrero el caudal de la torrentera de Los Incas se incrementó, debido a las intensas lluvias. Sobre la torrentera se desarrolló un huaico, donde el material se desbordó a la altura del terminal terrestre e ingresó a estas instalaciones. Dejando un depósito alrededor de 50 cm de altura, conformado por lodo y basura. Esto afectó al terminal, pues más de 8 mil pasajeros no pudieron viajar a diferentes puntos del país (figura 16).

Factores condicionantes

- Abundante material suelto acumulado en la cabecera de la quebrada Los Incas, además acumulación de basura y desmorte.

Factores desencadenantes

- Intensas precipitaciones pluviales que descendieron por la quebrada Los Incas.



Figura 16. Sector Terminal Terrestre, distrito Jacobo Hunter. a) huaico dentro del Terminal Terrestre, b) sacos terreros en la puerta de ingreso al terminal terrestre.

Quebrada Los Incas

La quebrada Los Incas se origina en la intersección de las quebradas denominadas El Chilcal y Guarangal, con dirección general Este a Oeste, desemboca en el río Chili, a la altura del Cuartel Arias Araguez en Tingo.

La quebrada Los Incas es un área sujeta a flujos de detritos (huaicos), erosión fluvial e inundaciones pluviales. En esta quebrada se registra continuamente la ocurrencia de huaicos de gran magnitud, un ejemplo de ello son los huaicos ocurridos el 8 de febrero del año 2013, debido a lluvias excepcionales, como consecuencia se generó severos daños en el área urbana de Arequipa.

El 25 de febrero de este año ocurrió un evento similar al mencionado anteriormente, el agua arrastró abundante material suelto acumulado en la cabecera de la torrentera, además acarreo basura y desmonte que encontró a lo largo de su recorrido. Cuando el material arrastrado por el huaico, llega a la altura del Terminal Terrestre, se desbordó. En este sector, el cauce de la torrentera esta reducido a 4 m, hay que tener en cuenta que en la parte alta del distrito Mariano Melgar tiene aproximadamente 60 m de ancho (figura 17 y figura 18a).

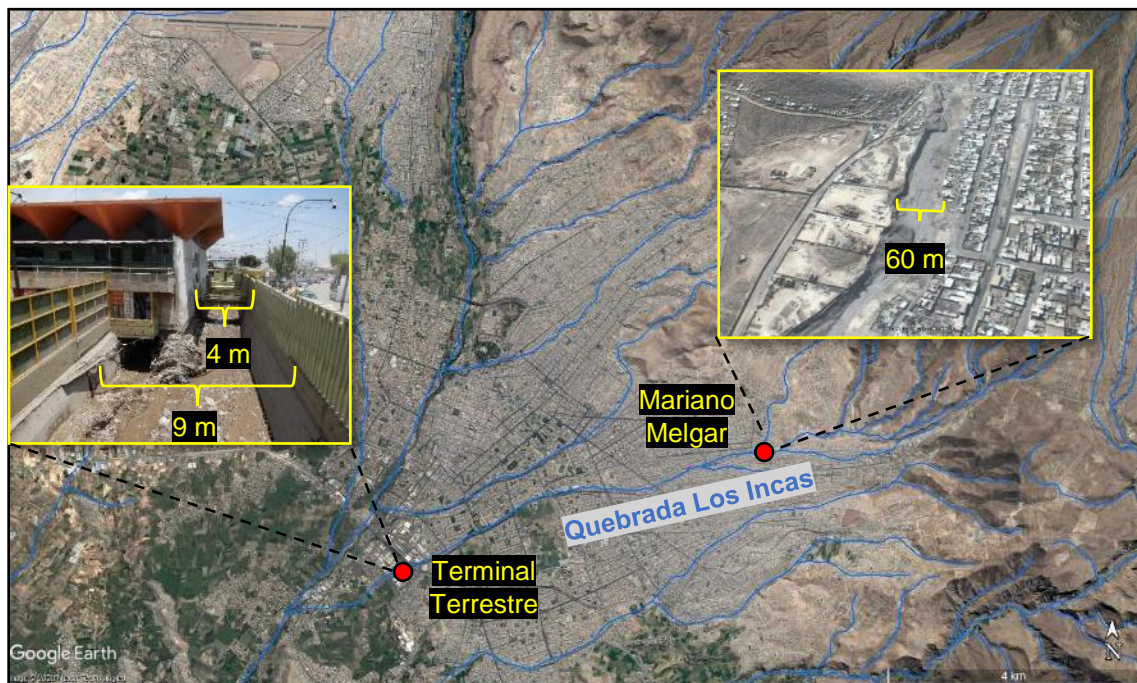


Figura 17. Muestra la reducción del ancho del cauce de la quebrada Los Incas.

