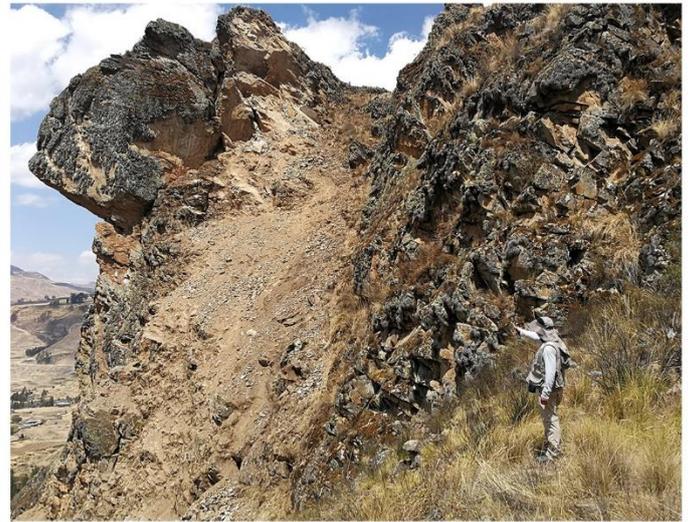


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7068

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN EL CERRO CACHAPACO - ANEXO CHIQUIA

Región Huánuco
Provincia Lauricocha
Distrito Jesús



JULIO
2020

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN EL CERRO CACHAPACO – ANEXO CHIQUIA

REGIÓN HUANUCO, DISTRITO DE JESUS, PROVINCIA DE LAURICOCHA

CONTENIDO

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS	3
3. ASPECTOS GENERALES	4
3.1. Ubicación y accesibilidad	4
3.2. Objetivos	4
3.3. Condiciones hidrometereológicas y uso de suelo	4
3.4. Sismicidad.....	6
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS	6
4.1. Geomorfología.....	6
4.2. Geología.....	9
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	11
5.1. Conceptos generales	11
5.2. Caída de rocas del cerro Cachapaco	14
5.3. Deslizamientos en el cerro Cachapaco.....	16
6. HIDROGEOLOGÍA	19
6.2. Clasificación hidrogeológica.....	22
6.3. Hidroquímica	25
CONCLUSIONES	29
RECOMENDACIONES	31

RESUMEN

El 19 de agosto del 2019, de acuerdo a las versiones de los pobladores, a las 18:00 horas, ocurrió un movimiento en masa en el cerro Cachapaco – Anexo Chiquia, acompañado de emanación de vapores, generando incertidumbre en la población.

A consecuencia de esto, la Municipalidad Provincial de Lauricocha solicitó al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgica (INGEMMET), como ente especializado en brindar asistencia técnico-científico, realizar la evaluación técnica del cerro Cachapaco - anexo Chiquia. Es así que el INGEMMET, por medio de su Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, designo a especialistas para evaluar la zona.

Morfológicamente la zona está enmarcada en geoformas de tipo montañas en roca metamórfica, piedemonte coluvio - deluvial, y terrazas altas, que corresponden a rocas del Complejo Maraón y a depósitos cuaternarios.

La zona presenta susceptibilidad media a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa, identificándose, en la margen derecha del río Lauricocha, la reactivación de un sector de las laderas con caída de rocas que abarca un área aproximada de 74,690 m², con evidencias de recurrencia. El ultimo evento movilizó rocas de hasta 4 m de diámetro desde la parte alta del cerro, con un alineamiento SO a NO. Con una superficie de arranque de 620 m² y área inicial de caída 1,120 m², a 3500 m altura y 270 m por encima del punto de emplazamiento final. Las caídas anteriores identificadas, movilizaron bloques de hasta 25 m de diámetro aproximadamente.

Por otro lado, no se encontraron fumarolas de vapor u otras fuentes de emanación de gases en el lugar que refieren los pobladores. Tampoco algún manantial o suelos con humedad. Lo que se verifica con los resultados del cartografiado y caracterización hidrogeológica; así como, la interpretación hidroquímica.

Por las condiciones actuales, se considera al Cerro Cachapaco y terrenos de su parte baja, como Zonas de Peligro Muy Alto a la ocurrencia de Movimientos en Masa y Peligros Geohidrológicos, con detonantes como lluvias periódicas y/o extraordinarias, así como eventos sísmicos. Se recomendó no utilizar las laderas del cerro Chachapaco y la parte baja con fines de vivienda; así como, realizar periódicamente el mantenimiento de los reservorios y canales, a fin de identificar lugares con infiltraciones y evitar la saturación de agua en laderas.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora, dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el apoyo y/o asistencia técnica a los gobiernos nacional, regional y locales; su alcance consiste en contribuir con entidades gubernamentales en el reconocimiento, caracterización y diagnóstico, de peligros geológicos en territorios vulnerables, con la finalidad de proporcionar una evaluación técnica que incluya resultados y recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos, en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, ley N° 29664.

La Municipalidad Provincial de Lauricocha, mediante Oficio N° 061-2019-MPL/A, solicitó a nuestra institución, la evaluación técnica del cerro Cachapaco - anexo Chiquia, a consecuencia de los peligros geológicos y geohidrológicos que se vienen generando en el lugar.

El INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, designó a los Ingenieros José Luis Moreno y Luis Ángel Albinez, para realizar la evaluación técnica, en coordinación con el alcalde de la Municipalidad Provincial de Lauricocha, quien presentó el oficio respectivo.

Para esta evaluación, se realizaron los siguientes trabajos: Recopilación de información y preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos y GPS, cartografiado, procesamiento de información y redacción del informe.

El presente informe se pone a consideración de la municipalidad provincial de Lauricocha, distrito de Jesús, Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, autoridades locales y regionales, y otras autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción de riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

La zona evaluada está incluida en el área de estudio de trabajos de geología y peligros de escala regional, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- a) Boletín N° 76 Serie A: “Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca”, INGEMMET, (Cobbing et al, 1996). En el “Mapa geológico de Yanahuanca”, escala 1:100,000, (Cobbing & Sanchez, 1996), en el cerro Cachapaco se pueden encontrar afloramientos del complejo Marañón y depósitos cuaternarios.
- b) Boletín “Riesgos geológicos en la región de Huánuco”, INGEMMET (Zavala & Vilchez, 2006). Se describen fenómenos de deslizamientos, erosión de laderas, reptación de suelos y huaicos relacionados con un antiguo deslizamiento reactivado por sectores. En el “Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en

Masa”, escala 1:250,000, el cerro Cachapaco se encuentra en zona de media a muy alta susceptibilidad.

- c) Informe técnico “Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Huánuco”, INGGEMMET (Zavala & Vilchez, 2005). Se incluyen el sector Cauri-Punqui-Marcachacra, como zona crítica por la presencia de un antiguo deslizamiento reactivado por sectores. La zona es inestable.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y accesibilidad

El cerro Cachapaco – anexo Chiquia, se localiza al sur de la localidad de Jesús (figura 1), distrito Jesús, provincia de Lauricocha y región Huánuco, sobre los 3500 m.s.n.m., en las coordenadas WGS84 – 18S: 322324 E; 8882379 S (**Figura 1**).

Se accede por las siguientes rutas:

- Lima - Huaral - Oyon - Raura - Caballococha - Anexo Chiquia - Jesús.
- Lima - La Oroya - Huanuco - Margos - Jesús - Anexo Chiquia.

El itinerario fue el siguiente:

DÍA 1		
Ruta	Tipo de vía	Tiempo / kilometraje
Lima - Huaral - Oyon	Carretera asfaltada	5 h / 250 km
Oyon - Raura - Jesús	Carretera afirmada	4 h / 110 km
DÍA 2		
Ruta	Tipo de vía	Tiempo / kilometraje
Jesús - Anexo Chiquia	Carretera afirmada	15 m / 6 km
Anexo Chiquia - Cerro Cachapaco	Camino de herradura	2 h / 2 km
Jesús - Huánuco	Carretera afirmada	3 h / 80 km
DÍA 3		
Ruta	Tipo de vía	Tiempo / kilometraje
Huánuco - La Oroya - Lima	Carretera asfaltada	10 h / 430 km

3.2. Objetivos

- Identificar y evaluar las zonas con peligro geológico que afecten o afectaron a la el cerro Cachapaco – Anexo Chiquia.
- Recomendar medidas de prevención, reducción y mitigación pertinentes dentro del marco de la Gestión de Riesgos de Desastres.

3.3. Condiciones hidrometeorológicas y uso de suelo

En la zona de estudio se distinguen 2 estaciones hidrológicas bien definidas en el año, la época de estiaje entre los meses de abril a noviembre y avenidas de diciembre a marzo. En la zona no se cuenta con estaciones meteorológicas, sin embargo, en la provincia de Lauricocha la temperatura media anual llega a 11°C como máximo y la mínima con temperaturas por debajo de los 0°C (Moreno, 2014). La zona evaluada concentra actividades de tipo agrícola y ganadera.

