

# EVALUACIÓN DE PELIGROS EN LA QUEBRADA MATAGENTE – CHARCANI

Región Arequipa  
Provincia Arequipa  
Distrito Cayma



RIGOBERTO AGUILAR  
JESSICA VELA

ABRIL  
2018

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 ANTECEDENTES .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	5
1.3 UBICACIÓN .....	5
2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	7
3. GEOLOGÍA .....	9
4. MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI.....	13
5. PELIGROS POR MOVIMIENTO Y FLUJOS EN MASA.....	14
6. SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS MASA.....	19
CONCLUSIONES .....	23
RECOMENDACIONES .....	24
BIBLIOGRAFÍA.....	25

## 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, susceptibles a ser afectadas por fenómenos geológicos que pudieran 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 presente informe presenta los resultados de la inspección geológica en la quebrada Matagente, ubicada en el sector Charcani Grande – Arequipa, localizada en la margen izquierda del cañón del río Chili. En febrero del 2017 en dicha quebrada se produjo el ingreso de un huaco o flujo de barro, que trajo como consecuencia daños de la línea de conducción de agua cruda a la planta de tratamiento de agua potable La Tomilla II, de la Empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa SEDAPAR, desabasteciendo a aproximadamente 300000 usuarios de la ciudad de Arequipa del servicio de agua potable, durante un periodo de once días.

### 1.1 ANTECEDENTES

Las intensas precipitaciones pluviales ocurridas durante el mes de febrero del 2017 produjeron el arribo de al menos veinte lahares provenientes del flanco noroeste del volcán Misti. Uno de éstos, descendió por la quebrada conocida como “Matagente”; esto sumado a la crecida del caudal del río Chili, hasta un pico de 45 m<sup>3</sup>/s, impactaron directamente contra el muro **de protección construido en el margen derecho del río Chili** y paulatinamente comenzó a “carcomer” la tierra de la base, provocando la ruptura de alrededor de 40 m de tubería de la línea de conducción de agua. Este hecho dejó sin el suministro de agua potable al Cono Norte y zonas altas de los distritos de Cayma, Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata en la ciudad de Arequipa.

La planta de agua Miguel De La Cuba (La Tomilla II) abastece a los distritos Paucarpata, Miraflores, Alto Selva Alegre, Cerro Colorado, Mariano Melgar, Cayma y Yura. Se trata del 30% de la población arequipeña.

En las fotos 1 y 2, se puede observar el tubo partido y en la otra ribera un material detrítico acumulado que anteriormente no existía. El día que ingreso el huayco, en esta zona, el río Chili pasó de tener un aforo de 24 m<sup>3</sup>/s a 45 m<sup>3</sup>/s de forma súbita.



**Foto 1.** Colapso de bloque de protección de la tubería de conducción de agua hacia la planta de tratamiento La Tomilla II. Imagen: RPP.



**Foto 2.** Trabajos de limpieza y restauración en la vía de conexión de centrales hidroeléctricas de Charcani. Foto: Diario Correo

A raíz de este incidente, SEDAPAR, empresa a cargo del servicio, dispuso la distribución de agua dos veces por día e indicó que se deberá fabricar una nueva tubería para colocarla provisionalmente. Finalmente, las labores de mantenimiento y los trabajos de restablecimiento duraron varios días. De acuerdo a la información recogida por los medios de comunicación,

desde el momento en que la planta de tratamiento de agua potable inició su producción tardó poco más de 72 horas en dotar de agua al último de los usuarios. En tanto, 34 cisternas recorrerían la ciudad mientras se mantenía interrumpido el servicio de agua. No solo los distritos que son abastecidos por la planta La Tomilla II, sino aquellos que corresponden a La Tomilla I, debido a que su producción habría caído a ocho horas, cuando le corresponde 24 horas.

Luego de haber concluido los trabajos de reparación, el agua tardó cuatro horas en llegar a la planta de tratamiento, debido a que debió recorrer 11 km desde la zona de captación. El hecho de limpiar y dejar en óptimas condiciones el agua aún turbia, le tomó a la planta poco más de dos horas. Luego fueron abastecidos los reservorios para finalmente llegar a los hogares.

En vista de los graves problemas causados por el desabastecimiento de agua potable en la ciudad de Arequipa y con el fin de prevenir este hecho en el futuro o en la próxima temporada de lluvia, la Oficina Regional de Defensa Nacional y Defensa Civil, mediante Oficio N° 688-2017-GRA/ORDNDC, de fecha 30 de octubre de 2017, dirigida al Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET, solicitó se realice un estudio de evaluación de peligro en la quebrada Matagente ubicada en el Sector Charcani Grande. El Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico designó a los ingenieros geólogos, Rigoberto Aguilar y Jessica Vela, para realizar la inspección geológica del lugar en mención.