A unos 30 m aguas abajo del Terminal Terrestre, el huaico socavó los cimientos del muro de contención (figura 18 b).

Según Juárez (1992), normalmente el huaico se desplaza por el cauce, tiene una cierta capacidad de suspender y arrastrar partículas sólidas. Este movimiento del material sólido, es un fenómeno complejo que depende de diversos factores, tales como la configuración geológica y topográfica del cauce, las características del material del arrastre y las

características hidráulicas de la corriente. Esto produce la llamada *socavación normal* en el lecho de la corriente. Sin embargo, cuando se coloca un obstáculo dentro del cauce (figura 18 a), como un pilar de apoyo de un puente, cambia la velocidad de arrastre, el flujo adquiere mayor impulso en dirección vertical que combinada con el movimiento de avance, da lugar a trayectorias descendentes que atacan el fondo, incrementando mucho la capacidad de arrastre del material sólido y como consecuencia *socava fuertemente* la parte baja. En tal sentido, el conocimiento de la profundidad al que puede llegar la socavación en épocas de lluvias, es fundamental para el diseño de las cimentaciones de los puentes y muros de contención en base a los fundamentos teóricos, experimentos en modelos de laboratorio y análisis de corrientes reales.

El depósito dejado por el huaico del 25 de febrero en la quebrada Los Incas, tiene aproximadamente entre 30 a 40 cm de espesor. Está conformado por y bloques (40%) de forma angulosas a subangulosas y matriz arenosa (60%); presenta un alto predominio de bloques de 15 cm y un máximo de 60 a 70 cm; también presenta material antropogénico (basura y escombros) que contribuye a la contaminación ambiental de la zona (figura 18c y d).



Figura 18. Sector Terminal Terrestre, distrito Jacobo Hunter. a). cauce de la quebrada Los Incas reducido hasta 4 m de ancho. b) cimiento del muro de contención erosionado. c) y d) sedimentos y bloques dejados por el huaico.

Simulación de flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Los Incas

Se consideró un volumen de 200000 m³. Para este cálculo de volumen se utilizó un área máxima de 3500000 m² y un valor de 27.4 mm de precipitación de la estación meteorológica CP Pampilla. La figura 19 muestra que el huaico se canalizó en la quebrada Los Incas, sin embargo al llegar a la altura del Terminal Terrestre se desbordó en varias zonas (figura 19).