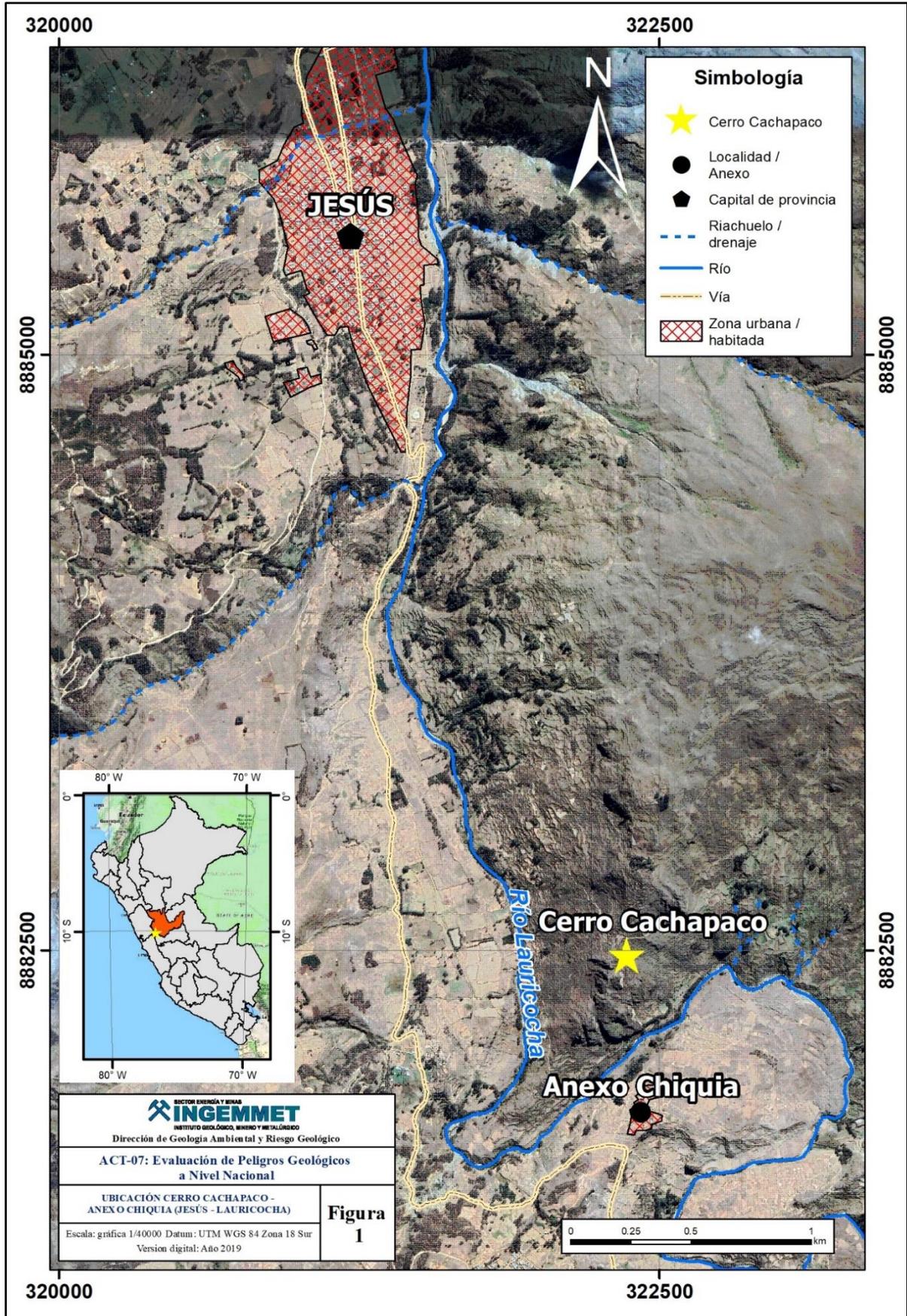


Figura 1. Mapa de ubicación del cerro Cachapaco – Anexo Chiquia.

3.4. Sismicidad

La región Huánuco ha sido afectada por sismos históricos, resalta el ocurrido el 1 de noviembre de 1947, con epicentro en Satipo. Fuentes sismogénicas con origen en otras regiones del país y la costa peruana también afectaron a la región de Huánuco, produciendo sismos con intensidades de grado VI a X, en la escala de Mercalli Modificada (MM) (Zavala & Vílchez, 2005).

En relación a la sismicidad reciente, tomando el catálogo sísmico del IGP, el sismo más cercano de magnitud superior a 5, ocurrió el 14 de agosto del 2019. Tuvo una magnitud 5.4° a 22 km de profundidad, 100 km al SO de Jesús, en la localidad de Raquia.

Los pobladores locales no refirieron sentir algún sismo intenso en los últimos meses, ni durante de los eventos del 17 de agosto del 2019.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

4.1. Geomorfología

Geomorfológicamente, la zona presenta un relieve de montañas en roca metamórfica, piedemonte coluvio-deluvial (INGEMMET) y terrazas altas (Zavala & Vílchez, 2005).

4.1.1. Unidades geomorfológicas

4.1.1.1. Unidad de Montañas

Una montaña es la unidad o componente de una cadena montañosa, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel respecto a su nivel de base local, cuya cima puede ser aguda, redondeada o tabular, sus laderas regulares e irregulares a complejas, y su pendiente o declive superior al 30% (Zavala & Rosado, 2010).

- Unidad de Montañas en Roca Metamórfica

Corresponden a relictos de cadenas montañosas antiguas, cuya morfología está relacionada a procesos denudacionales. Por su carácter litológico, originan superficies moderadas a ligeramente abruptas, superficies de cimas redondeadas y alargadas. Se presentan muy erosionadas y asociadas a procesos de cárcavas y flujos de detritos (Zabala & Rosado, 2010). Es unidad corresponde al cerro Cachapaco (**Figura 2**).

4.1.1.2. Unidad de planicies

Planicie es una porción de la superficie terrestre de cualquier dimensión, equivalente a un plano horizontal o de poca inclinación (Lugo, 2011). Están asociadas a depósitos aluviales, aluviales antiguos y fluvioglaciares, limitados en muchos casos por depósitos de piedemonte y laderas de montañas o colinas (Zavala & Vílchez 2006).

- **Sub unidad de Planicie aluvial o terraza alta / Fondo de valle fluvial**

Terrenos ubicados encima del cauce y llanura de inundación fluvial, de forma plana, ancho variable, están limitados a los valles. Suelen producirse en sus márgenes erosión fluvial y socavamiento en sus taludes inferiores, generando derrumbes y erosión de tierras (Zavala & Vílchez 2006). Corresponde a las terrazas de la parte baja del cerro Cachapaco (**Figura 2**).

4.1.1.3. Unidad de Piedemontes

La palabra piedemonte deriva del italiano “piemonte”, que significa “al pie de las montañas” (Lugo, 2011). Lo constituyen principalmente depósitos acumulados ladera abajo.

- **Sub unidad de Piedemonte coluvio-deluvial**

Corresponde a las acumulaciones de ladera, originadas por procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos, derrumbes, avalanchas de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente, los depósitos inconsolidados a ligeramente consolidados muestran una composición litológica homogénea, tratándose de depósitos con corto recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes (Zavala & Rosado, 2010). La zona evaluada muestra piedemontes en distintos sectores, resaltando el cuerpo de un megadeslizamiento antiguo, que es parte de las laderas del cerro Cachapaco (**Figura 2**).



Figura 2. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

4.1.2. Pendiente

Las laderas del cerro Cachapaco mantienen pendientes superiores a los 40°. Resaltan distribuidas por todo el cerro, superficies planas pertenecientes a terrazas antiguas, de pendientes que en promedio, no son mayores a los 10°. La zona baja correspondiente a las terrazas aluviales tiene pendientes menores a los 5°.

Las laderas de terrazas adenañas al cauce del río Lauricocha también tienen pendientes fuertes, superiores a 40° (Figura 3).

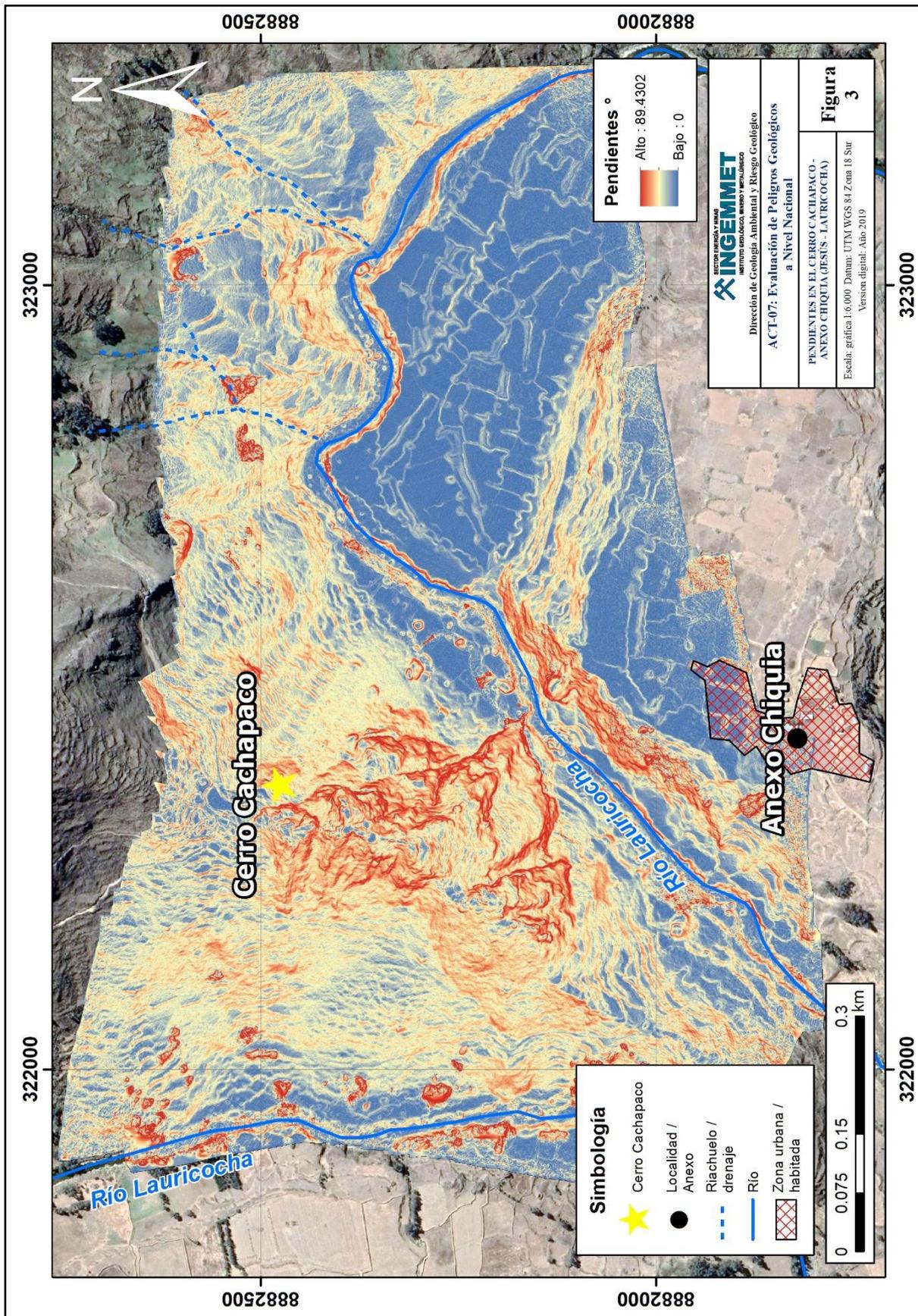


Figura 3. Mapa de pendientes del cerro Cachapaco.