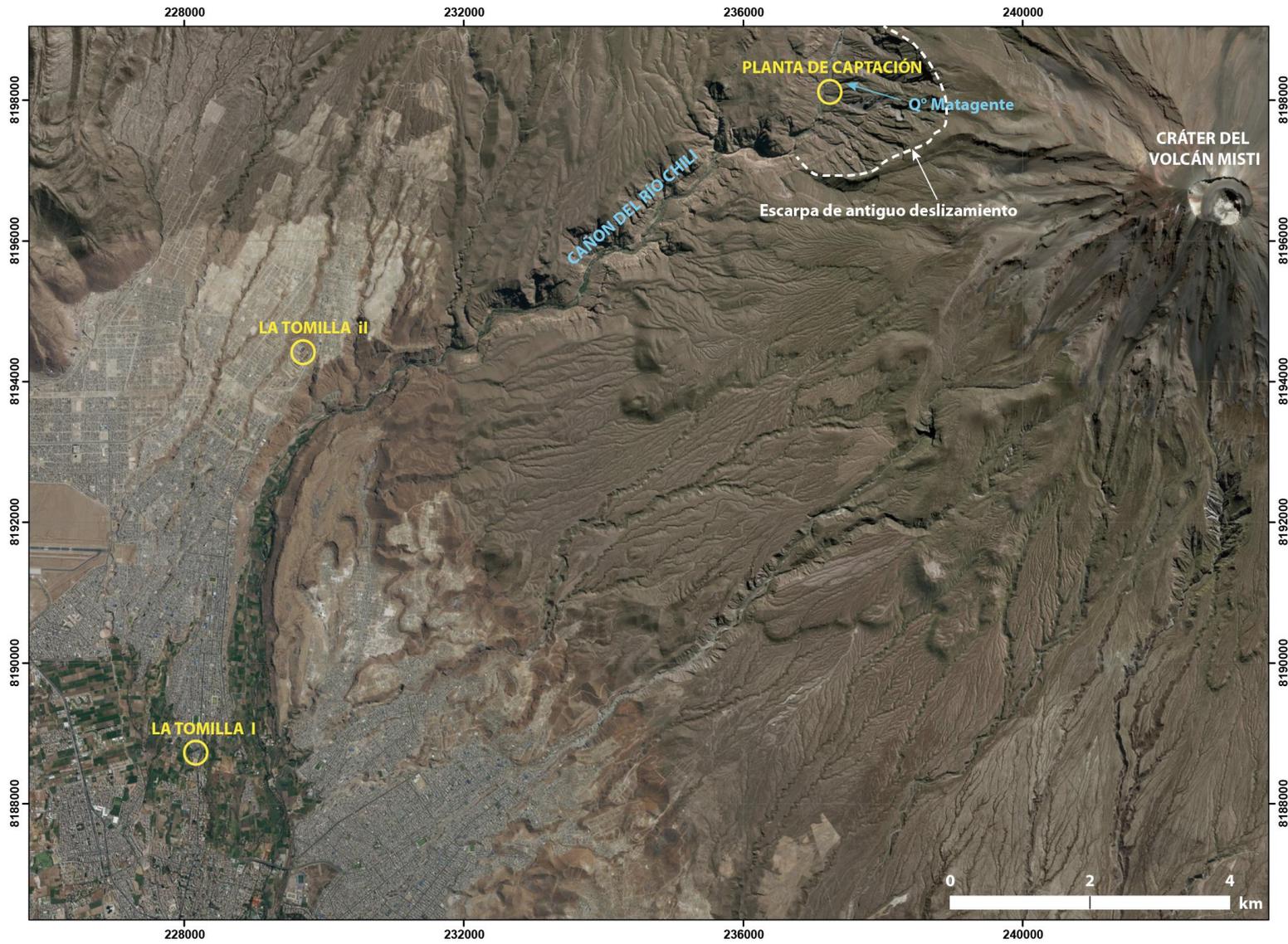
## **1.2 OBJETIVOS**

El objetivo principal es realizar la evaluación de peligro en la quebrada Matagente en el sector Charcani Grande – Arequipa, debido al ingreso de huaicos o flujos de barro que ponen en riesgo el sistema captación de agua potable destinada al consumo de gran parte de la ciudad de Arequipa.

## **1.3 UBICACIÓN**

La evaluación se realizó en zonas aledañas a la quebrada Matagente y la planta de captación de aguas para la planta de tratamiento La Tomilla II. La quebrada Matagente se localiza en el sector Charcani Grande, provincia y región Arequipa. Se encuentra en la margen izquierda del río Chili y a 6 km al oeste del volcán Misti (figura 1). Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son:

Latitud: 16° 17' 02.15" Sur  
Longitud: 71° 27' 36.04" Oeste



**Figura 1.** Mapa de ubicación donde se muestra la zona de inspección geológica.

## 2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

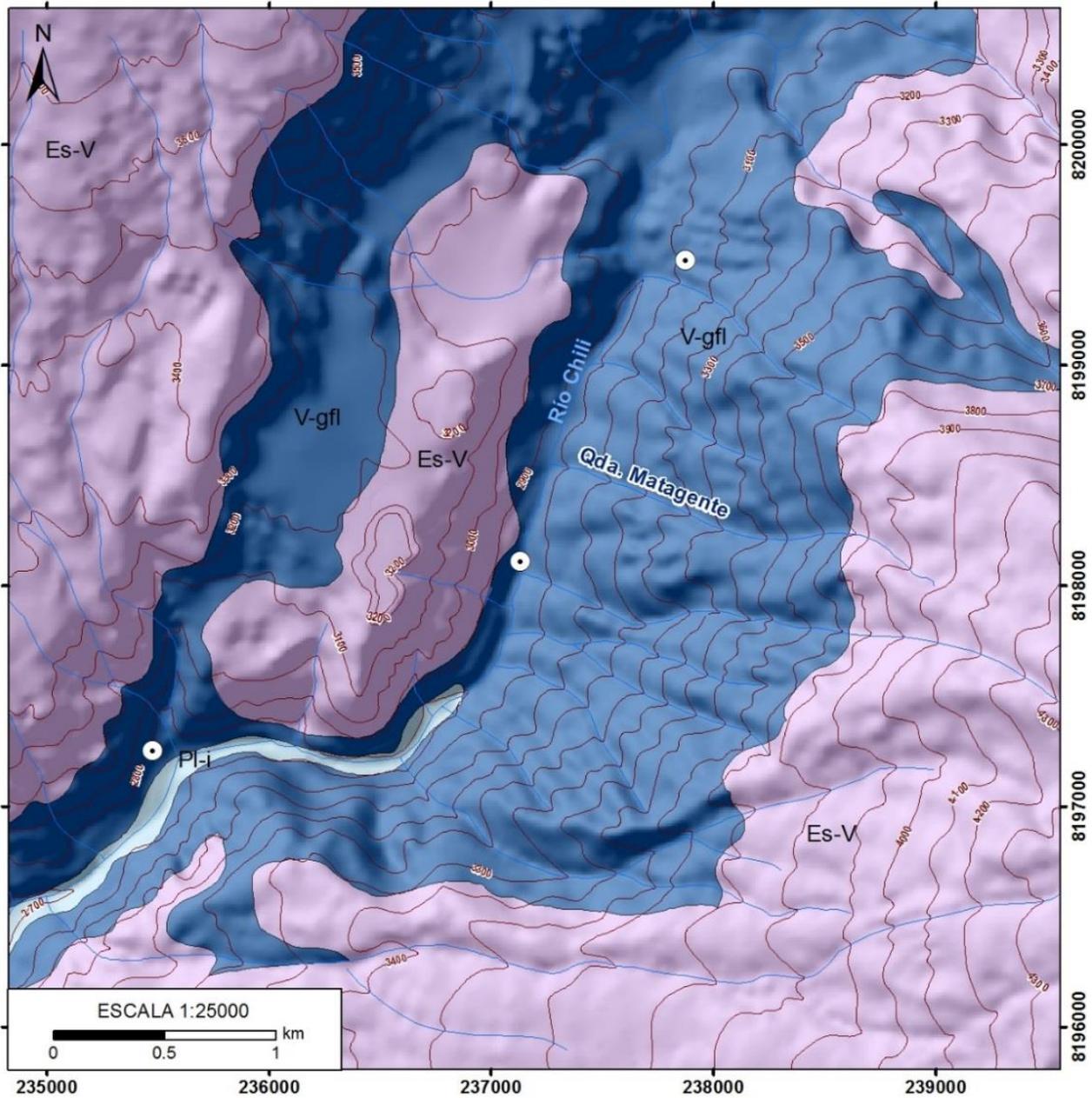
En la zona de estudio se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas:

**Estratovolcán (Es-v):** Esta unidad comprende a geoformas relacionadas al estratovolcán Estribo perteneciente al complejo volcánico Chachani y al estratovolcán Misti. El Estribo, se encuentra al noroeste del cañón del río Chili, con afloramiento que forma una pared muy empinada de flujos de lava y depósitos volcanoclásticos. El volcán Misti se ubica entre los 3000 y 5822 msnm. Se caracteriza por presentar pendientes moderadas (entre 15° y 40°), y es surcado por un sistema de drenaje radial, con quebradas de 10 a 50 m de profundidad (figura 2). Está conformado por flujos de lava del volcán Misti, emplazados entre 50 y 120 mil años (Thouret *et al.*, 2001).

Superficialmente está cubierto por depósitos volcanoclásticos que corresponden a cenizas retrabajadas y depósitos coluviales. Los flujos de lava poseen entre 10 y 50 m de espesor. En el estrato-cono inferior se distinguen lavas con algunas estructuras tipo levée las cuales se hallan distribuidos de manera radial. En la parte central del mapa geomorfológico (figura 2) la unidad está conformada por un depósito de avalancha de escombros producto de un colapso del flanco noroeste del volcán Misti.