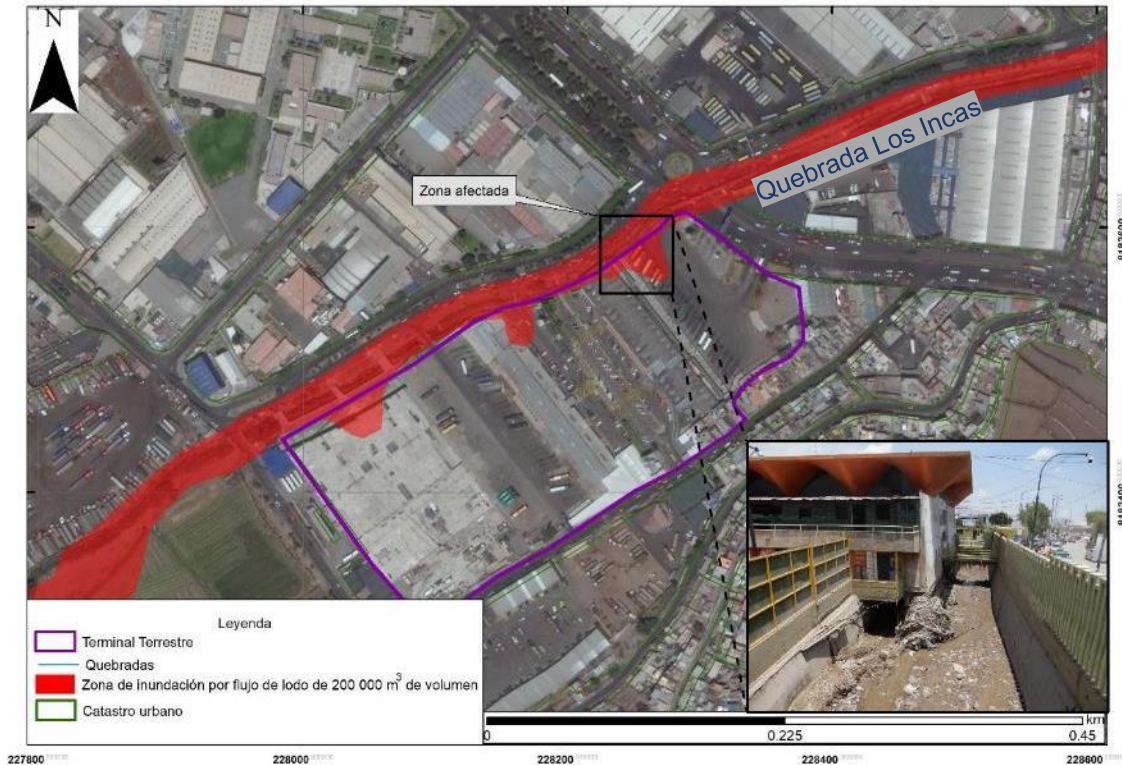


Figura 19. Muestra la simulación del huaico del 25 de febrero, en la quebrada Los Incas.

5.5 SECTOR 5: Puente Tingo (distrito Jacobo Hunter)

Las fuertes lluvias del 25 de febrero afectaron varios sectores del distrito de Jacobo Hunter. El desborde de la quebrada Los Incas se produjo a la altura del cuartel de Tingo, afectó el puente de Tingo y al balneario de Tingo (figura 20). El huaico se emplazó por las avenidas principales e ingresó a algunas viviendas. La altura del huaico en el sector de Tingo fue de hasta 50 cm. Los depósitos dejados por el huaico en este sector, están compuesto por sedimentos de tamaño arena (80-90%) y bloques (10%).

Los pobladores han colocado sacos terreros en las veredas de las calles para protegerse de los huaicos.

Factores condicionantes

- Material suelto, desmonte y basura proveniente de la quebrada Los Incas.

Factores desencadenantes

- Intensas precipitaciones pluviales que se emplazaron por la Av. Alfonso Ugarte, Av. 2 de Mayo, calle Bolognesi, hasta llegar al río Chili.



Figura 20. Sector Puente Tingo, distrito Jacobo Hunter. a y b) Av. 2 de mayo con sedimentos y bloques dejados por el huaico. c y d) El huaico llego hasta 0.50 cm de alto en las viviendas de la Av. Sepúlveda.

Simulación de flujos de detritos (huaicos) en el sector de Tingo

La figura 21 muestra el emplazamiento del huaico en el sector de Tingo, se observa que ingresó por la Av. Alfonso Ugarte, luego se emplazó por la Av. 2 de Mayo y la calle Bolognesi hasta llegar al río Chili. En su recorrido afectó las viviendas del sector de Tingo, Puente de Tingo y Balneario de Tingo.