4.2. Geología

En la zona de estudio se observan afloramientos de la primera unidad del Grupo Marañón, conformados por esquistos con abundantes vetas de cuarzo lenticulares que destacan por su coloración y menor resistencia a la erosión. Los depósitos aluviales que conforman las terrazas altas, están constituidos mayormente por clastos redondeados; así mismo se observan depósitos coluviales compuestos por bloques dispersos y agregados de fragmentos angulosos (Cobbing et al, 1996), acumulados por las recurrentes caídas, al pie de las laderas del Cerro Cachapaco. En relación a los depósitos coluvio-deluviales, se observan formando parte de la ladera del cerro Cachapaco, conformando el cuerpo de un megadeslizamiento antiguo que movilizó litologías del Grupo Marañón (**Figuras 2 y 4**). Según estudios sobre neotectónica del Perú (Sebrier et al, 1982; Machare et al. 2009), la región Huánuco se encuentra en un contexto de fallas activas que producen sismos continuamente.

Por mencionar un ejemplo, el sismo de Satipo de 1947 produjo intensidades de entre V y VI MM para la región Huánuco. Las dimensiones de movimientos en masa antiguos, presentes en inmediaciones de la zona evaluada, sugieren la posibilidad de un desencadenante sísmico.

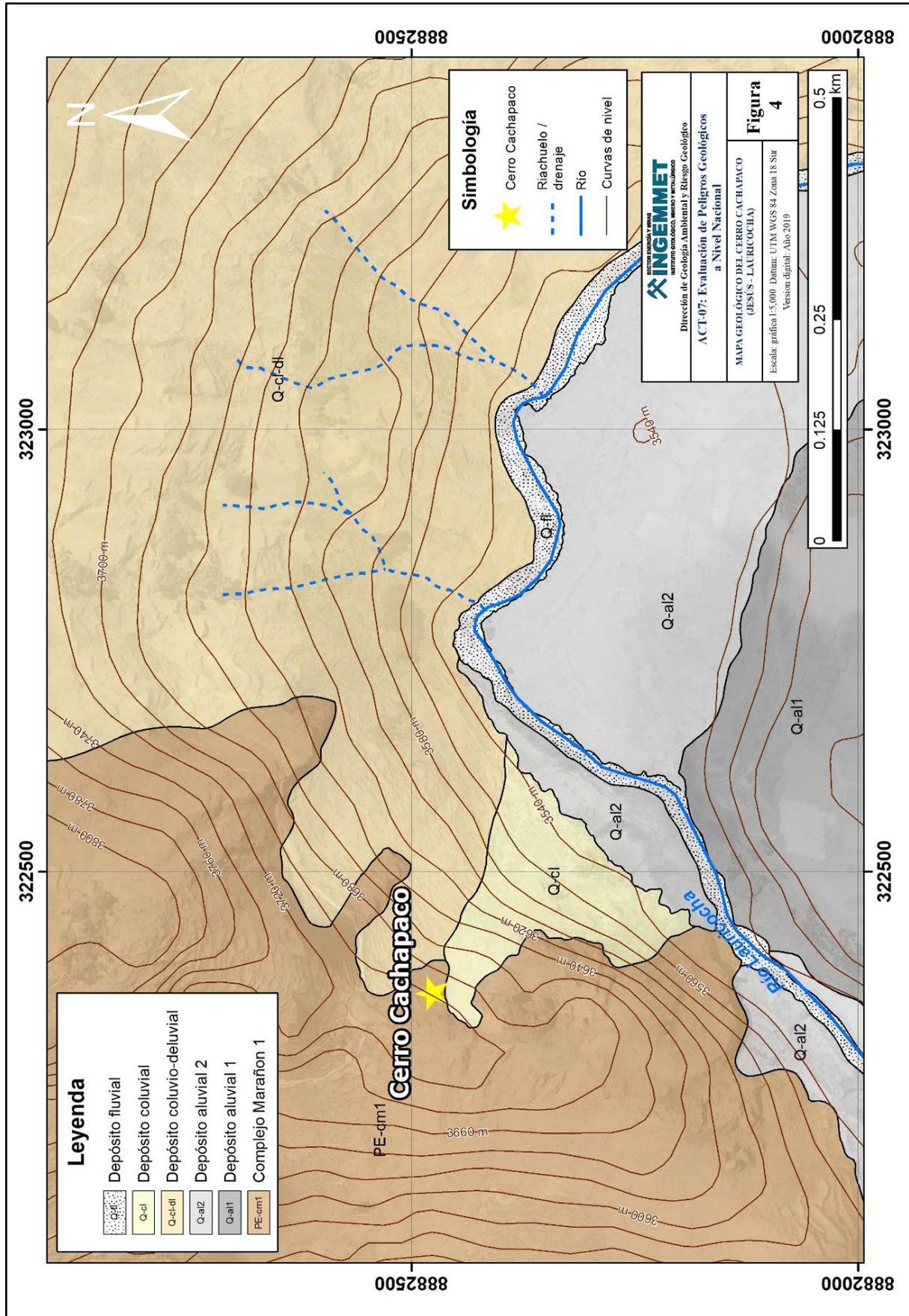


Figura 4. Mapa de geológico del cerro Cachapaco.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Las laderas del cerro Cachapaco, se encuentran en una zona de susceptibilidad media a muy alta ante la ocurrencia de movimientos en masa (Zavala & Vilchez, 2006, GEOCATMIN). Los trabajos de campo permitieron identificar caída de rocas y deslizamientos en la zona evaluada (**Figura 5**).

5.1. Conceptos generales

La **caída** es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes D. J., 1978) (**Figura 6**). **Derrumbe** se define como la caída de suelos y/o rocas, sin forma definida. Las rocas presentes en las laderas escarpadas del cerro Cachapaco se encuentran muy fracturadas, lo cual condiciona la ocurrencia de eventos de caída de rocas.

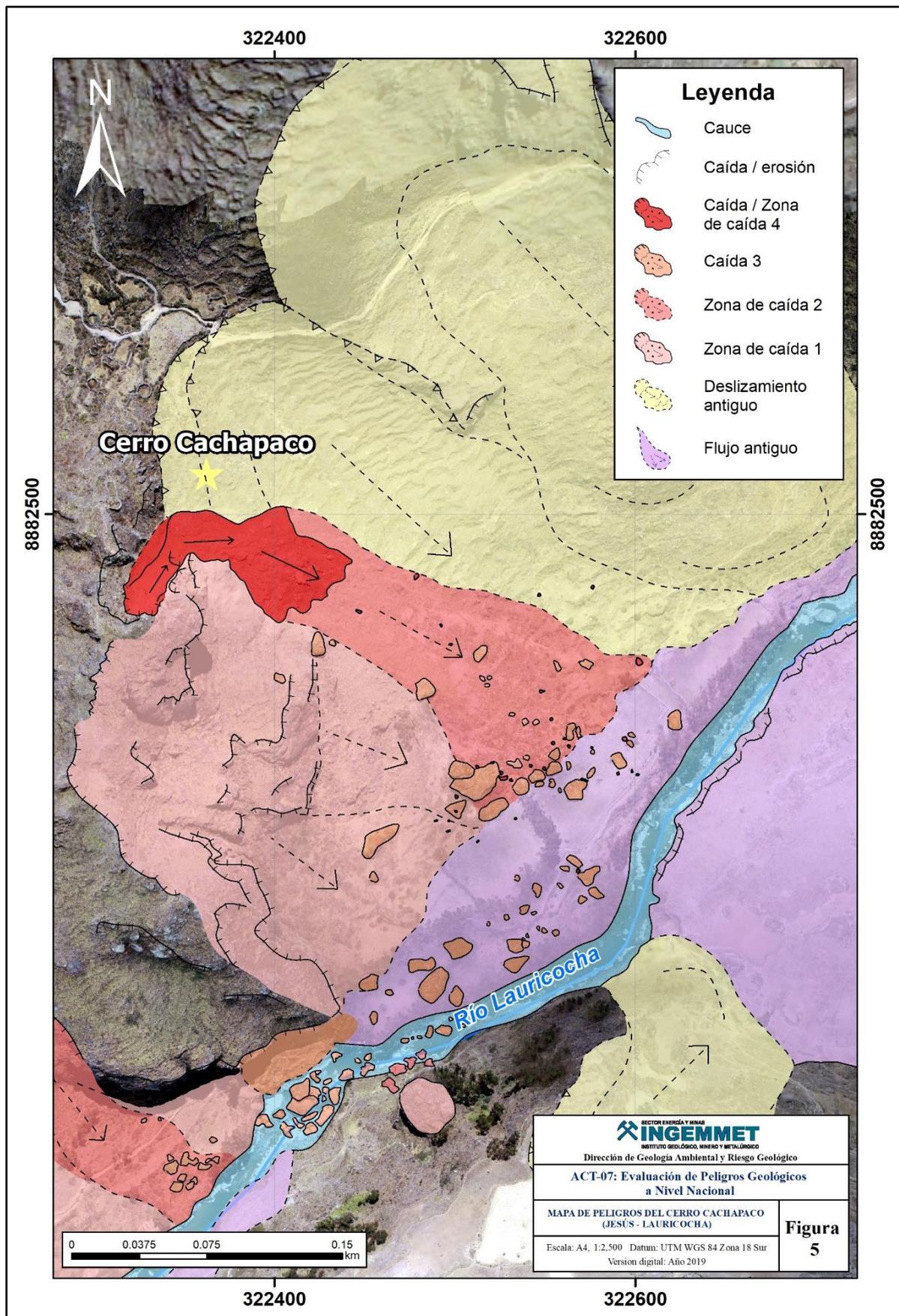


Figura 5. Mapa de peligros del cerro Cachapaco.