**Vertiente Glacio-fluvial (V-gfl):** Esta vertiente se formó debido a la erosión del río Chili labrada en una secuencia volcanoclástica de los volcanes Misti y Chachani (figura 2). La vertiente se inicia cerca de la represa Aguada Blanca, a 3700 msnm, y está ubicado entre los volcanes Misti y Chachani. Las márgenes o paredes de la vertiente se caracterizan por presentar pendientes muy fuertes que van de 35° a 75°. Posee una longitud cercana a 20 km; en sus primeros 5 km está orientado en dirección E-O y los restantes están orientados en dirección NE-SO. Posee una profundidad que va de 150 a 400 m en sus tramos iniciales y finales, y más de 2600 m en su parte media. En las zonas más estrechas tiene menos de 30 m de ancho.

**Llanura inundable (Pl-i):** Corresponde a un valle angosto, orientado en dirección NE-SW, de 150 a 200 m de ancho y 50 m de profundidad (figura 2). La llanura de inundación está formada por terrazas originadas por el emplazamiento de lahares en su gran mayoría ocurridos en el Holoceno y durante la época histórica.



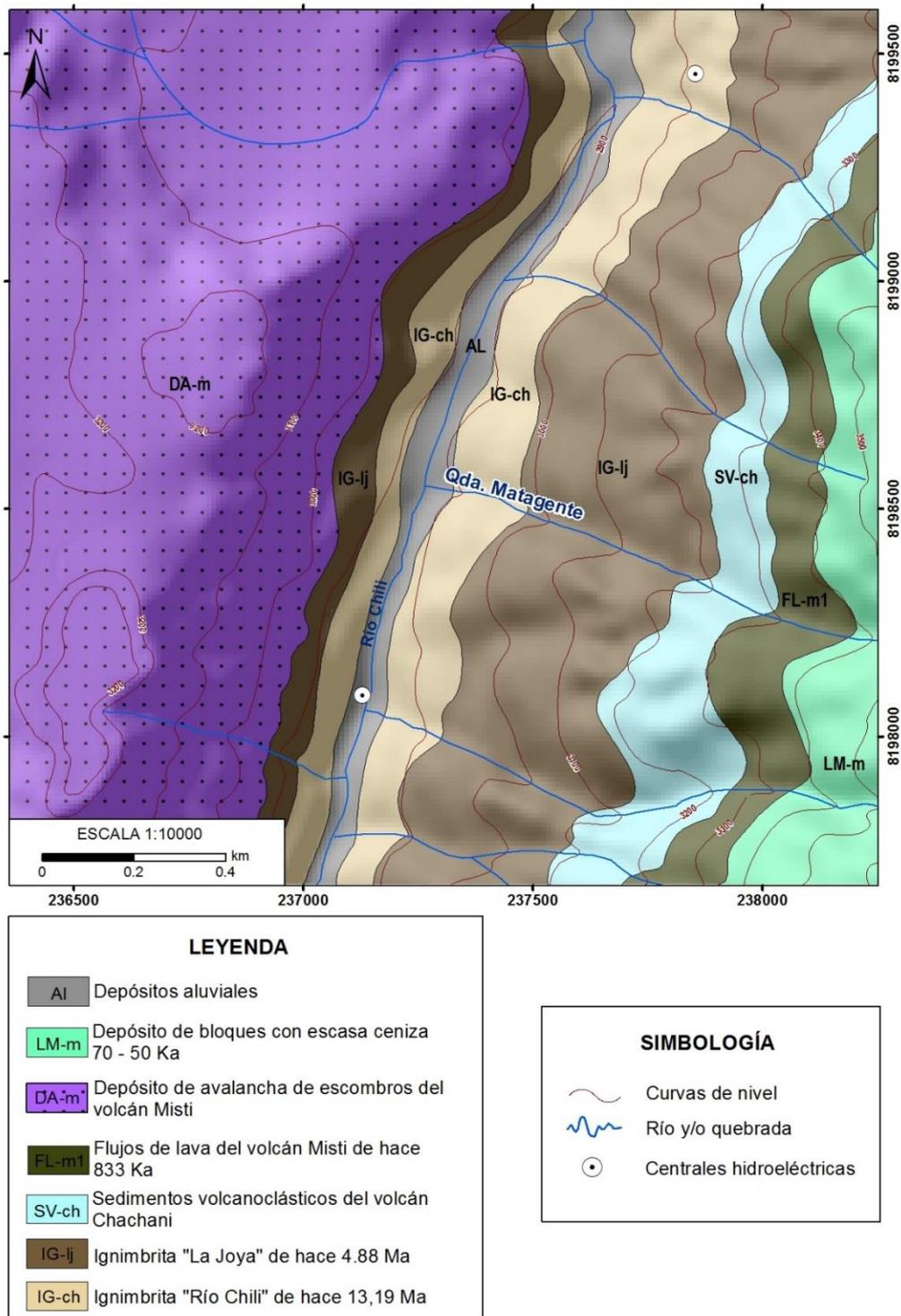
LEYENDA	
<span style="background-color: #d8bfd8; border: 1px solid black; padding: 2px;">Es-V</span>	Estratovolcán
<span style="background-color: #00008b; color: white; padding: 2px;">V-gfl</span>	Vertiente Glacio-fluvial
<span style="background-color: #add8e6; border: 1px solid black; padding: 2px;">Pl-i</span>	Llanura o planicie inundable