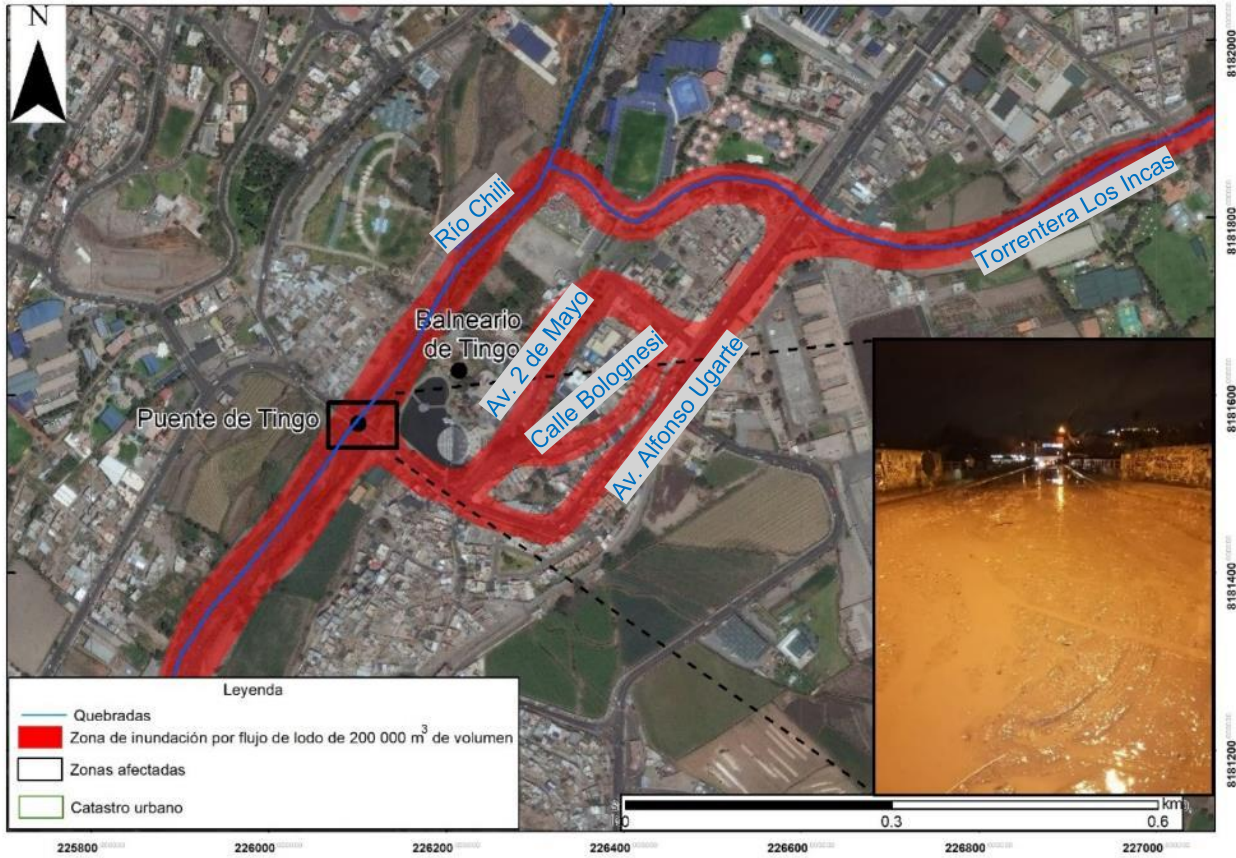


Figura 21. Simulación del huaico del 25 de febrero en el sector de Tingo, distrito Jacobo Hunter.

5.6 SECTOR 6: Urbanización Independencia Americana (distrito Yanahuara)

El día 25 de febrero, tras la crecida del caudal en la quebrada Chullo, se formó un huaico que afectó las estructuras de las viviendas de la Urbanización Independencia Americana. El evento socavó las bases de las casas, ocasionando el derrumbe de 7 viviendas, 6 viviendas presentan graves daños estructurales y 15 se encuentran por colapsar (figura 22 a y b). En este sector se están realizando trabajos de remoción de escombros y la evacuación de las viviendas afectadas.

Factores condicionantes

- Material de fácil remoción conformado por arenas, gravas y bloques. Basura y residuos sólidos en la quebrada Chullo.

Factores desencadenantes

- Intensas precipitaciones pluviales en la quebrada Chullo.



Figura 22. Sector Urbanización Independencia Americana afectada por huaicos. a) Casa destrozada e inhabitable, b) Patio de una vivienda a punto de colapsar, tiene un hueco de 2 m de profundidad.

Quebrada Chullo

La quebrada Chullo, que se ubica en la margen derecha del río Chili y se origina en la quebrada Piedraypicho. Su rumbo general es de NO-SE y desemboca en el río Chili en las cercanías del puente de la Variante de Uchumayo. Es considerada como una de las más riesgosas, principalmente por la elevada cantidad de puntos vulnerables, correspondiendo principalmente a puentes deficientemente diseñados y ubicados en la parte baja de la torrentera.