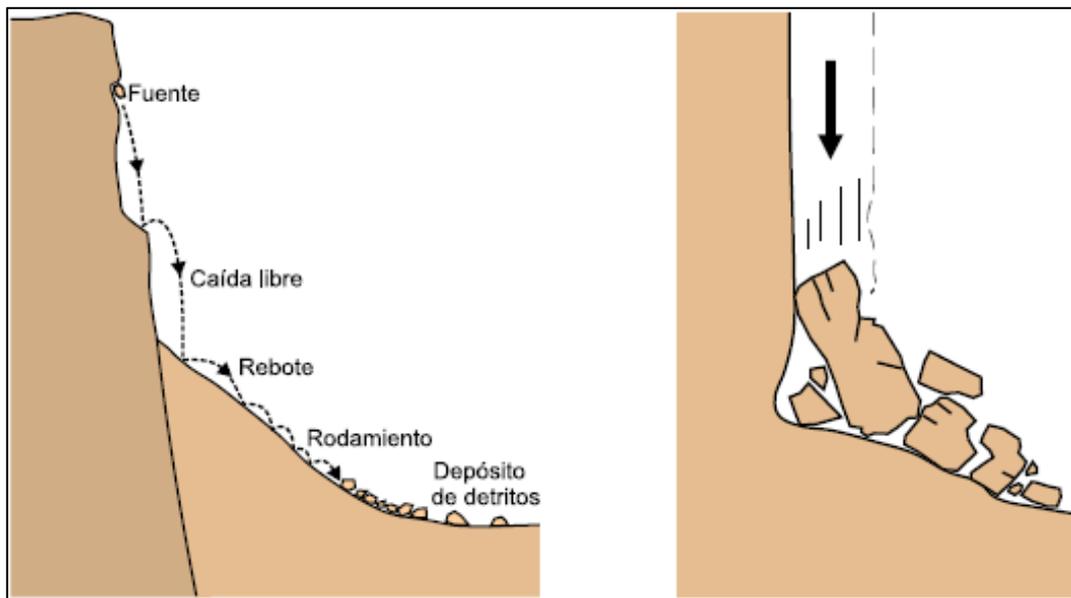


Figura 6. Ejemplos de caída de roca fragmentada (Evans, S.G., y Hungr, O., 1993). Fuente: Figura tomada de PMA (2007).

Los **deslizamientos** son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante, pueden ser de tipo rotacional o traslacional. El **deslizamiento de tipo rotacional (Figura 7)**, se caracteriza porque su masa de desplazamiento se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, la cabeza del movimiento deja un escarpe casi vertical, mientras que la superficie superior tiende a inclinarse hacia atrás en dirección al escarpe (PMA 2007). Las inmediaciones del cerro Cachapaco muestran morfologías de deslizamientos antiguos de grandes dimensiones.

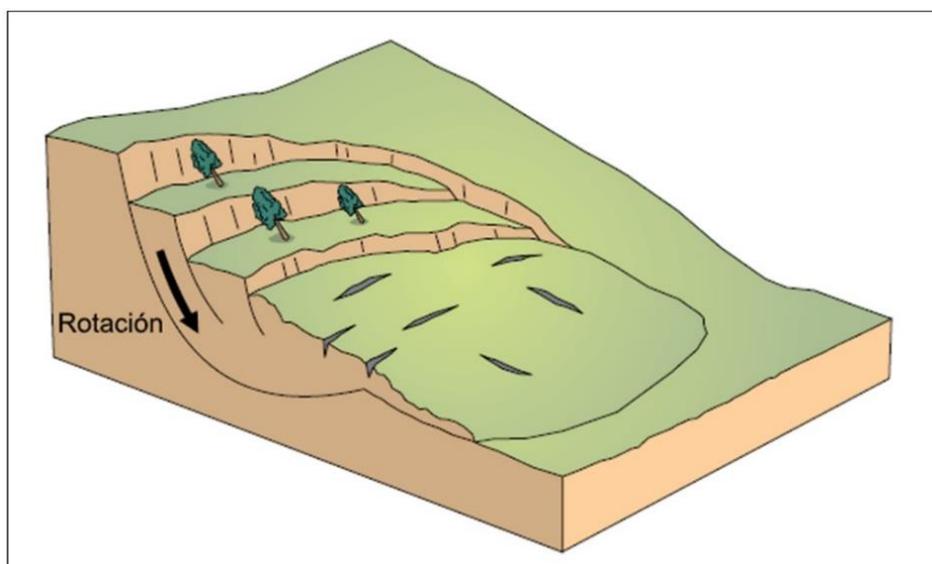


Figura 7. Esquema de deslizamiento rotacional (PMA 2007).

5.2. Caída de rocas del cerro Cachapaco

El día Lunes 17 de agosto, promediando las 18:00 horas, se produjo un desprendimiento de parte del Cerro Cachapaco. Los pobladores refieren que, inmediatamente después del suceso, se observó emanación de vapores en el lugar de la caída; al mismo tiempo, se percibió un olor a caucho quemado que alcanzó las parcelas aledañas y a la comunidad de Anexo Chiquia. INDECI prohibió el acceso al lugar.

Los trabajos de campo permitieron identificar la reactivación de un sector con caída de rocas en las laderas del cerro Cachapaco, que abarca un área total aproximada de 7.469 Ha con evidencias de recurrencia. El último evento movilizó rocas de hasta 4 m de diámetro, de SO a NO, desde la parte alta del cerro (coordenadas 322325 E; 8882399 S), con una superficie de arranque de 620 m² y área inicial de caída 1120 m², a 3500 m de altura y 270 m por encima del punto de emplazamiento final, acumulándose y cambiando su dirección de caída hacia el SE, en el sector con coordenadas 322347 E; 8882442 S (**Figuras 8 y 9**), siguiendo su trayectoria de forma dispersa, hasta la parte baja correspondiente a las terrazas aluviales de la margen derecha del río Lauricocha. (**Figura 10**).

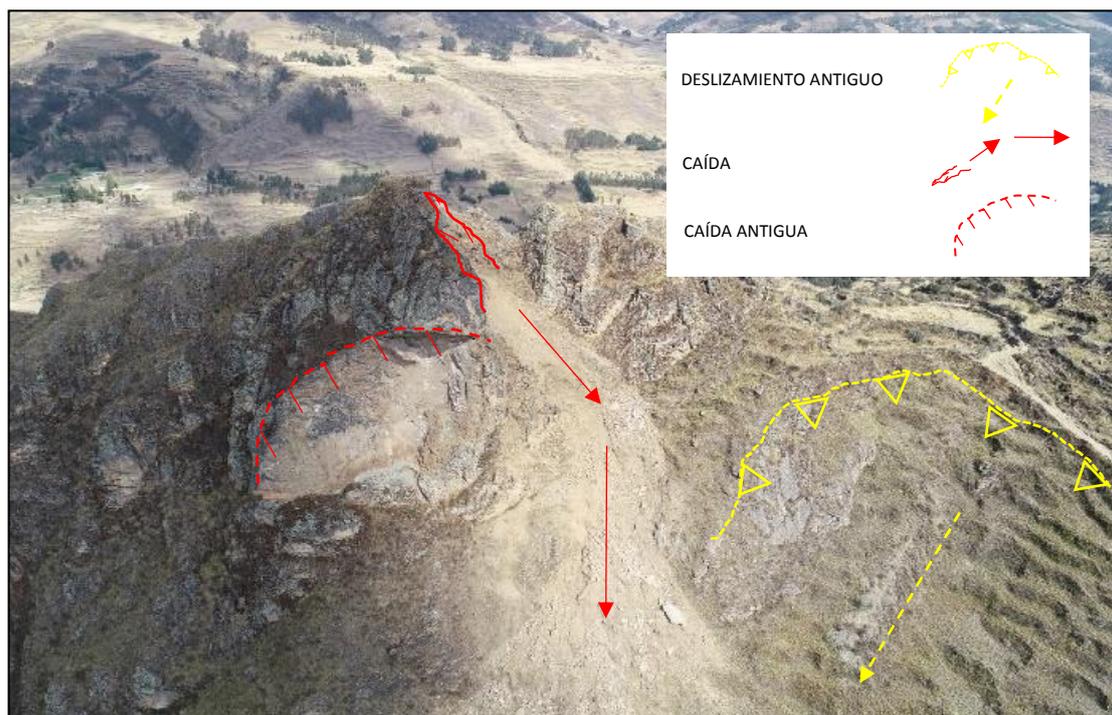


Figura 8. Vista con dirección al NW, donde se señala los movimientos en masa presentes en el cerro Cachapaco; interpretación realizada a partir de fotografía aérea (tomada con dron). Se señala también la trayectoria del evento reciente (flechas rojas).

En la zona de arranque, no se encontraron las fumarolas de vapor u otras fuentes de emanación de gases, en el lugar que refieren los pobladores; tampoco algún manantial o suelos con humedad.

El punto de la supuesta fuente de emanación de gases coincide con la zona de acumulación de rocas generada por el primer desplazamiento y cambio de dirección del material caído (322347 E; 8882442 S) (**Figura 9**).



Figura 9. A) Se observan depósitos de caída acumulados en la zona de cambio de dirección. B) Se observa depósitos de caída depositados en media ladera, donde se encontraría la zona de emanación de gases. Los clastos tienen dimensiones variables y formas angulosas a subangulosas, también se observan materiales finos limosos y arcillosos.



Figura 10. Se observan depósitos de caída del evento reciente (línea roja) y de un evento antiguo de mayor magnitud (línea naranja).

El sector muestra recurrencia de caídas de grandes proporciones (desde rocas de 0,50 m a 4 m, hasta bloques de 25 m de diámetro mayor aproximada), cuyos depósitos son claramente distinguibles sobre la terraza aluvial (**Figuras 10 y 11 A**), márgenes y cauce del río Lauricocha (**Figura 11 B**).