SIMBOLOGÍA	
	Curvas de nivel
	Río y/o quebrada
	Centrales hidroeléctricas

**Figura 2.** Unidades geomorfológicas en la zona de estudio

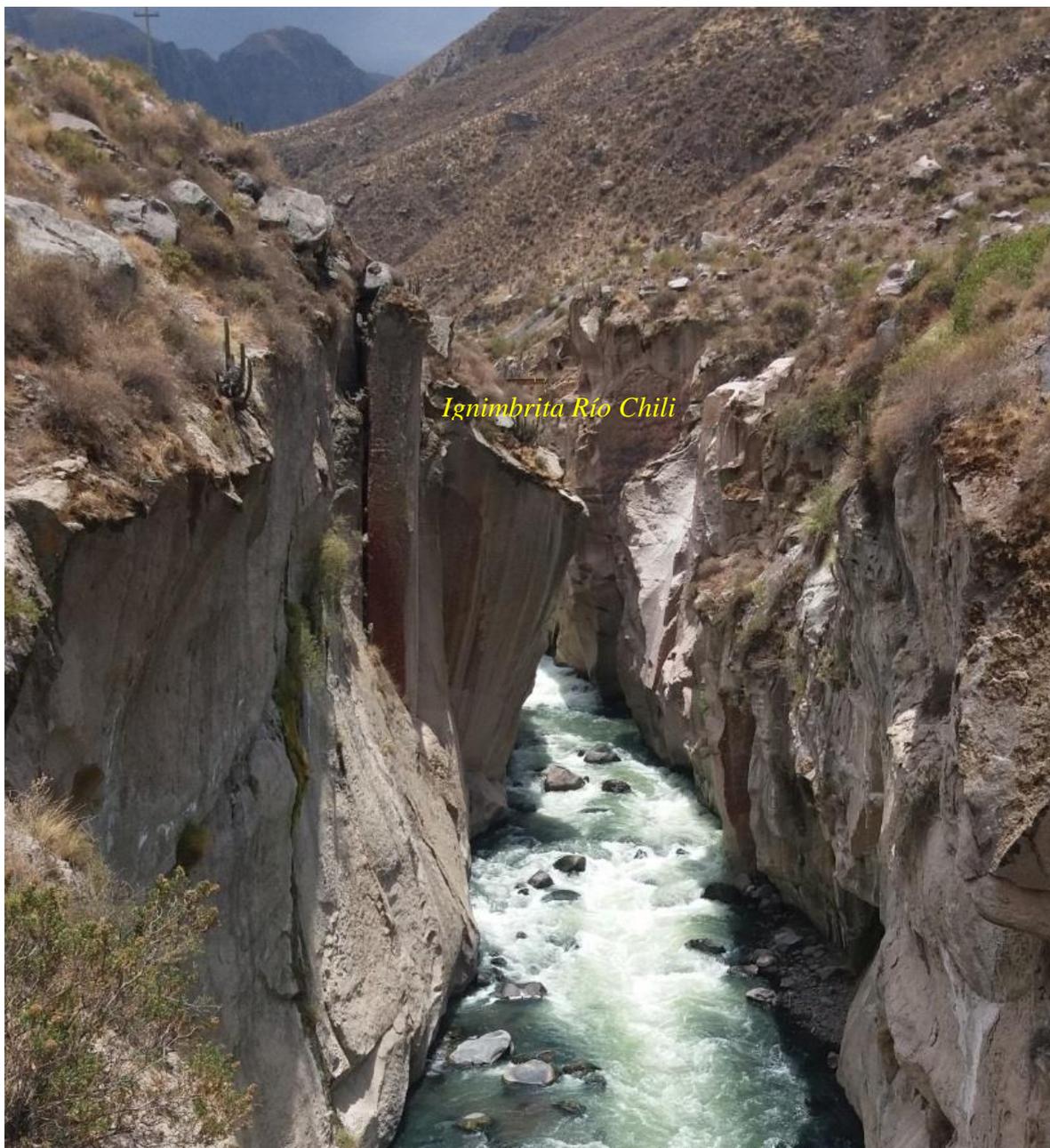
### 3. GEOLOGÍA

Las unidades litológicas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a la “Ignimbrita Río Chili” de hace 13 mil años (13Ma) y la “Ignimbrita La Joya” datada de 4.89 a 4.78 Ma (Paquereau-Lebti *et al.*, 2006). También afloran sedimentos volcanoclásticos del volcán Chachani, flujos de lava del volcán Misti, depósitos de avalanchas de escombros del volcán Misti (figura 3).



**Figura 3.** Mapa Geológico en la zona de estudio.

**La ignimbrita “Río Chili” (IG-ch):** Aflora en toda la ciudad de Arequipa y también es visible al fondo del cañón del río Chili. Esta ignimbrita tiene entre 50 a 200 m de espesor. Los depósitos en algunos sectores están parcialmente soldados y en otros no lo están. Posee alto contenido de fenocristales de plagioclasa, anfíboles, biotita, sanidina, cuarzo y óxidos de Fe-Ti (Paquereau *et al.*, 2006). En el cañón del río Chili, estas ignimbritas poseen más de 150 m de espesor (foto 3); están soldadas y presentan “fiames” de tamaños centimétricos. Esta ignimbrita ha sido datada por el método  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  en 13 Ma.



**Foto 3.** Ignimbrita Río Chili, datada en 13 Ma.

**La ignimbrita “La Joya” (IG-lj):** Se encuentra sobre la ignimbrita “Río Chili” (foto 4). Los depósitos no son soldados o a veces son ligeramente soldados, poseen espesores de 5 a 80 m, y presentan fiames. Ha sido datada en 4.89 a 4.78 Ma (Paquereau *et al.*, 2006) y posee

alto contenido de plagioclasa, sanidina, cuarzo, biotita, óxidos de Fe-Ti y anfíbol, y es de composición riolítica.



**Foto 4.** En la base, se observa la Ignimbrita Río Chili (13 Ma), la cual está soldada a parcialmente soldada. En la parte media, se distingue la Ignimbrita La Joya, (4.89 a 4.78 Ma). En la parte alta, afloran flujos de lava del volcán Misti, uno de ellos datado en 833 Ka.

**Sedimentos volcanoclásticos del volcán Chachani (SV-ch):** Afloran en la margen derecha del cañón del río Chili, entre la Escuela de Policía y Chilina y tiene un espesor de 10 a 40 m (foto 5). Se trata de depósitos algo endurecidos conformados por bloques de coloración pardo-oscuro y de textura escorácea, englobados por una matriz limo-arenosa y fragmentos líticos. Dado que el depósito yace en la base del complejo volcánico Chachani, se cree que está asociado a dicho volcán.



**Foto 5.** Sedimentos volcanoclásticos del volcán Chachani, sobre las cuales yacen flujos de lava del volcán Misti, uno de ellos datado en 833 Ka.

**Flujos de lava del volcán Misti (FL-m1):** Una secuencia de flujos de lava andesítica, datada en 833 ka (Thouret *et al.*, 2001), ha sido cartografiada al suroeste del volcán Misti a lo largo de ambas márgenes del río Chili. Estos flujos poseen un espesor total que oscila entre 20 y

150 m, con unidades de flujo que miden entre 10 a 30 m de espesor. Las lavas poseen un color gris oscuro, son masivas y contienen abundantes fenocristales de plagioclasa, anfíbol y piroxeno, englobados por una pasta afanítica. Las lavas sobreyacen a depósitos volcanoclásticos del volcán Chachani e ignimbritas del Mioceno y Pleistoceno descritos anteriormente (foto 6), y subyacen a depósitos de avalanchas de escombros del volcán Misti.



**Foto 6.** En la base, se aprecian ignimbritas “La Joya” que infrayacen al flujo de lava del Misti emitidos hace 833 ka.

**Depósitos de avalanchas de escombros (DA-m):** Los afloramientos se extienden hacia el sur, oeste y suroeste del Misti, entre 11 y 8 km del cráter. El depósito tiene un espesor promedio de 60 m y cubre una superficie aproximada de 40 km<sup>2</sup>. El depósito presenta predominantemente facies de matriz y ocasionalmente facies de bloques, estos últimos rodeados normalmente por facies de matriz. La facies de matriz consta de clastos de tamaño milimétrico a centimétrico, los cuales se hallan bastante hidrotermalizados. En la facies de bloques, los clastos son de tamaño métrico, con muy escasa matriz.