En el puente Primavera (urbanización Primavera, distrito de Yanahuara), las viviendas se encuentran ubicadas en la parte superior. El cauce de la torrentera Chullo presenta un ancho de 6 m y altura de 3 a 4 m. En este sector se aprecia que la base del muro de contención está socavada, por efecto del paso del huaico generado por las últimas lluvias (figura 23a y b). También, se observó fracturas y asentamientos en la infraestructura, que pueden colapsar (figura 23c). Este problema se agrava principalmente en el periodo de lluvias.

El material que se encuentra en el cauce de la quebrada está constituido de pequeños cantos con un diámetro aproximado de 2 a 3 cm y bloques de hasta 60 cm, contenidos en un material areno-arcilloso de escasa consolidación. También, se observa depósitos de lahares, con espesores de hasta 50 cm, masivos y semicompactos (figura 23d).



Figura 23. Sector Puente Primavera, distrito Yanahuara. a) muro de contención antiguo y debilitado por la erosión de los huaicos. b) pared socavada por los huaicos. c) fracturas en las paredes de las casas a causa de los asentamientos producidos por la socavación en el lecho de la quebrada. d) depósitos de lahares dentro de la quebrada.

En la urbanización Independencia Americana, el cauce de la quebrada Chullo se estrangula, en este sector el cauce tiene entre 3 y 4 m de ancho (figura 24a). Este estrangulamiento, incrementó el poder destructivo del huaico aguas abajo. En este sector, la quebrada tiene un muro de contención en malas condiciones, que, sumado a los voluminosos huaicos ocasionados por las fuertes precipitaciones pluviales de este año, superaron su estabilidad, destrozándolos en su totalidad y ocasionando la destrucción de viviendas (figura 24b). Las próximas avenidas en la temporada de lluvias, pueden continuar socavamiento la base de la pared del muro de contención que viene deteriorándose año tras año a falta de una adecuada infraestructura de defensa.

Por esta torrenciosa también ingresan diariamente las aguas de riego que utilizan las zonas agrícolas del sector de la parte alta, inclusive en épocas de lluvias se ha visto afectada por aguas de desagüe (residuales). También los pobladores arrojan basura y residuos sólidos en su cauce.

La población e infraestructura ubicada en este sector se encuentra en inminente peligro. Además, en este sector se continúa con la tendencia de incremento de la densificación urbana, en la actualidad los lotes tienen edificios de vivienda y comercio con alturas de edificación de 3 pisos a más.



Figura 24. Sector Urbanización Independencia Americana, distrito Yanahuara. a) el cauce de la quebrada se estrangula a 3 m de ancho. b) muro de contención destruido.

Simulación de flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Chullo

Se consideró un volumen de 185000 m³. Para este cálculo de volumen se utilizaron valores de precipitación 27.4 mm de la estación Pampilla y un área máxima de la cuenca de 3340400 m². La figura 25 muestra el emplazamiento del huaico en la quebrada el Chullo en el sector de la Urbanización Independencia Americana. Se observa que el huaico afectó las viviendas ubicadas en ambas márgenes de la quebrada.



Figura 25. Simulación del huaico del 25 de febrero en la quebrada Chullo.

5.7 SECTOR 7: Puente Monserrat (distrito Cerro Colorado)

El Puente Monserrat se encuentra localizado en el sector de Cono Norte, en el distrito Cerro Colorado. Las intensas precipitaciones pluviales del día martes 25 de febrero generaron huaicos que descendieron por las quebradas del sector de Cono Norte. Los eventos causaron daños en la carpeta asfáltica de la vía Arequipa-Yura que comunica Arequipa con Puno, Cusco y el Colca en un tramo de 40 m (aprox.), esto restringió el tránsito vehicular (figura 26).



Figura 26. Vía que comunica Arequipa con Puno, Cusco y el Colca.

La vía Arequipa-Yura es bastante transitada por vehículos de transporte particular, público, interprovincial y de carga pesada. En la intercepción de la vía Arequipa-Yura con la quebrada Virgen del Socorro, se encuentra el puente Monserrat que tiene 16 m. de largo. Debajo de esta estructura, se encuentra una tubería de 2 m de alto y 4 m de ancho (figura 27), por donde discurren huaicos que se generan en tiempo de lluvia. Aparentemente este puente fue diseñado sin tener en cuenta eventos de gran volumen de flujos, por lo cual se llegó a obstruir.