También se observan depósitos de rocas disgregadas correspondientes a otros eventos de menor magnitud. Mediante la fotointerpretación es posible diferenciar 4 eventos importantes (**Figura 5**). Las caídas de bloques mayores podrían estar relacionadas a sismos de gran magnitud que afectaron la zona en el pasado.

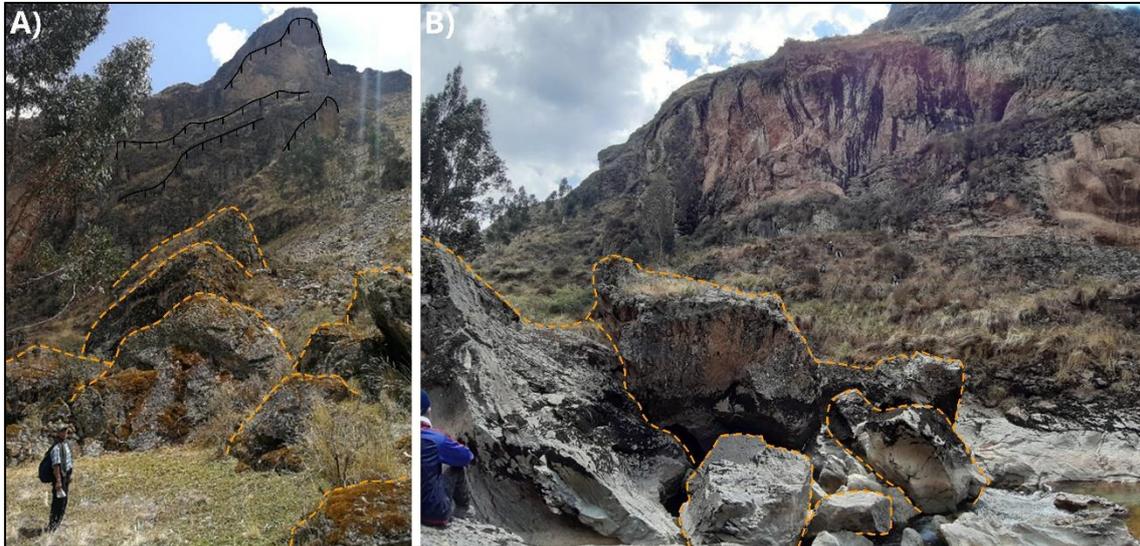


Figura 11. A) Se observan depósitos de caídas antiguas (líneas punteadas naranjas), en la parte baja del cerro Cachapaco, sobre las terrazas aluviales de la margen derecha del río Lauricocha. B) Se observan depósitos de grandes caídas acumulados en el cauce del río Lauricocha.

5.3. Deslizamientos en el cerro Cachapaco

Hacia el oeste del sector con caídas, se pueden encontrar geformas que corresponden a deslizamientos antiguos. En algunos puntos de los deslizamientos antiguos, se observan acumulaciones de agua y agrietamientos de 5 cm de ancho (**Figura 12**), que se prolongan de forma discontinua en dirección SO-NE. La presencia de estas grietas sugiere una reactivación local en proceso. En las laderas del cerro Cachapaco también resalta la gran cantidad de terrazas artificiales. La presencia de dichas terrazas sugiere la estabilización y acondicionamiento agrícola de las laderas deformadas por deslizamientos antiguos, por parte de poblaciones incas y preincas que habitaron el lugar.

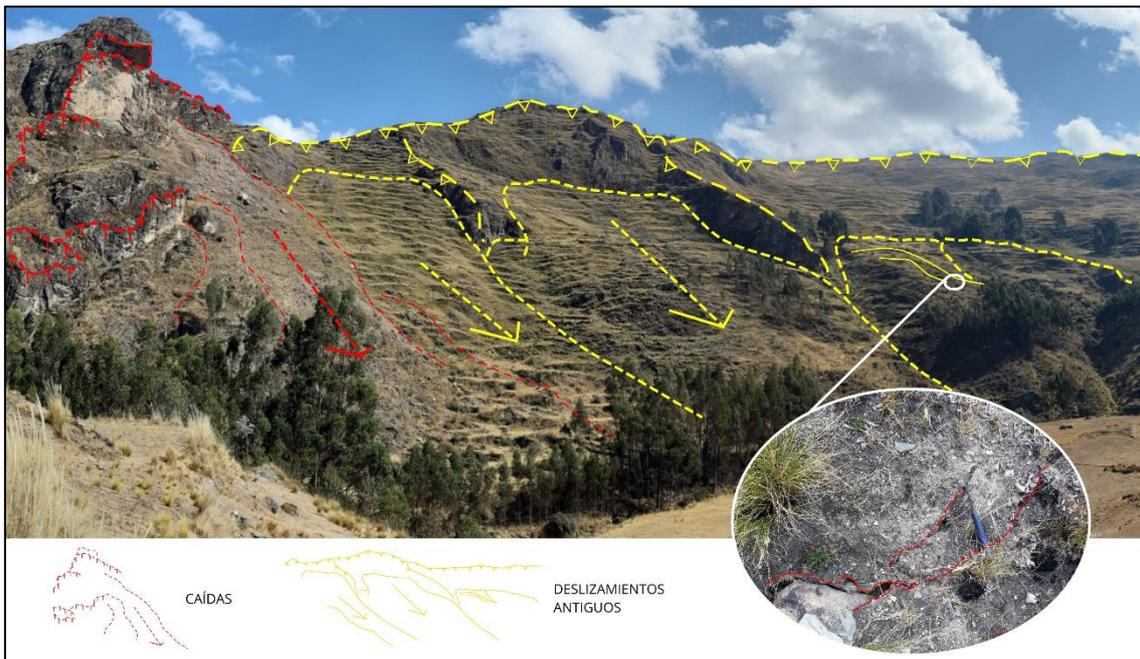


Figura 12. Deslizamientos antiguos colindantes a la zona de caídas. En el detalle, se observan agrietamientos recientes y humedad en el terreno.

Mediante trabajos de fotointerpretación se pudo identificar, al NE de la zona evaluada, en la cima del cerro Cachapaco; escarpes de dirección andina con buzamientos hacia el SO, relacionados a un megadeslizamiento (**Figura 13**). La presencia de estos lineamientos también podrían estar relacionada a la tectónica activa del contexto.

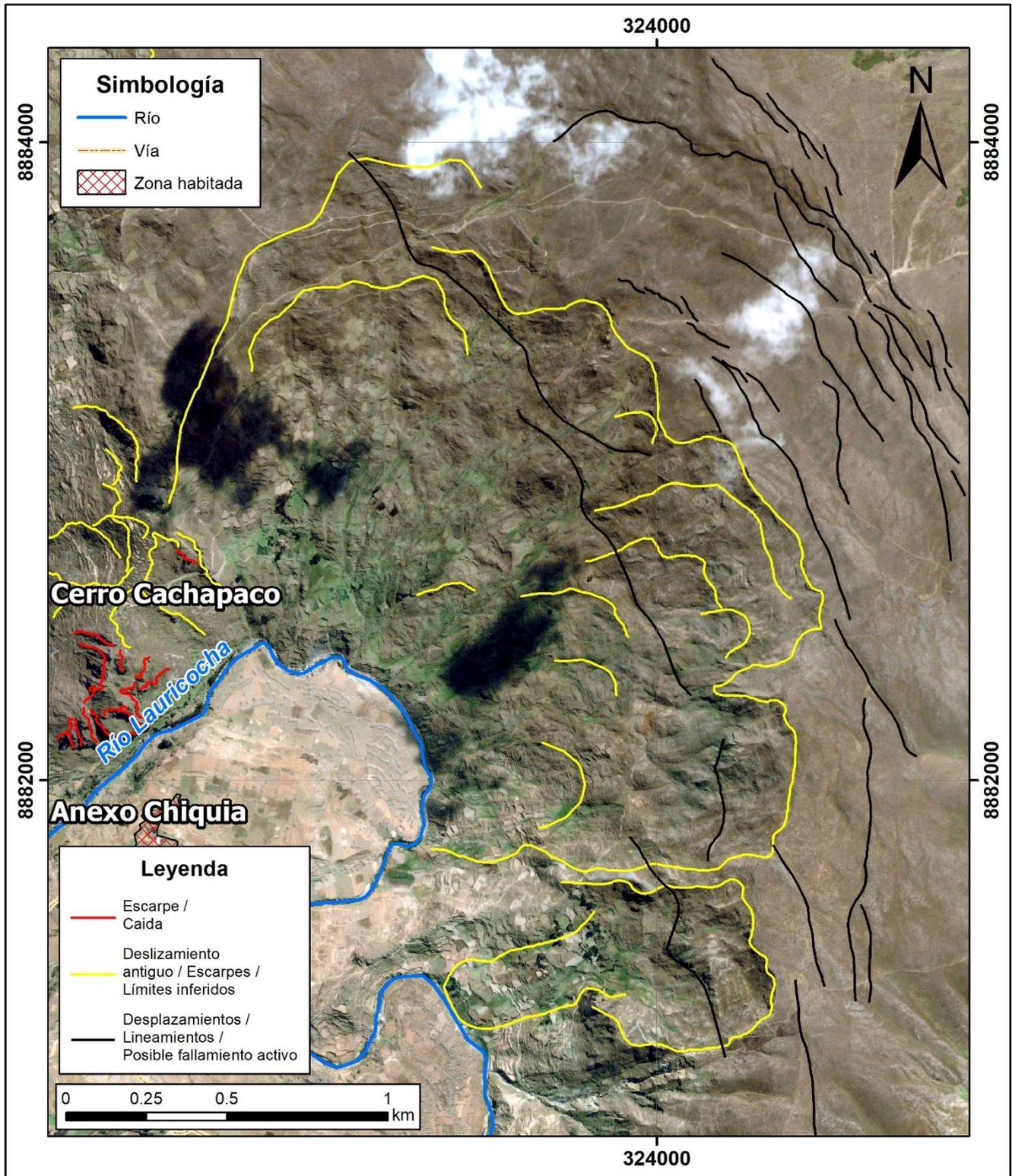


Figura 13. Geofomas de megadeslizamiento, escarpes y lineamientos ubicados al este del anexo Chiquia.