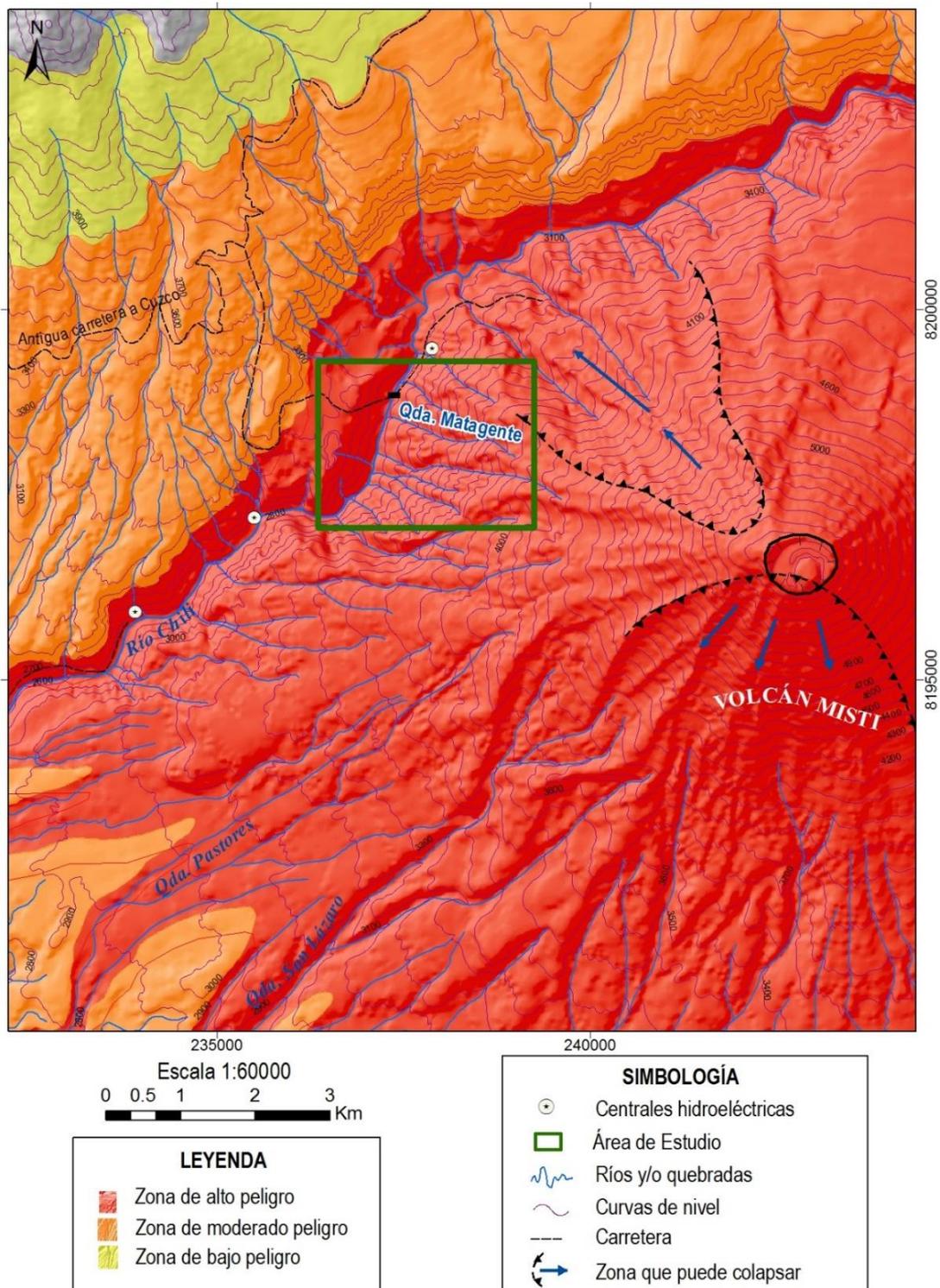
Los clastos se hallan bastante fracturados y poseen estructuras en rompecabezas, característica de este tipo de depósitos. En ambas facies la litología es heterogénea, pues se han encontrado clastos de lava andesítica y dacítica, pómez, ceniza y material fino bastante hidrotermalizado. Estos depósitos de avalanchas de escombros se encuentran debajo de secuencias de flujos de lavas en bloques; en algunos casos están cubiertos por depósitos piroclásticos del Holoceno.

**Depósito de bloques con escasa matriz (LM-m):** Según Thouret et al. (2001), este depósito se emplazó entre 70 y 50 ka. Este grupo está constituido principalmente por depósitos de bloques de lava andesítica y dacítica con escasa matriz, que tienen hasta 15 m de espesor. Algunos bloques miden hasta 1.5 m de diámetro, pero en promedio entre 10 y 20 cm de diámetro, y poseen formas prismáticas. Los bloques más grandes se encuentran hacia el tope. Debido a las formas prismáticas de los bloques y la escasa matriz, se infiere que el depósito se originó por el colapso de domos muy proximales.

**Depósitos aluviales:** Se encuentran distribuidos en el lecho del río Chili. 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.

#### 4. MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI

En base a los estudios geológicos y trabajos de modelamiento numérico, el INGEMMET elaboró el mapa de peligros del volcán Misti (figura 4), el cual muestra tres zonas de peligrosidad alrededor del Misti: alto (color rojo), moderado (color naranja) y bajo (color amarillo) y además tiene como propósito guiar a las autoridades y población en general en políticas de ordenamiento territorial, expansión urbana y planificación del desarrollo.



**Figura 4:** Mapa de peligros del volcán Misti, donde se muestra el área evaluada.

La quebrada Matagente se encuentra en la zona de alto peligro (color rojo). Esta zona puede ser afectada por cualquier tipo de erupción, inclusive las de baja magnitud, como la ocurrida en el siglo XV, que tuvo un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 1 a 2, y que se estima suceden cada 500 a 1500 años.

Para un escenario eruptivo de tipo vulcaniano con IEV de 1 a 2, el área evaluada puede ser severamente afectada por caídas de tefra (cenizas y lapilli de pómez), pequeños flujos piroclásticos, lahares y flujos de lava (Mariño *et al.*, 2016). Por otro lado, durante una erupción de este tipo o un sismo fuerte, se podría generar la inestabilidad del edificio volcánico, provocando el colapso de un sector del volcán y produciendo avalanchas de escombros que descenderían por los flancos del volcán. Si el colapso fuera del flanco noroeste, fácilmente se represaría el río Chili, cuyo desembalse generaría flujos de barro que se desplazarían a lo largo del valle del río, inundando las áreas distales. Evidencia de estas avalanchas de escombros ocurridos en el volcán Misti, son los afloramientos que se encuentran al sur, oeste y suroeste del volcán, entre 11 y 8 km del cráter.

La zona de alto peligro también se extiende a lo largo de las quebradas que descienden del volcán Misti y del río Chili, esto debido al posible emplazamiento de lahares o flujos de barro de mediano volumen que han sido frecuentes durante erupciones vulcanianas con IEV 2 en el Misti. En la cuenca del río Chili, se identificaron terrazas conformadas por lahares emplazados entre el Holoceno superior y la época histórica, cuatro de ellos datados en  $1035 \pm 45$ ,  $520 \pm 25$ ,  $340 \pm 40$  y  $330 \pm 60$  años B.P. (Delaite *et al.*, 2005). En caso que el Misti presente erupciones explosivas más violentas con IEV mayores a 3 esta zona puede ser severamente afectada por caídas de tefras, flujos piroclásticos, lahares que pueden cubrir la zona.

## **5. PELIGROS POR MOVIMIENTO Y FLUJOS EN MASA**

Se refieren e a procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambas, en diversas proporciones, generadas por una serie de factores entre ellos las precipitaciones pluviales, la pendiente del terreno, el tipo de suelo, etc.

Los peligros por movimientos en masa identificados en la zona de estudio son flujos de detritos o huaycos, erosión de laderas y caída de rocas. Los factores condicionantes que contribuyen a remociones en masa de la zona de estudio son: la geomorfología de las quebradas, las elevadas alturas que alcanzan las cimas que la delimitan, las elevadas pendientes, las quebradas tributarias que presenta hacia la cabecera, y las malas condiciones geotécnicas de las rocas.