Las intensas lluvias generaron huaicos que se originaron en la parte alta del domo Potrero del volcán Chachani y se canalizaron por las quebradas ubicadas al sur de dicho domo. El puente Monserrat se colmató por el material que acarreo los huaicos procedentes de la quebrada Virgen del Socorro, así como de los flujos de agua que descendieron por las calles de los asentamientos humanos. Esto ocasionó la colmatación del puente Monserrat, la erosión y socavamiento de los cimientos. Las cunetas que se encuentran en las márgenes de la carretera Arequipa-Yura se encuentran llenas de sedimentos (figura 28).

Factores condicionantes

- Rocas de mala calidad, conformadas por lahares y flujos piroclásticos. Los lahares están compuestos por bloques lávicos en matriz areno-limosa. Los depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza son deleznable y de fácil remoción ante intensas precipitaciones pluviales.

Factores desencadenantes

- Intensas lluvias que se originaron en la parte alta del domo Potrero del volcán Chachani, que descendieron por la quebrada Virgen del Socorro y la vía Arequipa-Yura.



Figura 27. Puente Monserrat, distrito de Cerro Colorado.



Figura 28. a y b) Muestran cunetas en márgenes de la vía Arequipa-Yura rellena de sedimentos.

En las viviendas del sector Monserrat, se aprecia que las marcas del huaico alcanzaron ~0.50 cm de altura. En las veredas de las casas y pistas se observa sedimentos y fragmentos de bloques que dejó el huaico (figura 29a). En las calles de este sector se observaron que los alcantarillados pluviales se encuentran colmatados de sedimentos, agua y basura, impidiendo el flujo normal del huaico (figura 29b). También se observó, que el flujo de lodo cubrió casi completamente la cubierta superior de las alcantarillas pluviales (figura 29c). Además, en las zonas aledañas a la carretera se observó procesos de

erosiones en surcos y cárcavas (figura 29d). Las cárcavas tienen hasta 2 m de ancho y 0.5 m de profundidad.



Figura 29. Muestra el sector Monserrat afectada por los huaicos del 25 de febrero. a) vereda de una vivienda con sedimentos y fragmentos de roca. b) drenaje colmatado con sedimentos, agua y basura. c) cubierta superior del drenaje cubierto por los sedimentos que dejó el flujo. d) surcos y cárcavas en zonas colindantes a la carretera Arequipa-Yura.

Quebrada Virgen del Socorro

La quebrada Virgen del Socorro, nace en el domo Potreros del complejo volcánico Chachani. En este sector aflora la ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, depósitos de flujo piroclástico de bloques y cenizas, secuencias volcanoclásticas, depósitos coluviales y depósitos de lahares.

Dentro de la quebrada y en los alrededores de la quebrada Virgen de Socorro se observó depósitos de lahares. Estos depósitos son masivos, de colores gris a marrón y poseen entre 0.5 y 3 m de espesor (figura 30a, b y c). Están conformados principalmente por bloques lávicos de forma redondeada a sub redondeada, englobados en una matriz areno-limosa. Estos depósitos se originaron en periodos de intensas lluvias.

A 50 m al Oeste del puente Monserrat, se observó un afloramiento de flujos piroclásticos de bloques y ceniza. Este depósito es masivo, tiene más de 1.70 m de espesor y es de

color gris. Los bloques juveniles alcanzan a medir más de 15 cm de diámetro, están en moderada proporción volumétrica (30-40%), y se encuentran incluidos dentro de una matriz de ceniza de grano medio. Los bloques contienen cristales de plagioclasa, anfíbol y piroxenos (figura 30d).



Figura 30. a) lahares de hasta 3 m de espesor, aflora en la carretera Arequipa-Yura. b) y c) lahares dentro de la quebrada Virgen del Socorro. d) flujo piroclástico de bloques y ceniza en el sector Monserrat.

En varios sectores de Cono Norte se observó que las quebradas fueron rellenas con material de escombro con fines de vivienda. En las imágenes satelitales Google Earth de los años 2003 y 2019, se aprecia el crecimiento poblacional de los últimos 16 años (figura 31). En la figura 31a, se observa claramente el cauce de la quebrada, mientras que en la figura 31b (imagen 2019), se aprecia que el cauce de la quebrada se encuentra ocupado por viviendas.

El cauce de la parte alta de la quebrada Virgen del Socorro ha sido completamente relleno, con fines de explanación urbana (figura 32a).

