

Informe Técnico N° A6470

Inspección Técnica de Peligros Geológicos:
**Peligros Geológicos en el área
del Puente del Ejército**

Distrito Alto Selva Alegre, provincia Arequipa - Región Arequipa

POR:
DR. MARCO RIVERA PORRAS

JULIO 2011



CONTENIDO

1.0 INTRODUCCIÓN	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO	3
2.0 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA	4
2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	4
2.2 ASPECTOS SOCIO – ECONÓMICOS.....	5
2.3 CLIMA.....	5
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	6
3.0 GEOMORFOLOGÍA	7
3.1 LADERAS DE PENDIENTE MODERADA A FUERTE.....	7
3.2 CAUCE DE QUEBRADAS	7
4.0 ASPECTOS GEOLÓGICO	8
4.1 SUSTRATO ROCOSO.....	10
4.2 DEPÓSITOS SUPERFICIALES.....	12
5.0 PELIGROS GEOLÓGICO	14
6.0 MEDIDAS CORRECTIVAS	16
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS	

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones realiza trabajos para identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas, urbanas o rurales, que podrían verse adversamente afectadas por peligros geológicos. Estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines y en reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico y tiene ámbito nacional.

En esta oportunidad se ha desarrollado la inspección geológica en el área del **Puente del Ejército y sus vías de acceso** localizado dentro del Distrito de Alto Selva Alegre (Provincia de Arequipa), sector colindante entre los Asentamientos Humanos Independencia y Pampas de Polanco. Esta área viene siendo afectada por procesos de erosión de laderas, flujos de detritos (huaycos) y por inundaciones periódicas.

Este trabajo presenta la evaluación y análisis del área afectada por los procesos anteriormente mencionados, así como conclusiones y recomendaciones para la prevención, mitigación y/o la estabilización del lugar.

1.1 ANTECEDENTES

El Secretario Técnico del Comité Distrital de Defensa Civil de Alto Selva Alegre (Provincia de Arequipa), mediante Oficio N°041-2011-STDC-SGDUINF/MDASA de fecha 04 de Mayo, dirigida al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicita la elaboración de un informe técnico sobre los peligros geológicos que se presentan en la zona del Puente del Ejército y sus accesos localizado en dicha jurisdicción.

El Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, designa al Dr. Marco Rivera Porras, especialista en riesgo geológico, a realizar trabajos de evaluación.

Para la ejecución de los trabajos de campo, se realizaron coordinaciones con el Ing. Henry Pareja R, Secretario Técnico del Comité Distrital de Defensa Civil de Alto Selva Alegre quien nos facilitó la logística y nos mostró la zona afectada por los procesos anteriormente mencionados.

En el presente informe se detallan los resultados de la evaluación técnica realizada, debidamente ilustrado con fotografías y mapas, donde se describe el origen de los eventos geológicos y sus efectos en la zona. Dicho informe se pone a consideración de las Autoridades de Prevención y Defensa Civil (INDECI), y del Municipio Distrital de Alto Selva Alegre.

1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El trabajo tuvo como objetivo analizar y evaluar los factores intrínsecos y externos ("detonantes") que pueden desencadenar peligros geológicos en el área del Puente del Ejército y sus accesos.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA

2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área del Puente del Ejército y sus accesos se encuentra ubicado en el sector norte del Distrito de Alto Selva Alegre, Provincia Arequipa (Figura N° 1). Justo en el límite entre los Asentamientos Humanos Independencia y Pampas de Polanco. Geográficamente se ubica en la ladera de una colina surcada por la quebrada Huarangueros. Esto al pie del flanco suroeste del volcán Misti. Más específicamente el área evaluada se ubica a 2500 m.s.n.m. y está comprendida entre las coordenadas UTM:

8188373 - 8188419 Norte
231121 - 230960 Este

Esta zona es accesible en 30 minutos, desde el centro de la ciudad de Arequipa en dirección noreste (8 km). El Distrito de Alto Selva Alegre es colindante con los distritos de Miraflores y Cayma.