### **Huacos, flujos de detritos o lahares**

El principal peligro por movimientos en masa en la zona de estudio son los flujos de detritos, huacos o lahares. El factor desencadenante de flujos de detritos corresponde a lluvias que contribuyen a la desestabilización de los taludes y laderas, además de la poca consolidación de materiales volcano-sedimentarios que se encuentran debajo de la base del volcán Misti que pueden ser removidos incluso por los vientos.

Las lluvias intensas, saturan los suelos y pueden desencadenar remociones en masa, los mismos que al combinarse con aguas de escorrentía superficial pueden generar lahares como los ocurridos anteriormente. Evidencia de las fuertes lluvias en el sector de Charcani Grande son los abanicos de detritos (foto 7), que se formaron por el aporte torrencial de cursos de agua intermitentes de gran energía que acarrearón una alta carga de sólidos.



**Foto 7.** Abanico de flujos de detritos (fechas amarillas), en el sector de Charcani Grande.

El abanico de detritos que conforma el cauce de la quebrada Matagente se encuentra conformado por sedimentos sueltos que poseen litología heterogénea (lavas andesíticas y dacíticas, ignimbritas y sedimentos volcanoclásticos).

Los bloques más grandes tienen diámetros de 3 a 4 m y se encuentran en una matriz de ceniza de grano medio a grueso (foto 8). Debido a la poca consistencia de los materiales volcanoclásticos depositados entre las ignimbritas de La Joya y los flujos de lava del volcán Misti, aún se aprecian caída de rocas y desprendimiento de este material ocasionado por las corrientes de viento que circulan por esta zona, lo cual va incrementando continuamente el material disponible para ser acarreado por las aguas de lluvia (fotos 8 y 9).

En periodos de lluvias intensas, los materiales acumulados en la quebrada son susceptibles de ser arrastrados por un evento de flujo de detritos. El emplazamiento del flujo sería a velocidades muy rápidas debido a la pronunciada pendiente que presenta la ladera por donde discurre.

En el sector Charcani, también se han distinguido procesos de erosión de laderas de tipo surcos y cárcavas en los depósitos volcanoclásticos. Las corrientes de agua han generado surcos largos y profundos que tienen diámetros máximos de 3-4 m y profundidades de 3-5 m (fotos 10 y 11). El material erosionado aporta material suelto a las quebradas y contribuyen a la generación de flujos de detritos (foto 12).



**Foto 8.** Zona de mayor aporte y acumulación de material detrítico en la parte alta de la quebrada Matagente y quebradas aledañas, sector de Charcani Grande.



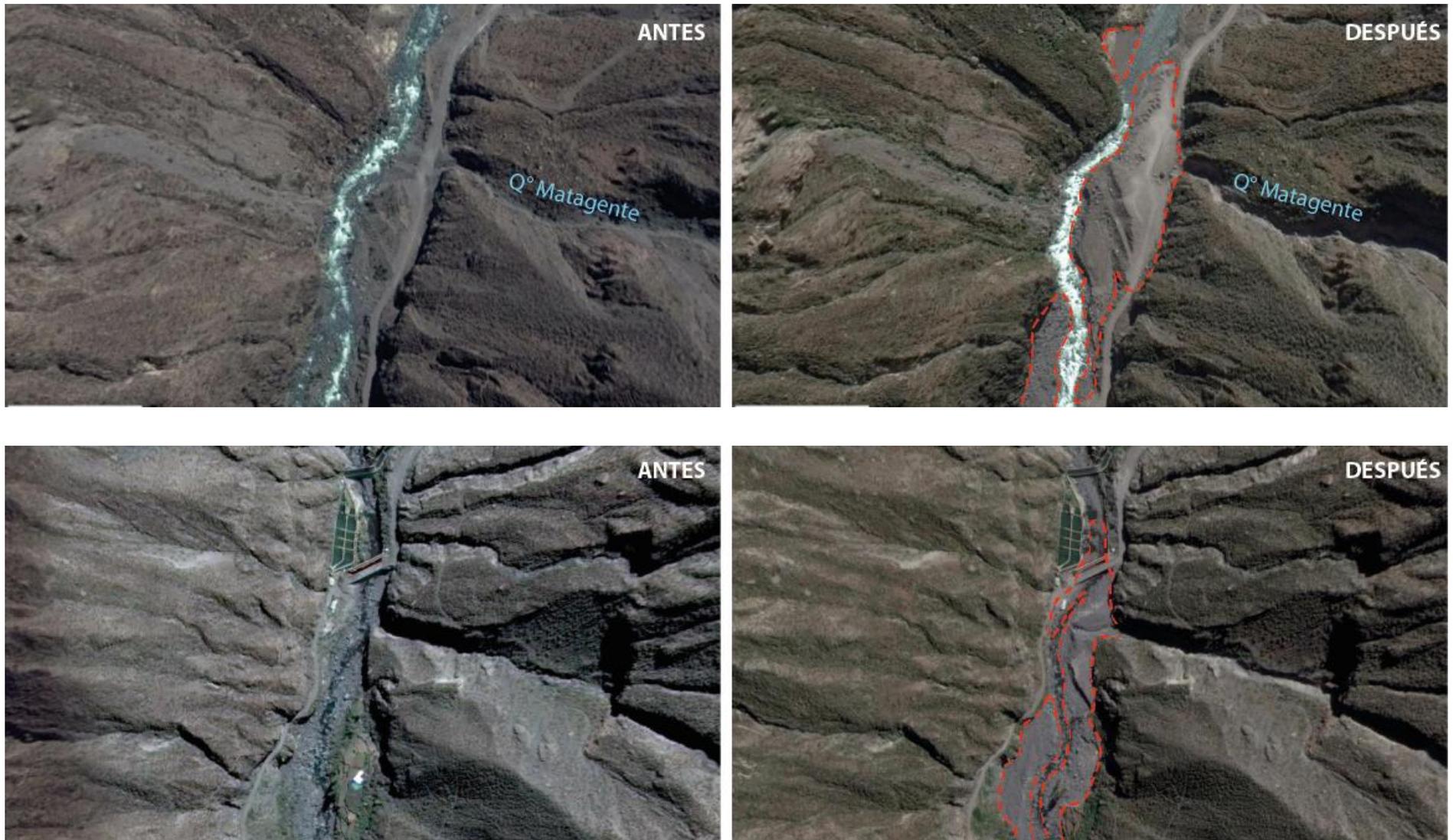
**Foto 9.** Desprendimiento de material detrítico (seco) en la parte alta de la quebrada Matagente, ocasionada por las corrientes de viento (círculo amarillo), evidenciadas el día de la inspección de campo. Sector Charcani Grande.



**Foto 10.** Abanico de flujos de detritos en la quebrada Matagente. Se muestran bloques con diámetros máximos de 3 a 4 m.



**Foto 11.** Sector Charcani Grande afectado por erosión de laderas (cárcavas).



**Foto 12.** Imágenes Google Earth comparativas (antes y el después) que evidencian la ocurrencia de los lahares en la quebrada Matagente y zonas aledañas

## **6. SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA**

La susceptibilidad a los movimientos en masa está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos. Estos mapas de susceptibilidad son usados en la planificación del territorio (ZEE-OT), estudios de planificación de obras de infraestructura; así como para la prevención y gestión de riesgo de desastres.