A la altura del Puente Monserrat, el cauce de la quebrada en el año 2003, tenía un ancho de hasta 25 m; sin embargo, en la actualidad ha quedado reducida en un ancho de 7 m. Por otro lado, los pobladores del sector Monserrat han depositado desmontes y basura en el cauce de la quebrada, estos depósitos incrementan el volumen del huaico y además generan contaminación y son focos de infección (figura 32b). También se pudo observar criaderos de chanchos localizados en la margen izquierda de la quebrada.



Figura 31. Arriba se muestra una imagen satelital del año 2003, abajo muestra imagen satelital del 2019, se aprecia la expansión urbana en los últimos dieciséis años en el sector de Cono Norte.



Figura 32. a) Parte alta de la quebrada Virgen del Socorro, completamente rellena, b) criaderos de chanchos, basura y desmonte en la quebrada.

El día 26 de febrero, la maquinaria del Gobierno Regional de Arequipa y la empresa concesionaria de esta vía “COVISUR”, trabajaron las 24 horas del día a fin de restablecer el tránsito de la vía Arequipa-Yura. Esta vía se encuentra habilitada desde el jueves 27 de febrero para vehículos de transporte particular, público, interprovincial y de carga pesada.

Se hicieron trabajos de enrocado en la base del puente para proteger la estructura. Además, se excavó una zanja de aproximadamente 1.5 m de diámetro y 10 m de largo con la finalidad de canalizar los huaicos que vienen de la parte alta del sector de Cono Norte y Yura hacia la quebrada Virgen del Socorro. Esta zanja se ubica paralela a la vía Arequipa – Yura.



Figura 33. Trabajos ejecutados por Gobierno Regional de Arequipa, a) enrocado en el puente Monserrat. b) zanja que canaliza los huaicos desde Cono Norte y Yura hacia la quebrada Virgen del Socorro.

Simulación de flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Virgen del Socorro

Se consideró un volumen de 4000 m³, para este cálculo se utilizaron valores de precipitación 27.4 mm de la estación meteorológica CP Pampilla y el área máxima de cuenca de 74000 m². En la figura 34 se aprecia la colmatación del huaico a la altura del Puente Monserrat.



Figura 34. Simulación del huaico del 25 de febrero en las quebradas de Cono Norte.

CONCLUSIONES

1. Los sectores Pozo Negro y Cristo Rey en el distrito de Paucarpata, fueron afectados por los huaicos que se originaron el 25 de febrero. El cauce actual de la torrentera, en este sector esta reducido por las construcciones de una vivienda, de una fábrica de bloquetas y de una cancha de fútbol; lo cual causó que el desplazamiento del huaico se desvíe hacia la parte urbana y afecten las viviendas ubicadas aguas abajo. Así mismo dentro de la torrentera hay material disponible (basura y desmonte) para ser acarreado por las lluvias. En la zona afectada no hay drenajes para evacuar los huaicos o agua de lluvia.
2. En el sector Baden, distrito de Paucarpata, los huaicos descendieron por la Av. Guevara Argentina y la Av. Revolución, luego a la altura del sector Baden el huaico ingresó por un canal que colapsó, esto fue por la fuerte presión del flujo en este conducto. Las viviendas y establecimientos públicos localizados en la Av. Jesús, fueron inundados por el flujo. Este sector no cuenta con cunetas para drenar los huaicos en tiempo de lluvias.
3. En el distrito de Socabaya, los huaicos ingresaron por la torrentera Coscollo y la Av. Salaverry hacia el sector de Lara. Estos eventos colmataron las calles y avenidas, además los buzones de desagüe colapsaron debido a que superaron su capacidad de transporte. El huaico afectó viviendas, vías de comunicación y áreas de cultivo. Se observó que este sector solo tiene drenajes en la margen izquierda de la Av. Salaverry, además los alcantarillados no son capaces de transportar grandes volúmenes de agua.
4. La Torrentera Los Incas se desbordó a la altura de los Terminales Terrestres, el material ingresó a estas instalaciones. Esta quebrada está sujeta a flujos de detritos (huaicos), erosión fluvial e inundaciones pluviales. El cauce de esta quebrada tiene más de 60 m de ancho en las partes altas (sector de Mariano Melgar); sin embargo, a la altura del Terminal Terrestre el cauce ha sido reducido a 4 m.
5. Otro desborde de la quebrada Los Incas se produjo en el distrito de Jacobo Hunter. El huaico ingresó por la Av. Alfonso Ugarte, luego se emplazó por la Av. 2 de Mayo y la calle Bolognesi hasta llegar al río Chili. En su recorrido afectó las viviendas de los sectores de Tingo, Puente de Tingo y Balneario de Tingo.
6. En la Urbanización Independencia Americana, distrito de Yanahuara, el huaico socavó las bases de las casas y ocasionó el derrumbe de 7 viviendas. En este sector el cauce de la quebrada ha sido invadido por viviendas y reducido hasta 3 m de ancho. Por efecto de las últimas lluvias y su antigüedad, el muro de contención se encuentra dañado y en algunos sectores está destruido.
7. En el sector de Monserrat, distrito Cerro Colorado, el huaico causó daños en la carpeta asfáltica de la vía Arequipa-Yura que comunica Arequipa con Puno, Cusco y el Colca, en un tramo 40 m. El puente Monserrat se colmató por el material acarreado por los huaicos procedentes de la quebrada Virgen del Socorro, así como de los flujos de agua que descendieron por las calles de los asentamientos humanos de este sector y de la vía Arequipa-Yura. Los alcantarillados pluviales y cunetas se encuentran colmatados de sedimentos, agua y basura. Además, en las zonas aledañas a la carretera se observó surcos y cárcavas que fueron excavadas por el huaico. De continuar las lluvias en este sector, el puente podría colapsar en su totalidad.