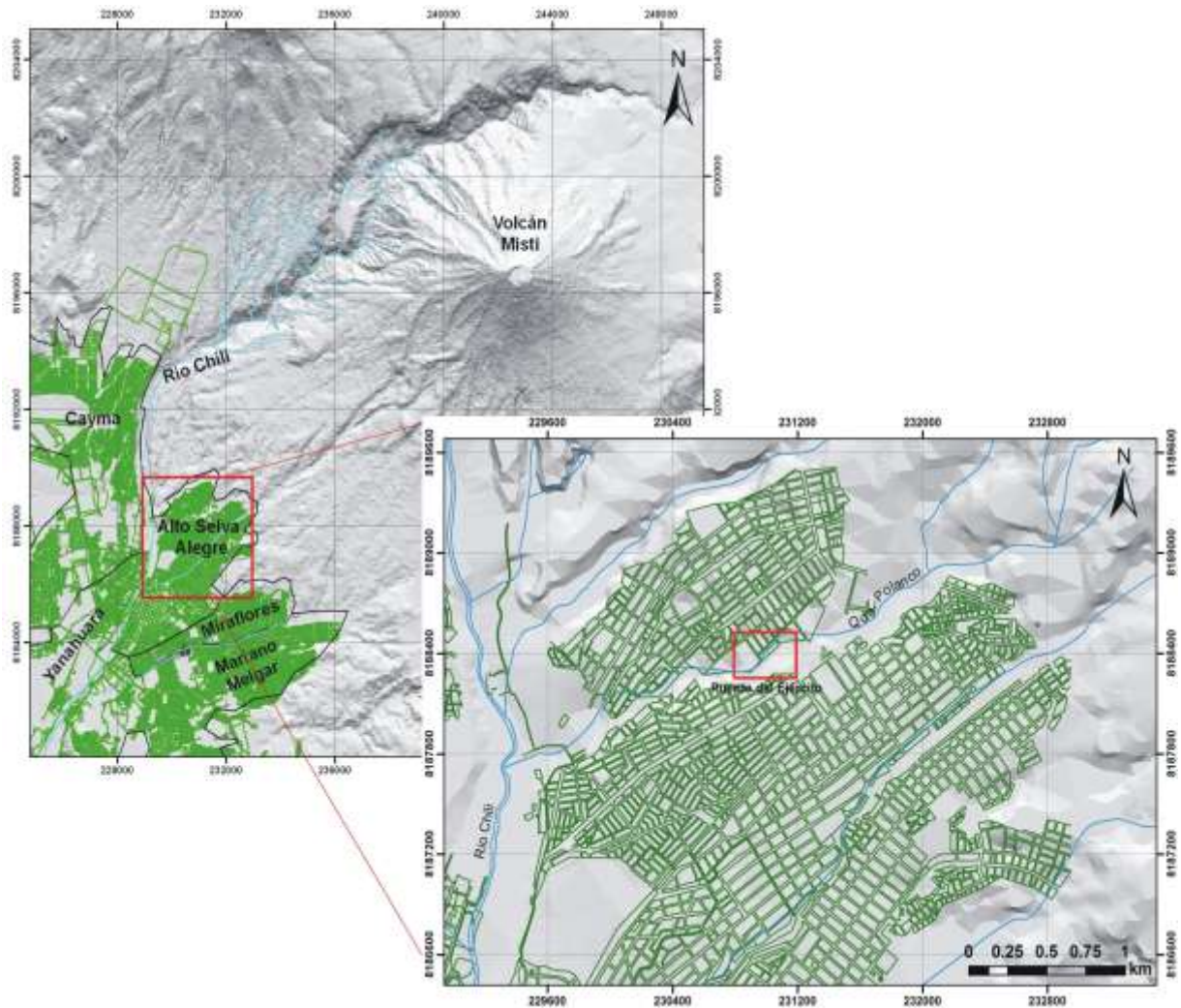


Figura N°1.- Mapa de ubicación de la zona del Puente del Ejército y sus accesos.



Foto N°1.- Vista de la zona del Puente del Ejército y sus accesos.

2.2 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

Un alto porcentaje de la población que viven en áreas aledañas a la zona son trabajadores independientes dedicados principalmente al comercio. Con respecto a las viviendas, de las doce viviendas que existen en la zona, 9 viviendas son de material noble (cemento y ladrillo), la mayoría de dos pisos. Por otro lado, tres viviendas son de material rustico (sillar) y son de un piso. Todos cuentan con los servicios básicos de luz, agua potable y desagüe.

