



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

**INGEMMET**

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

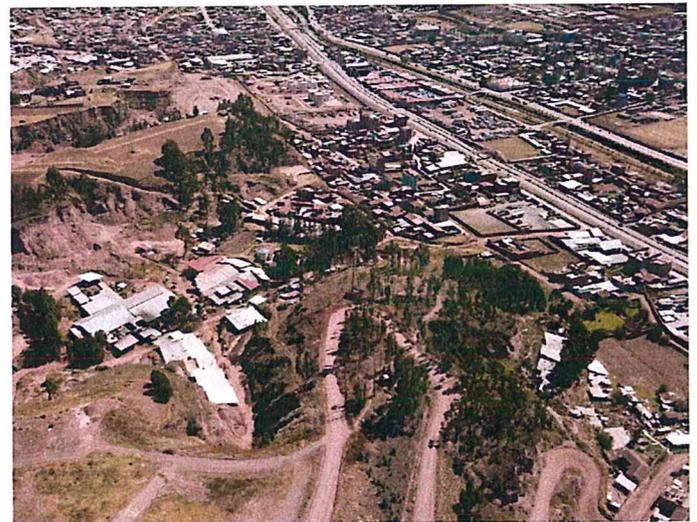
**Informe Técnico N° A6938**

# **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA APURANTE HUAYCO - LADRILLERAS**

Región Cusco

Provincia Cusco

Distrito San Jerónimo



SEPTIEMBRE

2019

INGEMMET - INFORME TÉCNICO - A6938 - 02/09/19

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>3. TRABAJOS PREVIOS</b> .....	4
<b>4. ASPECTOS GENERALES</b> .....	5
4.1. Ubicación y accesibilidad.....	5
4.2. Objetivos.....	5
4.3. Condiciones hidrometeorológicas .....	6
4.4. Cobertura vegetal, uso de suelo y población.....	6
4.5. Sismicidad histórica .....	6
<b>5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS</b> .....	7
5.1. Geomorfología.....	7
5.2. Geología, tectónica activa e hidrogeología.....	9
<b>6. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	11
6.1. Conceptos generales.....	12
6.2. Cárcava quebrada Apurante Huayco.....	15
6.3. Relleno de cárcavas en la quebrada Apurante Huayco.....	15
<b>7. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES</b> .....	20
<b>CONCLUSIONES</b> .....	21
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	23

## 4. ASPECTOS GENERALES

### 4.1. Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se localiza en el distrito de San Jerónimo, al sur este de la ciudad del Cusco, en la provincia y región Cusco (figura 1), sobre los 3200 m.s.n.m., en las coordenadas WGS84 – 18S: 187428 O; 8499537 N.

Se accede por la siguiente ruta: Lima - Nazca - Abancay - Cusco; siguiendo por la vía de evitamiento hasta el sector de ladrilleras en San Jerónimo. El itinerario desde INGEMMET/ODCUSCO fue el siguiente:

DÍA 1		
Ruta	Tipo de vía	Tiempo / kilometraje
INGEMMET/ODCUSCO - Plaza de armas de San Jerónimo - Ladrilleras	Calles y avenidas asfaltadas	45 m / 15 km
Ladrilleras - APV Thancarpucyo	Carretera afirmada	5 m / 1.5 km