6. HIDROGEOLOGÍA

Los trabajos hidrogeológicos permitieron descartar la presencia de fuentes termales y conocer el comportamiento de los flujos subterráneos relacionados a los movimientos en masa.

6.1. Inventario de fuentes

El inventario de fuentes de aguas subterráneas se realizó en un solo período, que corresponde a la época de estío, dicho trabajo de campo se realizó el 27 de agosto del 2019.

El inventario de fuentes permitió descartar la presencia de fuentes termales y/o géiseres en la zona donde ocurrieron los eventos geodinámicos, además de encontrar las principales zonas de descarga hídrica que tienen los acuíferos de la zona.

Los trabajos de campo se desarrollaron cubriendo la mayor parte de los afloramientos o surgencias de aguas subterráneas que tiene el área de estudio, con el propósito de tener un diagnóstico completo de cómo se manifiestan las aguas subterráneas en superficie.

Se inventarió un total de cinco (5) fuentes de agua, de las cuales tres (3) corresponden a manantiales (Fotografía 1) y dos (2) a puntos de registro. De las fuentes inventariadas se seleccionaron un (1) manantial y dos (2) puntos de registro para la toma de muestras (Cuadros 1 y 2).



Fotografía 1: Registro de parámetros fisicoquímicos in situ, manantial LAU-002, al Sur del cerro Cachapaco (anexo de Chiquia).

Cuadro 1: Descripción de los trabajos de campo de las fuentes de agua inventariadas.

Tipo de Fuente	Fuentes inventariadas	Fuentes muestreadas	Parámetros In Situ	Descripción
Manantiales	3	1	Caudal, temperatura, pH, Eh, CE, TDS, Salinidad, Resistividad, RDO y OD.	Se tomaron muestras en la misma surgencia u ojos de los manantiales.
Punto de registro	2	2		
TOTAL	5	3		

Cuadro 2: Inventario de fuentes de agua con sus principales parámetros físico-químicos

N°	CODIGO	TIPO DE FUENTE	COORDENADAS		SUBCUENCA	SIMB.	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS				FECHA	HORA
			X	Y			T° C	PH	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)		
1	LAU-001	Punto de registro	322917	8882345	Lauricocha	▲	11.9	7.3	223.7	110.5	27/08/2019	09:20
2	LAU-002	Manantial	322914	8882703	Lauricocha	♂	11.9	6.7	58.5	28.9	27/08/2019	10:35
3	LAU-003	Manantial	322518	8882475	Lauricocha	♂	11.6	7.4	182.6	90.7	27/08/2019	12:18
4	LAU-004	Manantial	322555	8882450	Lauricocha	♂	16.0	6.9	262.1	129.4	27/08/2019	12:35
5	LAU-005	Punto de registro	322389	8882096	Lauricocha	▲	16.5	7.7	224.6	110.7	27/08/2019	13:27

Para visualizar espacialmente las fuentes de agua en la zona de estudio, se ubicaron en un mapa de inventario de fuentes, (**Figura 14**).

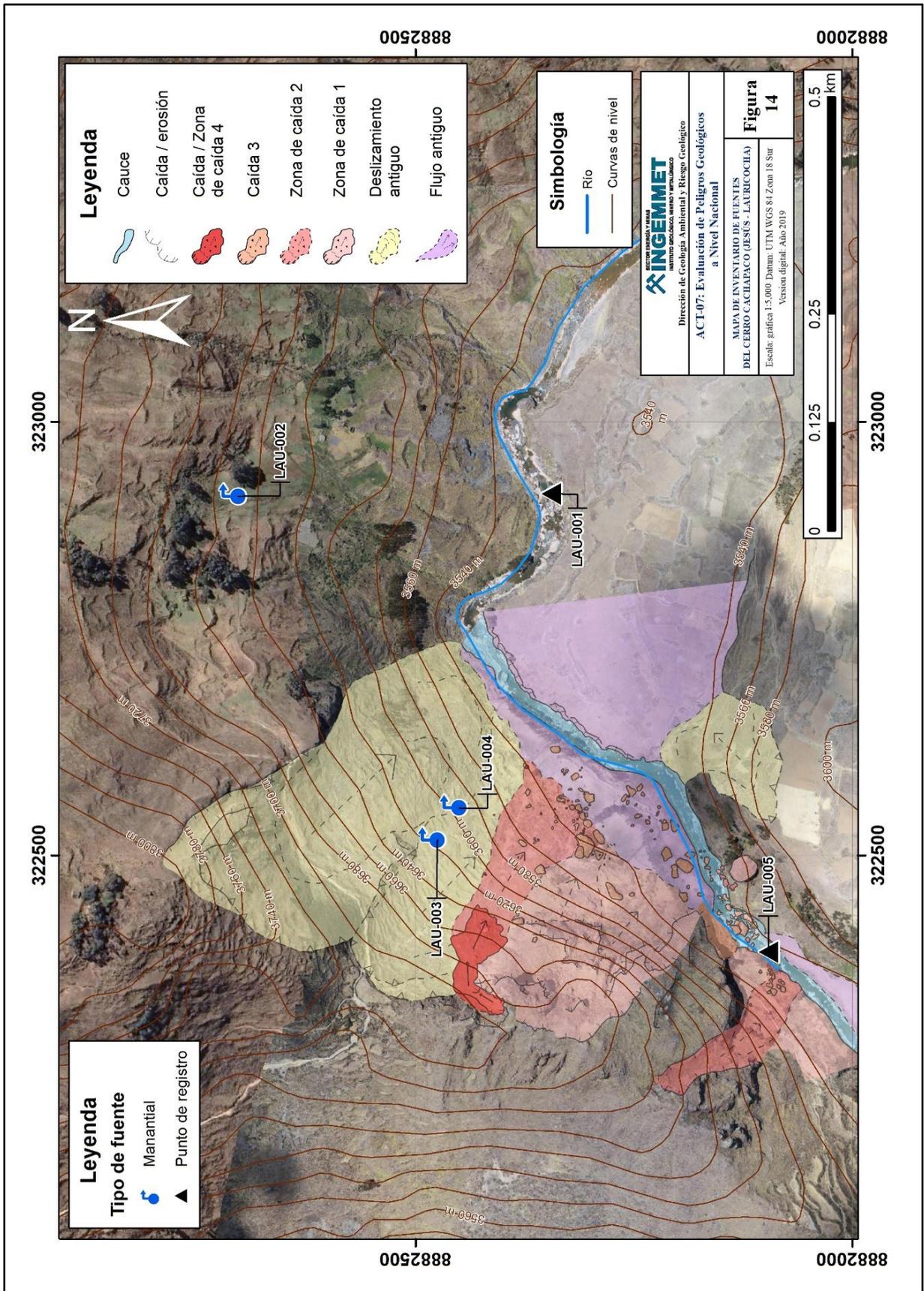


Figura 14. Mapa de inventario de fuentes de agua.

6.2. Clasificación hidrogeológica

Luego de tener un contexto geológico de nuestra área de estudio y conociendo sus parámetros hidráulicos, ya sean permeables o impermeables, podremos obtener una clasificación hidrogeológica, en base a la capacidad de los materiales para almacenar y transmitir aguas subterráneas.

El mapa hidrogeológico (**Figura 15**) se obtuvo en base a la información geológica existente del área de estudio, mostrando a las formaciones (rocas y suelos), con su respectiva clasificación hidrogeológica. Para la representación del mapa se consideró el manual para la elaboración de mapas hidrogeológicos de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), escrita por Struckmeier y Margat (1995).

Para la clasificación hidrogeológica, también se consideró el inventario de fuentes de aguas superficiales (río), subterráneas (manantiales), y datos teóricos de los parámetros hidráulicos de las diferentes litologías, que permitieron clasificar las unidades hidrogeológicas. Además, se ha recolectado muestras de las fuentes de agua para su caracterización hidroquímica.

Unidades hidrogeológicas

En el área de estudio se ha diferenciado tres unidades hidrogeológicas:

- Acuíferos porosos no consolidados.
- Acuitardos sedimentarios.
- Acuicludos metamórficos.

Acuíferos porosos no consolidados

Representado por los sedimentos cuaternarios, que comprenden los depósitos aluviales y fluviales, que se localizan ampliamente en la zona sur del área de estudio, especialmente en la margen izquierda del río Lauricocha.

De acuerdo a su litología, permeabilidad y espesor, se consideran acuíferos libres y superficiales, por la presencia de surgencias de aguas subterránea y aportes del río. Estos acuíferos, tienen alta permeabilidad, por lo que representan acuíferos de alto interés hidrogeológico, siendo su máxima representación los que corresponden a los depósitos aluviales.

Los depósitos fluviales, que se depositan cerca del cauce del río, presentan poca incidencia en la hidrogeología del área estudiada, debido a su poca extensión; sin embargo, su importancia se basa a la conexión que tiene con los acuíferos aluviales.

Acuitardos sedimentarios

Son formaciones geológicas que tienen la capacidad de almacenar agua subterránea pero la transmiten muy lentamente, en estas unidades es en donde se evidencian generalmente movimientos en masa, debido a que no transmiten el agua que está en su interior, generando un incremento en el peso de los materiales, y al alcanzar un nivel elevado de saturación, pueden llegar a desencadenar deslizamientos.

En nuestra área de estudio, corresponde a los depósitos coluviales y coluvio-deluviales, donde predominan, conglomerados, gravas, arenas, limolitas, arcillitas, con matrices arcillo-limo-arenosos. Están ampliamente distribuidos, especialmente hacia el norte del área, son de escasa producción e interés hidrogeológico.

Acuicludo metamórfico

Representado por esquistos del complejo Marañón 1, de muy bajo interés hidrogeológico por ser completamente impermeables.

A continuación, el cuadro 3 muestra el resumen de la clasificación hidrogeológica de las formaciones geológicas en la zona de estudio.