Gran parte del Distrito de Alto Selva Alegre, está en pleno proceso de expansión urbana sin control, ni planificación, ubicándose sobre áreas propensas a sufrir peligros geológicos, como son cauces o laderas de quebradas y laderas de cerros cuyos terrenos son muy frágiles de ser erosionadas por las aguas de lluvias. Asimismo en épocas de lluvias, eventualmente discurren por las quebradas flujos de barro o huaycos ocasionando graves daños en la zona. A partir de octubre de 2007, el distrito cuenta con la Ordenanza Municipal N° 201-2007/MDASA, que prohíbe el otorgamiento de autorizaciones para habilitaciones urbanas en las zonas delimitadas como de Alto Riesgo, teniendo en cuenta informes técnicos proporcionados por INGEMMET.

2.3 CLIMA

La zona presenta un clima seco durante la mayor parte del año (abril a diciembre) y periódicamente lluvioso (enero a marzo). Próxima al área de estudio se ubica la estación meteorológica del SENAMHI, denominada Estación Pampilla (16° 24' 12" S; 71° 31' 6" W; 2400 msnm.). En el Cuadro N°1 se tienen los datos de precipitaciones y de temperaturas registradas por esta estación:

CUADRO N°1: RANGOS DE PLUVIOSIDAD Y TEMPERATURA

Precipitación	Rango de pluviosidad (mm)
Estación de Verano (Enero a Marzo)	0.3- 3.15
Demás meses del año (Abril a Noviembre)	<1
Temperatura	Rango de temperatura (°C)
Estación de Verano (Enero a Marzo)	9 – 24
Demás meses del año (Abril a Noviembre)	6 – 20

En determinados años, como en 1999 y 2011, se produjeron precipitaciones excepcionales sobre la ciudad de Arequipa, que desencadenaron flujos de barro o huaycos que descendieron por las quebradas del flanco suroeste del Misti e inundaron las partes bajas de varios distritos. Recientemente, en febrero de 2011 se registraron lluvias de hasta 25 mm en un solo día (09 de febrero).

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El suelo en el distrito de Alto Selva Alegre y específicamente del área de estudio es poco desarrollado y por ende de poco espesor. Este suelo está conformado por delgados depósitos residuales constituido por gravas y bloques, incluidos dentro de una matriz fina areno limosa. Estos suelos son inconsolidados y de fácil erosión. En algunos sectores no se distinguen suelos (Foto N°2), aflorando solamente rocas (flujos de lava) o depósitos volcánicos poco cohesivos: flujos piroclásticos, caídas piroclásticas y/o lahares (flujos de barro). Es importante mencionar la existencia de abundante material antrópico (desmontes), que cubren los suelos y/o los depósitos volcánicos en el sector sur y sureste del Puente del Ejército y las vías de acceso.



Foto N° 2. Los suelos en la zona de estudio y de manera general en el Distrito de Alto Selva Alegre son muy poco desarrollados. Aquí una vista de un depósito de flujo piroclástico en el sector del denominado Puente del Ejército donde el suelo es prácticamente inexistente.



Foto N° 3. Vista del sector sureste del Puente del Ejército y sus vías de acceso donde existe abundante material antrópico (desmontes), que cubren los suelos y los afloramientos de rocas volcánicas.

3. GEOMORFOLOGÍA

La zona de estudio comprende un área de ladera de suave pendiente (10 a 20° de inclinación) surcada por una quebrada principal, denominada Quebrada Huarangueros, la cual recibe aporte de numerosas quebradas tributarias pequeñas. La altitud de la zona disminuye progresivamente, desde el pie del volcán Misti (menos de 2800 msnm.), hacia el suroeste, donde se localiza el valle del río Chili (localizado aproximadamente a 2400 msnm.). Su relieve es poco accidentado, consecuencia de la depositación de productos del volcán Misti y por acción de los numerosos cursos de agua que sobre él discurren.

Las características fisiográficas del medio están relacionadas con el tipo de litología (incluido el tipo del suelo), la pendiente del terreno, y la acción de los agentes atmosféricos (principalmente lluvias) que han actuado sobre ellas. En la zona de estudio se distingue las siguientes geofomas:

3.1 LADERAS DE PENDIENTE DE MODERADA A FUERTE

Las laderas que existen en la zona corresponden a laderas de colinas y laderas de quebradas. Las laderas de las colinas tienen entre 10 a 20° de inclinación, mientras que las laderas de las quebradas (Quebrada Huarangueros por ejemplo) son casi verticales (60 a 80°). Estas laderas están constituidas por depósitos volcánicos (flujos piroclásticos y lahares) y depósitos coluviales poco cohesivos y sueltos.