Según el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca Chili-Ciguas-Vítor-Quilca, elaborado por Zabala, Núñez y Gómez, 2017; la zona de estudio se encuentra entre zonas de alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa. Ver Cuadro 1, figura 5.

## CUADRO 1. SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA CHILI-SIGUAS-VITOR-QUILCA

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	RECOMENDACIONES
<b>SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA: Las condiciones del terreno son muy favorables para que se generen movimientos en masa. Se concentran donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos al modificar sus taludes.</b>	
<p>Se encuentra distribuida en un área de 730.36 km<sup>2</sup>. Se tienen los siguientes sectores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sector noroeste central de la cuenca:</b> Conformada por montañas y colinas sedimentarias (areniscas y lutitas) con pendientes fuertes, tenemos los sectores de San José, Titanyoc y Huasamayoc.</li> <li>• <b>Sector central de la cuenca.</b> Se tiene la zona de lavas y piroclastos del sector de Gramadal, el estrato volcán Misti. El valle cañón del río Chili, donde se ubican las centrales hidroeléctricas de Charcani.</li> <li>• <b>Sector suroeste de la cuenca:</b> Se muestran los acantilados de los valles de los ríos Siguas (Siguas hasta la desembocadura), Vítor (Vítor hasta la desembocadura), y Quilca, desde Huarango hasta Platanal.</li> <li>• <b>Sector sur de la cuenca:</b> Se tienen montañas y colinas intrusivas conformadas por rocas intrusivas que muestran una erosión esferoidal y están muy meteorizadas. Como los sectores aladaños a Koricancha y Quequeña.</li> </ul>	<p>Prohibir el desarrollo de cualquier infraestructura, sin el detallado conocimiento geológico previo. Son necesarios los estudios geológicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción probable de cualquier tipo de infraestructura (carreteras, puente, canales, presas, hidroeléctricas), o habilitación urbana.</p>
<b>SUSCEPTIBILIDAD ALTA: Confluyen la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se modifican sus taludes. Colinda con zonas de muy alta susceptibilidad.</b>	
<p>Tienen una distribución importante en la cuenca, con un área de 2299.62 km<sup>2</sup>. Se tienen los siguientes sectores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sector central de la cuenca:</b> Se encuentra la mayor distribución, tenemos las laderas medio-inferiores de los volcanes Misti y Chachani donde se está dirigiendo la expansión urbana de la ciudad de Arequipa.</li> <li>• <b>Sector sur y suroeste de la cuenca:</b> Se encuentran montañas y colinas conformadas por rocas intrusivas y metamórficas. Se tienen los sectores de Palca en el sector de río Chili. Carachama y Huarangal en el sector del río Siguas. Las laderas media-inferior de los volcanes Ampato y Hualca Hualca.</li> <li>• <b>Sector sur y suroeste de la cuenca:</b> Se tienen áreas de menores dimensiones, esparcidas, se pueden mencionar los sectores con estratos volcanes de fuerte pendiente. Los sectores de Jetapuña, Jayuma, Amanta, etc. También las laderas inferiores de los volcanes Pichupichu y de la cadena volcánica que se ubica en las inmediaciones de la laguna Parinacochas.</li> </ul> <p>Las vertientes de detritos ubicadas en toda la cuenca, la vertiente glacio-fluvial ubicadas en las zonas alto andinas.</p>	<p>Restringir el desarrollo de infraestructura urbana, o de instalaciones para una alta concentración de población. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deben de realizar estudios geotécnicos de detalle.</p>
<b>SUSCEPTIBILIDAD MEDIA: Presenta algunas condiciones favorables para producir movimientos en masa.</b>	
<p>Tiene amplia distribución en la cuenca, con un área de 4176.52 km<sup>2</sup>. Se tienen los siguientes sectores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La mayor parte de esta susceptibilidad se encuentra en la parte media y central de la cuenca. Por el lado Sur tenemos los sectores Chilulo-Mosopuquio, San Juan de Taruncani-Purca-Pucasana-Tambo de Ají. Por el lado norte los sectores Ananta-Alto Sura-Pisahuata-Anchacalla. Por el lado este, sectores comprendidos entre Pucasaya-Pillones, Las laderas inferiores de los volcanes Misti, Pichupichu.</li> <li>• En la parte media tenemos el sector de Trocoyo-Quinsapuquio-Esquerual.</li> </ul>	<p>Permitir el desarrollo de infraestructura urbana e industrial, al conocer el detalle de las propiedades de los terrenos para poder tomar decisiones respecto a la viabilidad del proyecto.</p>

**SUSCEPTIBILIDAD BAJA: Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa.**

<p>Esta unidad se distribuye en la cuenca con un área de 3699.56 km<sup>2</sup>. Tenemos los siguientes lugares:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector suroeste de la cuenca, entre los valles de Siguan y Vítor, formando la altiplanicie aluvial-sedimentaria conformada por secuencias de conglomerados y areniscas.</li> <li>• Hacia el noreste, entre los sectores de Imata-Putuco-Huañapalca-Secque, Paña-Pampa Confital-Pollani, que muestra afloramientos de tobas con pendiente muy baja.</li> </ul>	<p>Permitir el desarrollo de infraestructura al incorporarse las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto, o adaptarse a las condiciones del terreno.</p>
---	---

**SUSCEPTIBILIDAD MUY BAJA: Podrían ser afectadas por procesos que ocurren en sus franjas marginales, como obstrucciones o cierres de valles originados por flujos, deslizamientos u otro movimiento en masa.**

<p>Tenemos un área de 1548.57 km<sup>2</sup>. Se encuentra en los siguientes sectores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valle principal de los ríos:       <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Quilca, desde la confluencia en el Océano Pacífico hasta su inicio.</li> <li>b) Siguan, desde su desembocadura hasta el sector de Huarangal.</li> <li>c) Vítor desde su desembocadura hasta el sector de La Palca.</li> <li>d) Chili, en el sector de Imata.</li> </ol> </li> <li>• Ciudad d Arequipa.</li> <li>• Laguna Salinas y alrededores.</li> <li>• Lagunas Pañe y El Frayle, Chalhuanca.</li> </ul>	<p>Evaluar procesos geohidrológicos circundantes (inundación y erosión fluvial), en las áreas de escorrentía, generación de flujos de detritos u otros movimientos en masa en sus zonas marginales.</p>
--	---