RECOMENDACIONES

1. Ejecutar un proyecto para la construcción de un nuevo muro de contención en la torrentera Chullo, distrito de Yanahuara, para reducir la vulnerabilidad de la población y de la infraestructura urbana adyacente a esta torrentera.
2. A las autoridades competentes, promover mecanismos de reubicación de poblaciones asentadas en fajas marginales. Se recomienda reubicar las viviendas ubicadas dentro del cauce de la quebrada Pozo Negro, así como la cancha de fútbol y la fábrica de ladrillos. Estas infraestructuras obstaculizan el drenaje de la quebrada.
3. En el sector del Terminal Terrestre se recomienda la ampliación del cauce de la torrentera Los Incas, en base a estudios de los máximos caudales probables para esta torrentera.
4. Elaborar urgente un proyecto integral de alcantarillado pluvial, con el diseño adecuado para transportar grandes volúmenes de agua y/o huaicos en el sector de Monserrat (Cerro Colorado), Pozo Negro y Baden (Paucarpata), Balneario de Tingo (Jacobo Hunter) y Lara (Socabaya).
5. Las autoridades deben implementar sistemas de alerta y monitoreo apropiados que incluyan políticas de gestión de riesgo por inundación que permitan la planificación e intervenciones que garanticen la seguridad ante el riesgo por inundación en la ciudad de Arequipa.
6. Realizar evaluaciones periódicas y un estricto seguimiento en las torrenteras con el fin de detectar los cambios que se operan en los cauces, principalmente los de origen antropogénico, actividades que deben ser asumidas por organismos competentes.
7. Ejecutar obras de forestación y de desarrollo de plantaciones vegetales adecuadas en las microcuencas que nacen en la parte alta del Misti, con el objeto de disminuir significativamente la erosión ocasionada por las precipitaciones.
8. Es de suma importancia ejecutar un proyecto de alerta temprana que nos pueda advertir del inicio de los movimientos en masa y se puedan salvaguardar vidas humanas.

Jessica Carolina Vela Valdez
Ingeniera Geóloga
CIP N° 215198

César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y
Riesgo Geológico

BIBLIOGRAFÍA

Mariño, J.; Rivera, M.; Jean-Claude Thouret & Macedo, L.; (2016). Geología y mapa de peligros del volcán Misti, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 60, 170 p., 2 mapas.

Paquereau, P.; Thouret, J.-C.; Wörner, G. & Fornari, M. (2006). Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, southern Peru: stratigraphical and petrological correlations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 154(3-4): 251-275.

Thouret, J.C.; Finizola, A.; Fornari, M.; Legeley-Padovani, A.; Suni, J. & Frechen, M. (2001). Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 113(12): 1593-1610.