Foto N° 4. Vista de la ladera sobre la cual se localiza la vía de acceso del Puente del Ejército (margen izquierda de la quebrada Huarangueros).

3.2 CAUCES DE QUEBRADAS

En la zona de estudio existen cauces de quebradas o torrenteras estacionarias que descienden del flanco suroeste del Misti. La principal quebrada corresponde a la Quebrada Huarangueros que tiene entre 10 a 60 m de ancho y taludes con pendientes de 60 a 80° de inclinación. Sobre esta quebrada se ha edificado el terraplén del Puente del Ejército.



Foto N° 5. Vista de la quebrada Huarangueros (aguas arriba), cuyas paredes son casi verticales. Al fondo se aprecia al volcán Misti.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS.

Según la geología de Arequipa elaborado por Thouret et al. (2001), Paquereau-Lebti et al. (2006); y por Rivera (2010), en el área de estudio se distinguen las siguientes unidades:

4.1 SUSTRATO ROCOSO

IGNIMBRITA AEROPUERTO DE AREQUIPA (SILLAR): En la parte norte y noroeste del Distrito de Alto Selva Alegre, específicamente en el sector del puente del Ejército se distinguen secuencias de ignimbritas pertenecientes a la Unidad Aeropuerto de Arequipa, datado por Paquereau-Lebti et al. (2006) entre 2.4 y 1,6 Ma (Fig. 2). Estas ignimbritas están algo compactas y en total miden más de 60 m de espesor. Cada nivel de ignimbrita tiene entre 8 a 16 m de espesor (Foto N° 6). Estos depósitos están cubiertos en parte por flujos piroclásticos de bloques y cenizas y flujo de barro (lahares) poco cohesivos del Misti. A la vez estos depósitos están cubiertos por material de relleno y desmonte de más de 4 m de espesor. Estos depósitos forman taludes casi verticales de 60° a 80° de inclinación (Foto N° 6).



Foto N° 6. Vista de la quebrada Huarangueros donde se aprecia la ignimbrita "Aeropuerto de Arequipa" (Sillar). Al extremo derecho se distingue el Puente del Ejército.

DEPÓSITOS DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS: Corresponden a cuatro secuencias de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, y pómez y cenizas de 4 a 12 m de espesor (Foto N° 7). Estos depósitos de colores ocres y beige son poco cohesivos o fácilmente deleznable. Estos depósitos están constituidos de lapilli pómez, fragmentos líticos de tamaños centimétricos englobados dentro de una matriz de cenizas. Estos depósitos cubren las ignimbritas descritas anteriormente y a la vez están cubiertos en parte por flujos de barro (lahares), depósitos de caídas piroclásticas y por material de relleno de más de 2 m de espesor. Estos depósitos forman taludes bastante inclinados de 60° a 80° de inclinación (Foto N° 7).