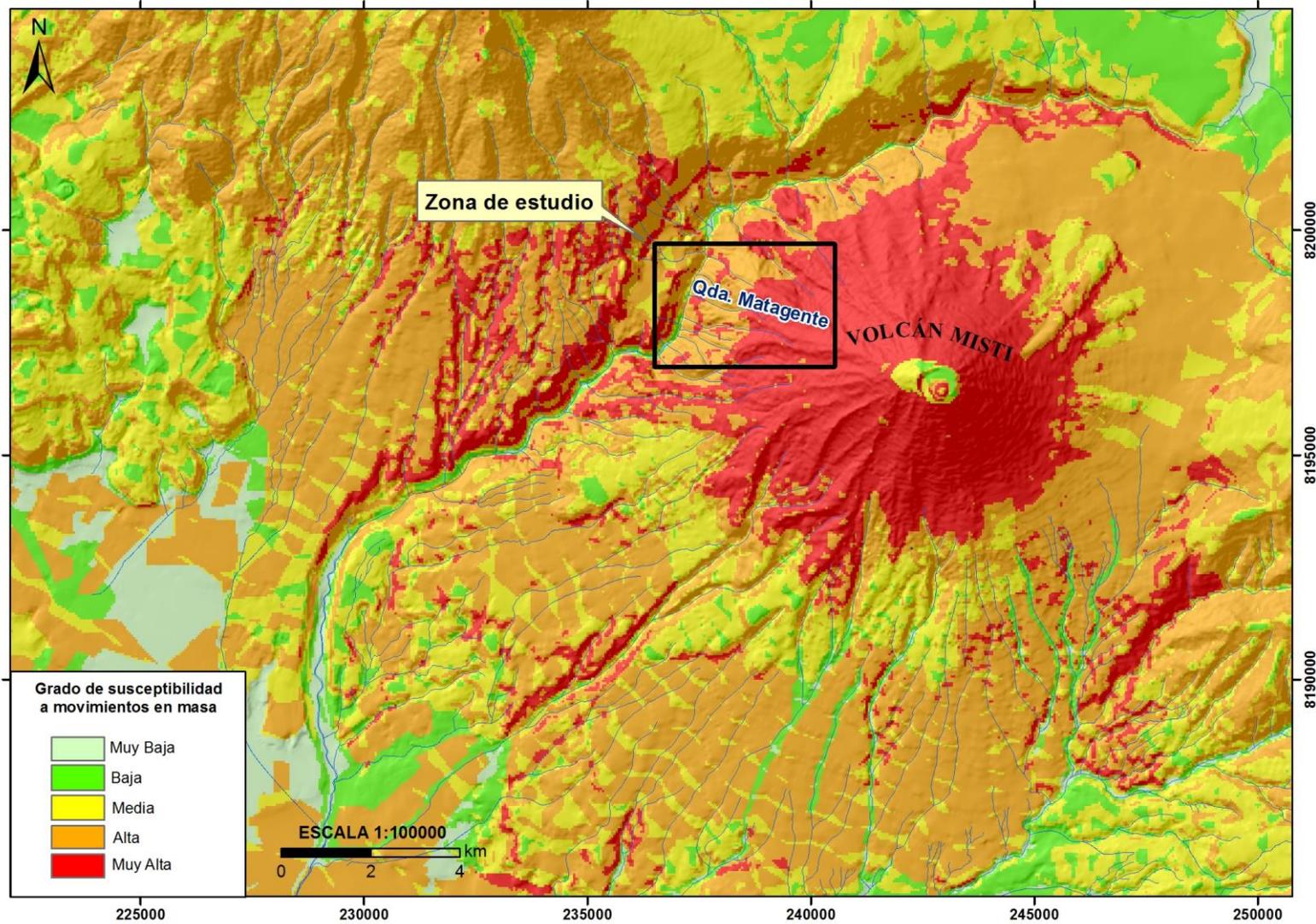


Figura 5. Susceptibilidad a movimientos en masa en la zona de estudio (Zabala et al., 2017).

## CONCLUSIONES

1. Los eventos antecedentes de flujos de detritos en la quebrada Matagente, sostienen su condición de zona en ALTO PELIGRO. Actualmente el material acumulado en el cauce de esta quebrada, en combinación con las pendientes empinadas de ambas márgenes del río Chili hacen que la zona presente una alta vulnerabilidad, principalmente en periodos de intensa precipitación pluvial.
2. Durante la visita de inspección se ha evidenciado caída de material detrítico en la parte alta de las quebradas debido a la poca consolidación de los depósitos volcanoclásticos. Éstos pueden causar daños por caída de rocas, incluso en periodos de sequía.
3. De acuerdo al mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca Chili-Ciguas-Vítor-Quilca, la zona de estudio se encuentra entre zonas de alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa. Las condiciones del terreno son favorables para que se generen movimientos en masa como: Derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos, flujos de lodos y avalanchas de detritos.
4. El mapa de peligros del volcán Misti, muestra que la quebrada Matagente se encuentra en la zona de ALTO PELIGRO. Durante una erupción del volcán Misti, el sector de la quebrada Matagente y las diversas obras de infraestructura del servicio de agua potable podrían ser afectadas por caídas de cenizas y lapilli de pómez, flujos piroclásticos, lahares y flujos de lava. También se podría generar la inestabilidad del edificio volcánico, provocando el colapso de un sector del volcán. Si el colapso fuera del flanco noroeste, se represaría el río Chili y su desembalse generaría flujos de barro que se desplazarían a lo largo del valle del río.
5. Por todo lo evidenciado y por la ocurrencia de movimientos en masa en la zona de Charcani Grande, se considera una zona de ALTO PELIGRO. Se identificó procesos de erosión de ladera, a manera de surcos y cárcavas que disectan el área de estudio. También, se ha distinguido abanicos de flujos de detritos o huaicos, lo que evidencia que en la zona se producen de manera recurrente precipitaciones pluviales intensas, los cuales pueden afectar a obras de infraestructura y traer severas consecuencias a la planta de tratamiento de agua potable de la Tomilla II.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio geológico-geotécnico detallado en zonas y quebradas aledañas al punto de captación de aguas para la planta de tratamiento de La Tomilla II, el cual pueda plantear un plan integral para prevenir y/o reducir los daños en estas instalaciones.
2. Preliminarmente, se pueden realizar trabajos para la mitigación de los impactos que pudieran causar los lahares. Estos trabajos pueden consistir en la forestación y/o reforestación de laderas cercanos a la zona indicada. Además, se pueden instalar presas tipo rejilla, presas sabo y/o barreras flexibles que permitan drenar el agua y contener el volumen sólido de los lahares.
3. Las obras de infraestructura deben construirse con diseño ingenieril que tome en cuenta las máxima crecidas registradas, es decir que la obra deba permitir el libre discurrir de crecidas violentas.
4. Estar informados sobre los reportes que emiten las entidades técnico-científicas sobre la actividad del volcán Misti.
5. Establecer un sistema de Alerta Temprana (SAT) que involucre un plan de contingencia y rutas de evacuación en caso de ocurrencia de lahares, u otras eventualidades que puedan ocurrir en el sector Charcani Grande y que puede incluso ocasionar desbordes en la cuenca media o baja del río Chili. Además, mantener informados a los trabajadores de las empresas de agua y electricidad sobre los peligros en la zona.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Araya-vergara, J. (2002). Apuntes de Cátedra de Geomorfología. Escuela de Geografía. Universidad de Chile. Santiago de Chile.

Delaite, G.; Thouret, J.-C.; Sheridan, M.F.; Labazuy, P.; Stinton, A., et al. (2005). Assessment of volcanic hazard of El Misti and in the city of Arequipa, Peru, based on GIS and simulations, with emphasis on lahars. *Zeitschrift für Geomorphology N.F.*, supplement, 140: 209-231.

Mariño J.; Rivera M.; Thouret J.-C.; Macedo (2016). Geología y Mapa de Peligros del volcán Misti. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica Geológica N°60- ISSN 1560-9928

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.

Zavala, B., Nuñez, S. & Gómez, D. (2017). Estudio Geoambiental en la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili. Informe Inédito INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.