Cuadro 3: Clasificación hidrogeológica en el anexo de Chiquia (cerro Cachapaco).

UNIDAD HIDRO_GEOLÓGICA	CLASIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA	PERMEABILIDAD	DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA	
ACUÍFERO	POROSO NO CONSOLIDADO	Aluvial 1	APNC-al1	Alta	Acuíferos heterogéneos, de espesor variable y de gran extensión.
		Aluvial 2	APNC-al2	Alta	
		Fluvial	APNC-fl	Alta	Acuífero de alta permeabilidad, de poca extensión.
ACUITARDO	SEDIMENTARIO	Coluvial	ATS-cl	Baja	Material de escaso interés hidrogeológico, su componente litológico tiene características impermeables.
		Coluvio - deluvial	ATS-cl-dl	Baja	
ACUICLUDO	METAMÓRFICO	Marañón 1	ACM-cm1	Nula	Materiales de escaso interés hidrogeológico, pueden almacenar agua en pequeñas cantidades en las fracturas superficiales.

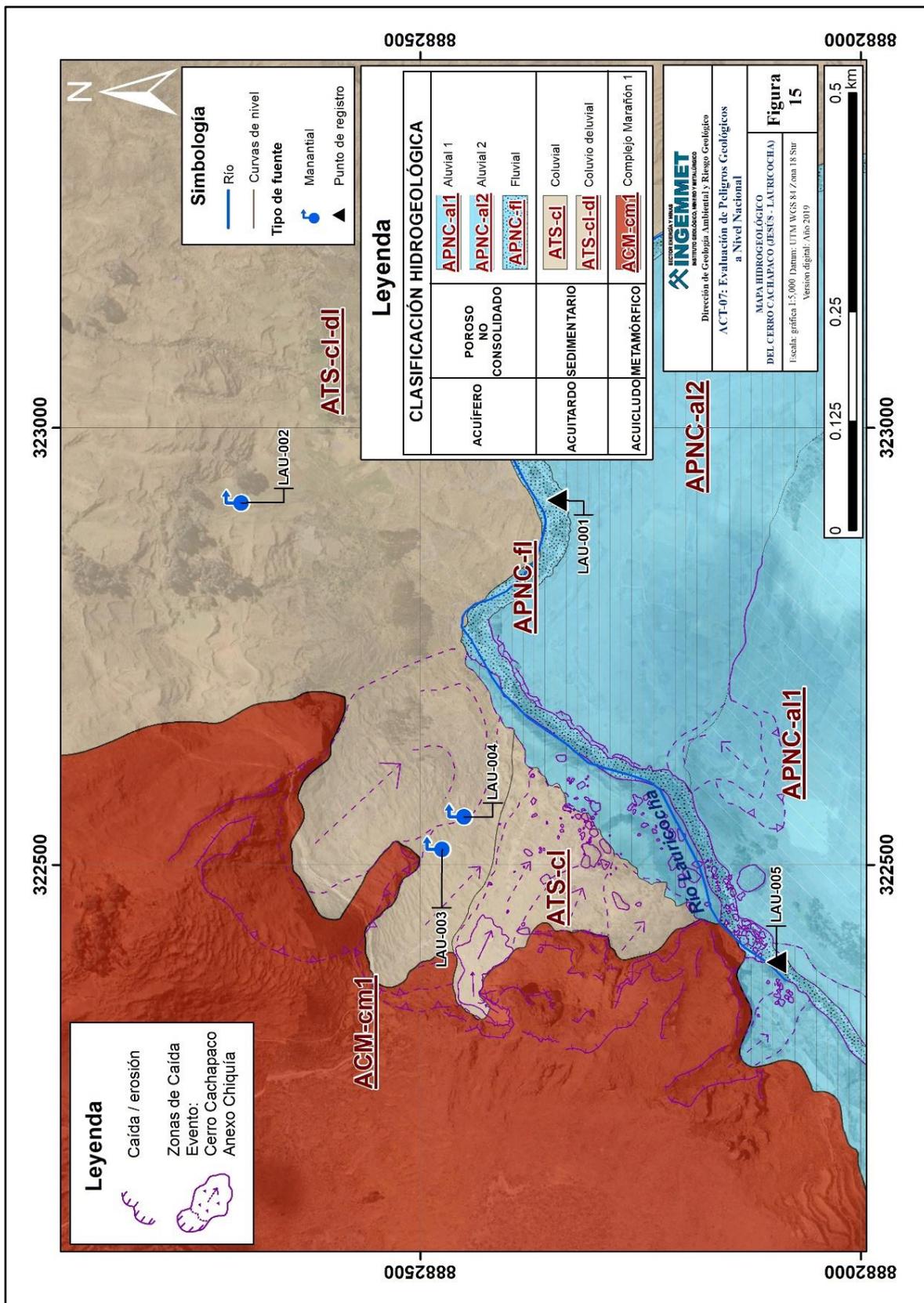


Figura 15. Mapa hidrogeológico del Cerro Cachapaco (Jesús – Lauricocha).

6.3. Hidroquímica

Las características hidroquímicas del agua subterránea, dependen en gran medida de las condiciones y características que tienen los acuíferos, de su litología, de la velocidad de circulación, de la calidad del agua de infiltración, de los factores hidrodinámicos y también de las actividades humanas, las mismas que pueden influenciar o contaminar las aguas subterráneas. La influencia de condiciones externas al subsuelo (como la pluviometría y los aspectos antrópicos) modifican de forma temporal o permanente la naturaleza y comportamiento hidroquímico de las aguas subterráneas.

6.3.1. Estaciones de muestreo de aguas subterráneas

En la zona de estudio se ha muestreado tres (3) fuentes de aguas, que corresponden a manantiales y puntos de registro, tratando de evaluar las características generales de los reservorios acuíferos. Se tomó parámetros físico-químicos (T°, pH, TDS, etc.) en cada estación de muestreo, (**Fotografía 2**).

6.3.2. Selección de la serie analítica

La serie analítica, se seleccionó con la finalidad de describir las propiedades de los componentes hidroquímicos de las aguas subterráneas.

En cada estación de muestreo, se registraron las coordenadas UTM del punto (proyección WGS 84) y las características físicas como apariencia, color y olor. Se tomaron parámetros de campo (pH, temperatura, conductividad eléctrica, TDS, etc.) y se recolectaron las muestras respectivas para los análisis en laboratorio. Para la toma de parámetros en campo, se utilizó un equipo multiparamétrico de marca Thermo Orión. Estos equipos, se calibraron utilizando sus respectivos estándares y siguiendo las indicaciones del fabricante.

6.3.3. Análisis de resultados

El laboratorio seleccionado, para el análisis de las muestras de agua, fue el laboratorio de Ingemmet, donde se analizaron las tres (3) muestras de aguas subterráneas, tomadas el 27 de agosto de 2019.



Fotografía 2: Toma de muestra del río Lauricocha (LAU-005)

6.3.4. Facies hidroquímicas

De las fuentes muestreadas, se ha evaluado las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios en el agua, como los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}) y aniones (HCO_3^{-} , SO_4^{2-} y Cl^{-}).

El predominio de las facies hidroquímicas se ha calculado usando el software Aquachem, que a su vez nos ha permitido generar diagramas hidroquímicos que representen los valores y el predominio de los elementos químicos mayoritarios.

Para el análisis e interpretación de datos hidroquímicos, se han utilizado los diagramas de Piper y Scatter, con la finalidad de dar una interpretación de su posible origen o procedencia del agua subterránea (interacción agua roca).

Diagramas Piper y evolución de flujos Mifflin

Considerando que, las predominancias químicas están relacionadas con la evolución de flujos, se establece el gráfico comparativo entre el diagrama de Piper y el diagrama de Scatter, (**Figuras 16 y 17**).

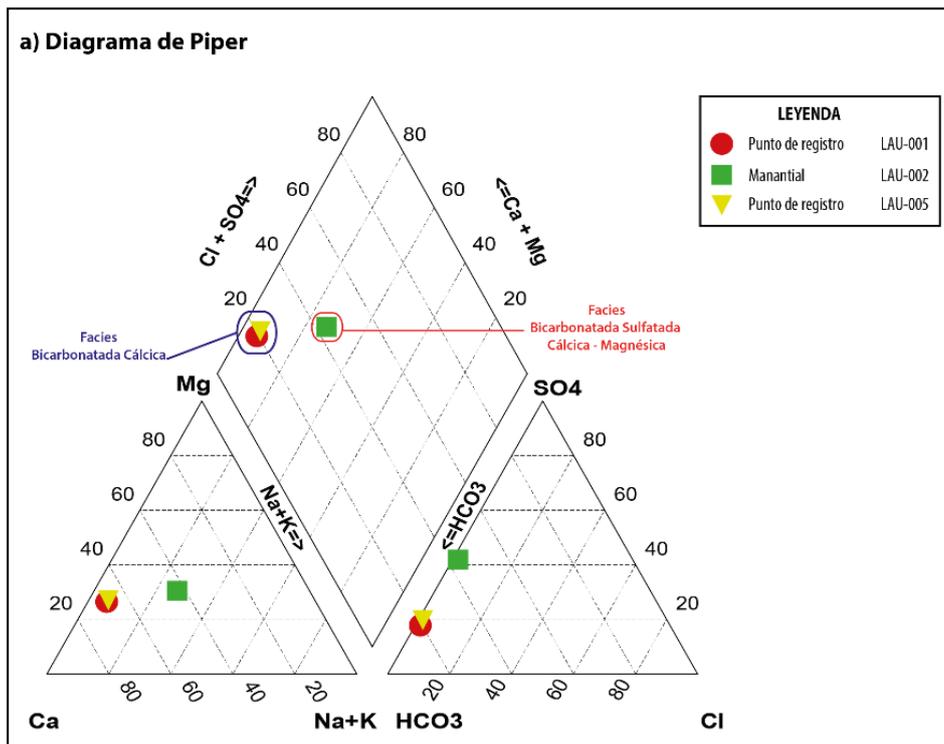


Figura 16. Diagramas de Piper de las fuentes muestreadas en la zona de estudio.