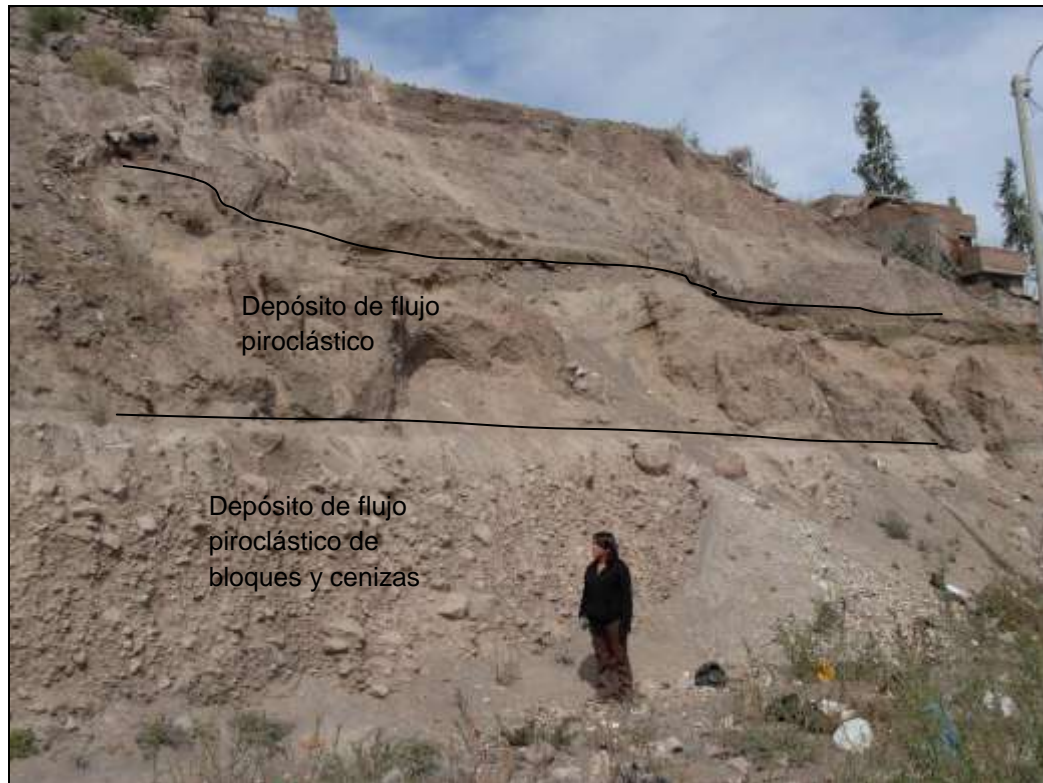


Foto N° 7. Vista de un depósito de flujo piroclástico cubierto por secuencia de lahares y caídas piroclásticas.

4.2 DEPÓSITOS SUPERFICIALES

Los depósitos superficiales son poco abundantes o comunes en el área de estudio. Estos son muy delgados e inconsolidados que eventualmente cubren al substrato rocoso, ignimbritas y depósitos de flujos piroclásticos. Estos están constituidos por grava, arena y limos. Estas son más o menos porosas y bien drenadas; se exponen en las laderas, y en los cauces de quebradas. Los cortes expuestos en las laderas de las quebradas permiten diferenciar estos depósitos, cuyo origen se debe a las acumulaciones de depósitos gravitacionales (coluviales) en los que se incluyen los depósitos de derrumbes, y depósitos de remoción posterior (coluvios). También, se distinguen depósitos residuales sueltos.

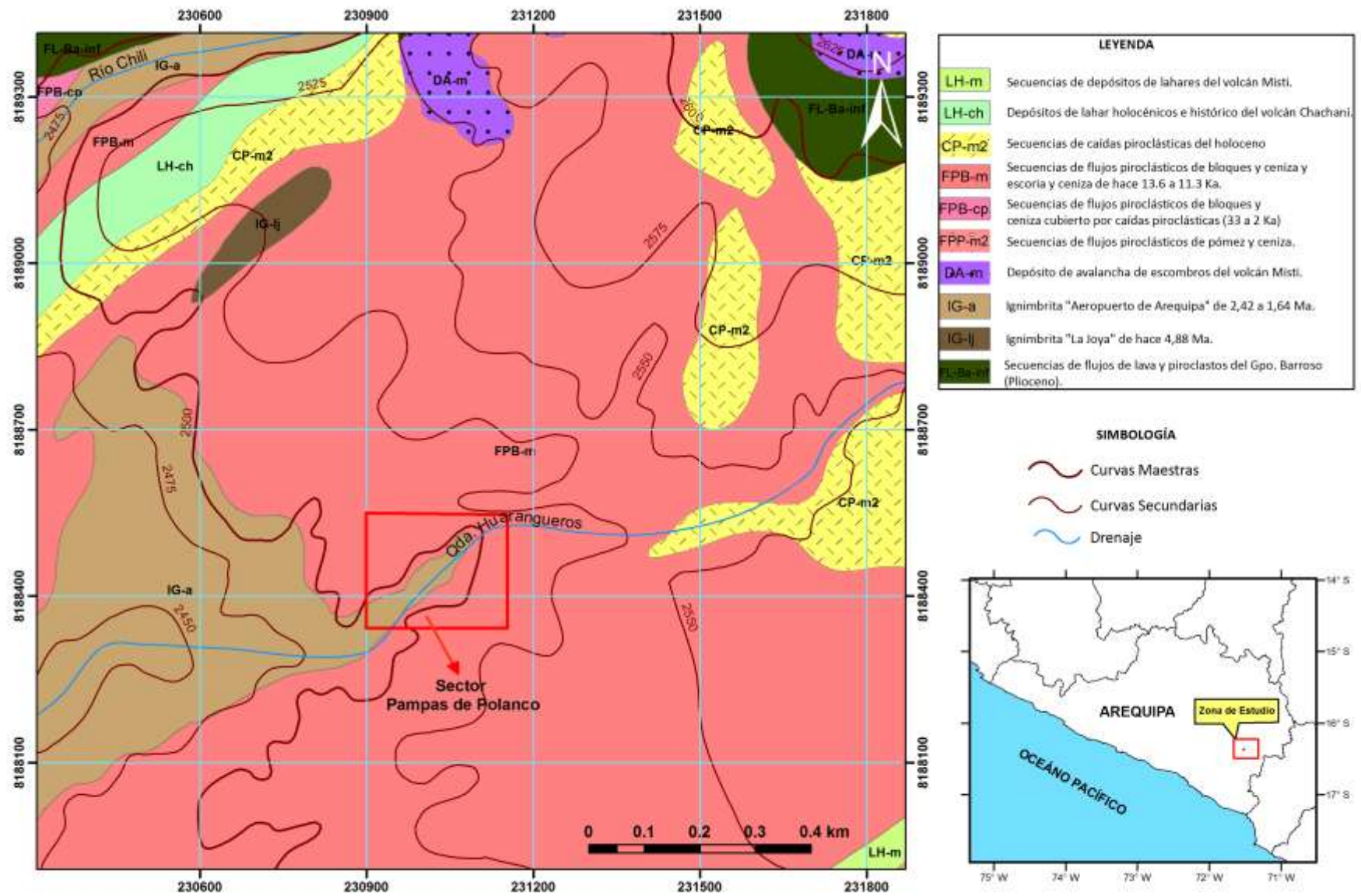


Fig. 2. Mapa geológico del área del Puente del Ejército y zonas aledañas.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

A continuación detallaremos los peligros geológicos identificados en la zona de estudio:



Fig. 3. Imagen Google del área del Puente del Ejército y zonas aledañas.

5.1 EROSIÓN DE LADERAS

En la zona de estudio las laderas de las quebradas son de moderada a fuerte pendiente (40 a 80° de inclinación), mientras que las laderas de las colinas son de baja a moderada pendiente (10-20° de inclinación). Litológicamente, la zona está constituida por una intercalación de depósitos de flujo piroclástico de pómez y cenizas, lahares y depósitos de caída; cubiertos eventualmente por depósitos coluviales y residuales sueltos. Dichos depósitos en inmediaciones del Puente del Ejército están cubiertos por material de desmonte o antrópico de espesor variable. Todo este material es fácilmente erosionado por las aguas de escorrentías que discurren por las laderas en épocas de lluvia. En efecto, las aguas de escorrentías han formado surcos de varios centímetros de ancho y de menos de 2 m de profundidad.

En el sector Este del Puente del Ejército, en un extremo de la vía principal (a la altura de la progresiva 0+040), el cual corresponde a una zona de relleno, el agua de escorrentía producto de las lluvias ha generado una cárcava de hasta 6 m de profundidad y de 4 a 8 m de ancho (Fotos N° 8 y 9). Esto ha sido favorecido por la presencia de la desembocadura del Colector 01-Leticia, ubicado justo en la cabecera de la quebradilla tributaria de la Quebrada Huarangueros (Foto N° 8), que carga en épocas de lluvias.



Desembocadura del colector Leticia

Foto N° 8.
Desembocadura del colector Leticia, cuyas aguas drenan a una quebrada tributaria de la Quebrada Huarangueros. En esta zona se viene produciendo una intensa erosión pluvial.



Foto N° 9 Aguas abajo de la quebrada cuyos bordes están afectados por erosión pluvial el cual desemboca en la Quebrada Huarangueros.

Asimismo, al agua de escorrentía del agua de lluvia ha erosionado y socavado el extremo izquierdo de la vía (Foto N° 10), afectando la berma, vereda y carpeta asfáltica. La erosión y socavamiento ha sido acelerado por la presencia del canal de descarga de evacuación de aguas pluviales (Colector 01 – Leticia).



Foto N° 10. Borde izquierdo de la vía que conduce al Puente del Ejército. El cual fue erosionado por el agua de escorrentía.