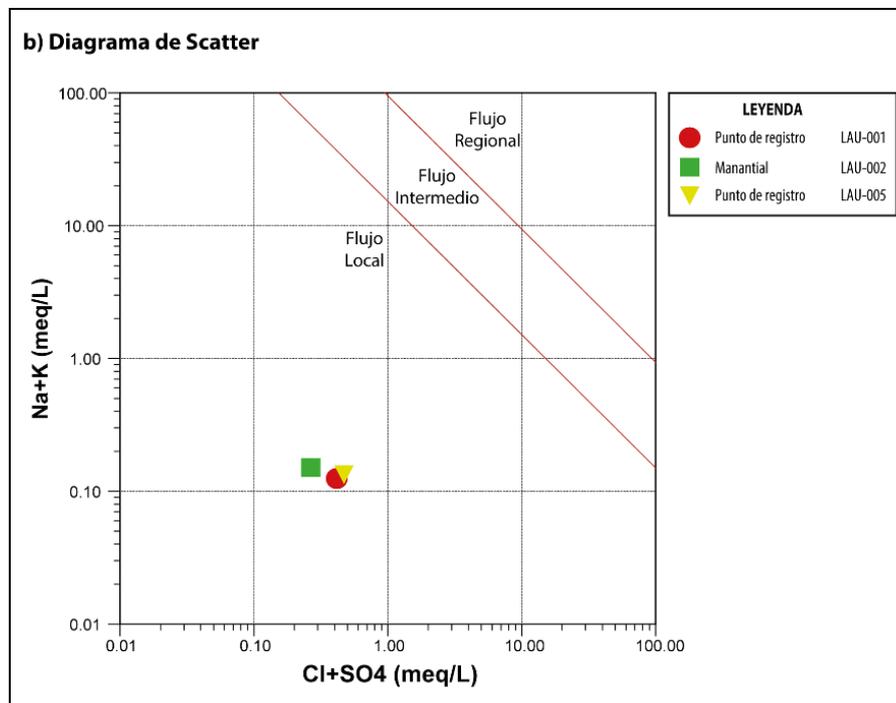


Figura 17. Diagramas de Scatter de las fuentes muestreadas en la zona de estudio.

Según las figuras 16 y 17, observamos que los puntos de registro tienen una predominancia química bicarbonatada cálcica, que corresponden a aguas de corto recorrido, con escasa mineralización, y son de flujo local, además de que entre la muestra LAU-001 (localizado antes del evento geodinámico) y la muestra LAU-005 (localizado después del evento geodinámico) no existe una variación tangible, lo cual nos indica que el evento no influyó ni cambio la predominancia química del agua del río Lauricocha, con estos resultados también se descarta la presencia de fuentes de aguas termales y/o flujos subterráneos de naturaleza termal.

En cuanto al manantial LAU-002, pertenece a la facies bicarbonatada sulfatada cálcica magnésica. Esta facies nos indica flujos locales, de corto recorrido y de poco tiempo de residencia en el acuífero, la predominancia secundaria sulfatada y magnésica, se debe a las disoluciones de escasos minerales dentro de los materiales por el agua durante su recorrido.

Los manantiales LAU-003 y LAU-004, que se encuentran próximos al evento del cerro Cachapaco, no se muestrearon por presentar caudales muy bajos, de valores menores a 0.2 L/s, por lo que no afectarían directamente a causar dicho evento, podríamos afirmar que provienen de filtraciones del manantial LAU-002, a quien se le puede atribuir como polisurgente, debido a estas surgencias de agua.

CONCLUSIONES

1. El cerro Cachapaco es parte de un relieve montañoso en rocas metamórficas. En sus laderas y faldas se observan piedemontes coluvio-deluviales. Las pendientes en laderas superan los 40°. Su parte baja la conforman terrazas aluviales homogéneas, con pendientes suaves menores a 5°.
2. La geología del cerro Cachapaco está constituida por afloramientos de esquistos correspondientes a la primera unidad del Grupo Marañón. También se observan depósitos aluviales constituidos mayormente por clastos redondeados y depósitos coluviales conformados por bloques dispersos y agregados de fragmentos angulosos. En relación a los depósitos coluvio-deluviales, constituyen las laderas y faldas del cerro Cachapaco.
3. Las laderas del cerro Cachapaco, se encuentran en una zona de susceptibilidad media a muy alta ante la ocurrencia de movimientos en masa. Los trabajos de campo permitieron identificar caídas de roca y deslizamientos en la zona evaluada.
4. Durante la inspección se identificó la reactivación de un sector con caída de rocas, en el cerro Cachapaco. Los bloques se movilizaron de SO a NO, desde la parte alta del cerro, con una superficie de arranque de 620 m² y área inicial de caída 1120 m², a 3500 msnm, 270 m por encima del punto de emplazamiento final, siguiendo su trayectoria de forma dispersa, hasta la parte baja correspondiente a terrazas aluviales de la margen derecha del río Lauricocha. Bloques de hasta 4 m de longitud llegaron a la parte baja. Las rocas presentes en las laderas escarpadas del cerro Cachapaco, se encuentran muy fracturadas, lo cual condiciona la ocurrencia de eventos de caída de rocas.
5. No se encontraron las fumarolas de vapor u otras fuentes de emanación de gases en el lugar que refieren los pobladores. Tampoco algún manantial o suelos con humedad. De acuerdo a las observaciones de campo se asume que los pobladores confundieron polvareda generada por las caídas, con gases o vapor. Los olores estarían relacionados a la fricción de las rocas durante su caída.
6. En las laderas, parte baja y terrazas aluviales aledañas al cerro Cachapaco, se observa recurrencia de caídas, resaltando eventos antiguos de grandes proporciones que movilizaron bloques de hasta 25 m de longitud mayor aproximada. Dichas caídas estarían relacionadas con sismos pasados.
7. Hacia el oeste del cerro Cachapaco se muestran geoformas correspondientes a depósitos y escarpas de deslizamientos antiguos de grandes dimensiones. En algunos puntos se observan acumulaciones de agua y agrietamientos de 5 cm de ancho, que se prolongan de forma discontinua en dirección SO-NE. La presencia de estas grietas sugiere una reactivación local en proceso.

8. Mediante fotointerpretación se identificaron en la cima del cerro Cachapaco; escarpes de dirección andina con buzamientos hacia el SO, relacionados a un megadeslizamiento (**Figura 13**). La presencia del megadelizamiento antiguo, lineamientos y escarpes podrían estar relacionada a la tectónica activa del contexto.
9. En relación a la hidrogeología, en la zona de estudio se clasificaron acuíferos porosos no consolidados de gran potencial hidrogeológico, acuitados sedimentarios, relacionados a los movimientos en masa, y un acuíclodo metamórfico.
10. Los resultados del muestreo hidrogeológico confirmaron las observaciones de campo dado que, no se encontraron fuentes termales, y al hacer una comparación entre los resultados químicos de las muestras del río, antes y después del punto en que ocurrió el movimiento en masa, no se encontró una diferencia tangible en la composición, descartándose flujos subterráneos de naturaleza termal.
11. Por las condiciones actuales, se considera al Cerro Cachapaco y terrenos de su parte baja, como **Zonas de Peligro Muy Alto a la ocurrencia de Movimientos en Masa y Peligros Geohidrológicos**, ante lluvias periódicas estacionales y/o extraordinarias y también por eventos sísmicos.

RECOMENDACIONES

1. No utilizar las laderas del cerro Chachapaco y su parte Baja, con fines de vivienda.
2. Prohibir cultivos que expongan prolongadamente los suelos a la lluvia o requieran grandes cantidades de agua que saturen los terrenos y generen inestabilidad. Prohibir prácticas de riego por gravedad. Revestir los canales de riego. Practicar riego por goteo u otras técnicas de riego que no saturen los suelos.
3. Realizar el mantenimiento de los reservorios y sus respectivas tuberías o canales conectores, a fin de identificar lugares con infiltraciones y evitar saturación de agua en laderas.
4. Implementar adecuados sistemas de captación de manantiales (aguas subterráneas). Drenar las aguas captadas con canales impermeables.
5. Las laderas deben mantenerse con cobertura vegetal de manera permanente.
6. Sellar las grietas abiertas identificadas en zonas de deslizamientos del oeste del sector de caídas.



Ing. JOSE LUJIS MORENO HERRERA
Especialista en Hidrogeología
INGEMMET



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Luis Angel Albinoz Baca
INGENIERO GEOLOGO
CIP 222658

REFERENCIAS

- Cobbing et al, (1996) - “Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca”, INGEMMET, Boletín N° 76 Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Zavala, B.; Vilchez, M. (2006), Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco. INGEMMET, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica, N° 34, 174p., 5 mapas 1:900 000, y 11 mapas escala 1:300 000.
- Zavala, B. y Vilchez, M. (2005) - “Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Huánuco”, INGEMMET, Informe Técnico, Geología Ambiental y Riesgos Geológicos.
- Zavala, B. & Rosado, M. (2010) – “Riesgo geológico en la región Cajamarca”. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396 p., 19 mapas.
- Lugo, J. (2011), Diccionario geomorfológico. Universidad Nacional Autónoma de México. 448 p.
- Sébrier, M.; Huamán, D.; Blanc, J.L.; Macharé, J. Bonnot, D. & Cabrera, J. (1982). Observaciones acerca de la neotectónica del Perú. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 107 p.
- Macharé, J.; Benavente, C. & Audin, L., (2009) - Síntesis descriptiva del mapa neotectónico 2008. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 40, 103p.4
- Varnes, D. J., 1978, Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9–33.
- Evans, S.G., y Hungr, O., 1993, The analysis of rock fall hazard at the base of talus slopes: Canadian Geotechnical Journal, v. 30, p. 620–636.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM
- PNUD, (2005) - “Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca”. INDECI.
- Reyes, L. (1980) - “Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajambamba”. INGEMMET, Boletín N° 31 Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Peña, F. y Moreno, J. L., “Estudio hidrogeológico de la microcuenca Lauricocha”. INGEMMET, Informe técnico N° A6678.