El agua de escorrentía periódicamente también erosiona varios sectores de la vía principal del Puente del Ejército. Tal es así que en este sector se identifican varios tramos con problemas de erosión de la carpeta asfáltica, de las bermas y veredas (Fotos N° 11 y 7). Estos tramos afectados tienen entre 10 a 25 m de longitud. Hay que recalcar que la vía tiene un ancho de 5.50 m a 6 m, con pendiente moderadas (2 a 8°) desde el ingreso a la salida presenta sardineles semi-destruidos.



Foto N° 11. Carpeta asfáltica refaccionada, la cual ha sido afectada por el agua de escorrentía que lo ha erosionado (vía de acceso al Puente del Ejército).

Por otro lado, gran parte del denominado Puente del Ejército y sus vías de acceso presentan una carpeta asfáltica dañada o erosionada, sobre todo en sus extremos. En la cual se producen procesos de erosión que afectan la estabilidad del terraplén, así como los postes de luz. El talud del terraplén del denominado Puente del Ejército y sus vías de acceso (material de relleno), presenta surcos producto de la lluvia, y una aparente pérdida de la estabilidad por la falta de apoyo en el extremo inferior. El terraplén está conformado por material de relleno mal clasificado, inconsolidado y con pavimentación en su superficie, instalado sobre el eje del cauce de la quebrada Huarangueros. La estructura cuenta con una alcantarilla metálica de 1.5 m de diámetro.



Fotos N° 12. Se observa la vía dañada del Puente del Ejército, en la cual se desarrollan trabajos de relleno para instalar una geomembrana.

5.2 AVENIDAS E INUNDACIONES

Avenidas esporádicas debido a lluvias torrenciales que ocurren en los meses de diciembre a marzo descienden por este sector y afectan la carpeta asfáltica de la vía, bermas y el terraplén del Puente del Ejército (Fotos N° 13 y 14). Estos procesos son favorecidos por la presencia de la desembocadura del colector de agua 01 – Leticia (altura de la progresiva 0+040) que descarga las aguas pluviales en una quebrada pequeña, tributaria de la Quebrada Huarangueros. Este a su vez posee laderas de poca altura que facilitan que las aguas invadan la vía principal del Puente del Ejército. Hay que remarcar que no se ha concluido con la construcción del colector hasta la quebrada Huarangueros lo que en gran parte facilita la ocurrencia del proceso.



Fotos N° 13. Se observa el paso (Puente del Ejército) con agua inundada la cual muestra la falta de un buen sistema de drenaje.

Frecuentemente, cuando llueve, el material erosionado del terraplén es arrastrado hacia las partes bajas en forma de flujos de detritos. De continuar el proceso terminara por erosionar los taludes y toda la plataforma vial, incluso puede taponar la alcantarilla existente en la parte inferior del talud. En tal sentido, se ve que el terraplén no reúne las condiciones de estabilidad, por la falta de un buen sistema de drenaje de descarga y evacuación de aguas pluviales que permitan protegerlo.



Foto N° 14. Se observa la vía dañada en la cual se desarrollan los trabajos de instalación de una geomembrana.

En la zona también existen tuberías de agua de riego, por debajo de la vía y que están siendo afectadas por los derrumbes en el talud. De continuar el proceso las aguas pueden erosionar y derrumbar los taludes que están al pie.



Foto N° 15. Talud norte al pie del cual se distingue la alcantarilla colmatada. Asimismo se distingue un drenaje provisional cubierto con una geomembrana para evitar descargar el agua de las lluvias y evitar la erosión del talud del terraplén.

6. MEDIDAS CORRECTIVAS

1. En el sector del Puente del Ejército se recomienda: rellenar, nivelar, y compactar el terraplén de la vía principal. Asimismo arborizar o construir muros de contención en los taludes norte y sur del terraplén del denominado Puente del Ejército en toda su extensión.
2. Se deben construir veredas y bermas en ambos extremos de la vía del Puente del Ejército, así como cunetas que eviten la erosión de las áreas superficiales descubiertas en la corona del terraplén.
3. Se debe construir un buen sistema de drenaje pluvial que impida que la vía se inunde y esto a su vez cause erosión.
4. Descolmatación de la alcantarilla metálica del Puente del Ejército ubicada en el cauce de la quebrada Huarangueros.
5. Concluir con la construcción del canal Colector y estructura de descarga 01 del drenaje Leticia, la cual debe atravesar la quebrada afluente hasta el cauce de la torrentera Huarangueros.
6. Realizar la forestación de las laderas de las colinas, con la finalidad de evitar la aceleración de los movimientos en masa (derrumbes) que generan materiales sueltos.

CONCLUSIONES:

1. Sobre el cauce de la torrentera Huarangueros (límite del Distrito de Alto Selva Alegre e Independencia) en el año 1995 se ha construido un terraplén o paso denominado Puente del Ejército y sus vías de acceso, todas asfaltadas. Este paso está conformado por material de relleno (arenas, gravas y bloques) que tiene entre 8 a 12 m de espesor, y entre 8 a 10 m de ancho.
2. Las rocas que afloran en el área de estudio corresponden a ignimbritas (Sillar) perteneciente a la Unidad "Aeropuerto de Arequipa" (Grupo Barroso) sobre el cual descansa una gruesa secuencia de flujos y caídas piroclásticas del Misti, intercalada con niveles de lahares. Estos materiales son poco cohesivos, por tanto de fácil erosión en su exposición en ladera. Susceptibles a derrumbarse por su poca competencia, y mala calidad.
3. El terraplén del denominado Puente del Ejército y sus vías de acceso, tiene problemas relacionados al tipo de material de relleno, diseño, así como la falta de un sistema de protección y drenaje que permita evacuar las aguas de lluvias o escorrentías.
4. En las condiciones actuales, la ocurrencia de lluvias torrenciales y los procesos de erosión podrían ser considerados un peligro para el Puente del Ejército y sus accesos, los cuales prestan servicio permanente en el tránsito vehicular diario. En efecto, en la siguiente temporada de lluvias o la ocurrencia de un SISMO fuerte, el Puente del Ejército y sus accesos pueden ser severamente afectados.

5. Las laderas de las quebradas y ladera de los cerros de las áreas aledañas al Puente del Ejército y sus vías de acceso son consideradas como de alta susceptibilidad a los movimientos en masa (derrumbes, huaycos y erosión de laderas) por presentar condiciones que propician estos fenómenos, tal como rocas volcánicas de mala calidad, pendiente elevada del terreno y la ocurrencia de precipitaciones pluviales intensas. En tal sentido, la infraestructura: Puente del Ejército y sus vías de acceso, las viviendas (localizadas en ambos lados de las vías de acceso), los postes de luz, etc. se consideran de alto riesgo.

RECOMENDACIONES

1. Para evitar el colapso parcial o total del denominado Puente del Ejército, debido a problemas de escorrentía superficial (en épocas de lluvias), y/o a sismos de gran magnitud, es necesario construir un apropiado sistema de drenaje como obras de prevención, para evacuar las aguas producto de lluvias. Además se debe estabilizar los taludes y elevar los estribos norte y sur del puente.
2. Construir veredas y bermas en la superficie de la corona del terraplén para evitar la erosión y la mejora en el tránsito de las personas.
3. La arborización de la superficie de los taludes norte y sur del terraplén del Puente del Ejército, la cual servirá para protegerlos de los agentes erosivos y estabilizar los taludes.
4. La construcción de un sistema de drenaje pluvial (captación y derivación a torrentera). Esto evitará la erosión y acumulación de aguas superficiales en la vía asfaltada y su desborde hacia los taludes, evitando su erosión y desestabilización.
5. El sellado de fisuras y bacheo de carpeta asfáltica existente para proteger y conservar la carpeta asfáltica y así mejorar el tránsito de vehículos.
6. Limpieza y descolmatación de la alcantarilla metálica.
7. Concluir con la construcción del Colector y estructura de descarga 01 del drenaje Leticia, la cual debe atravesar la quebradilla afluente hasta el cauce de la torrentera Huarangueros. Esto para evitar el desborde de la quebrada, inundaciones y procesos de erosión que pueden comprometer el Puente del Ejército, las vías de acceso y las viviendas localizadas a un costado de dicha vía.

REFERENCIAS

- Paquereau-Lebti, 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, 251–275.
- Rivera, M., (2010). Genèse et évolution de magmas andésitiques à rhyodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (sud du Pérou). Tesis Doctoral (PhD), Universidad Blaise Pascal (Francia), 407 p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2011). Datos de temperatura y precipitación de los últimos seis años. www.senamhi.gob.pe
- Thouret, J.-C., Finizola, A., Fornari, M., Suni, J., Legeley-Padovani, A., Frechen, M., (2001). Geology of El Misti volcano nearby the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin* 113 (12): 1593-1610.