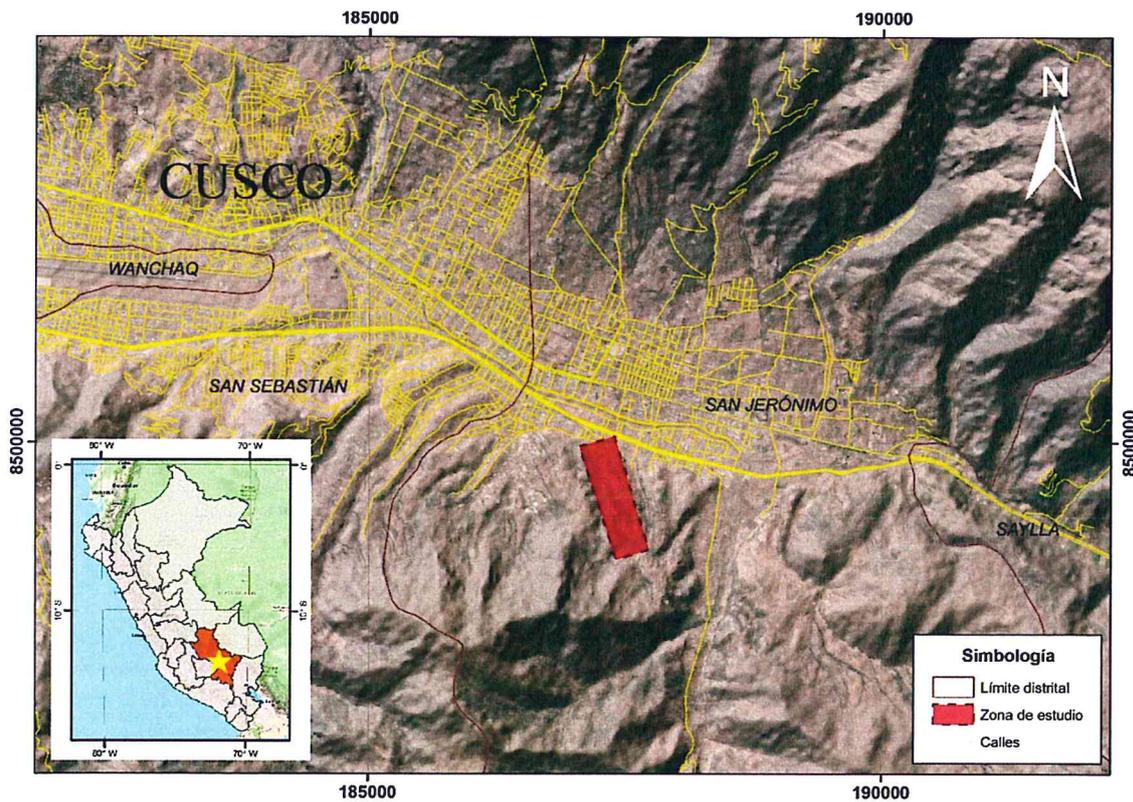


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

### 4.2. Objetivos

- Identificar y evaluar las zonas con peligro geológico que afecten o afectaron a la APV Thancarpucyo, quebrada Apurante Huayco.
- Recomendar medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

### 4.3. Condiciones hidrometeorológicas

Tomando como referencia los datos de la estación meteorológica Kayra (SENAMHI 2012, en Vila & Vasquez 2016), ubicada sobre los 3219 m.s.n.m., a 1.5 km al este de la zona de estudio, las precipitaciones mayores se concentran entre los meses de octubre y marzo, observándose los picos de precipitación entre los meses de enero y diciembre. En la temporada lluviosa 2009-2010, durante la cual se presentaron inundaciones y movimientos en masa en la cuenca del Cusco, se registró un pico de 155.6 mm acumulados (estación Kayra), en febrero del 2010, inusual para la zona de estudio.

### 4.4. Cobertura vegetal, uso de suelo y población

De acuerdo a la clasificación de Palomino del 2011, para la cuenca del cusco, la zona de estudio tiene cobertura vegetal tipo cultivo seco en la parte alta de las terrazas, además de pequeños bosques de estrato medio ralo de eucalipto, en los bordes de terrazas y laderas empinadas (figura 2). En la parte alta de la quebrada Apurante Huayco, se observan pajonales y laderas con césped de puna (figuras 12 y 14).

De acuerdo a los mapas diagnóstico "Capacidad de uso mayor de uso de suelo" y "Clasificación general de suelos" (SGOT - Municipalidad provincial del Cusco, 2013), la quebrada Apurante Huayco se encuentra en "área de uso agrícola" y "área rural de protección y conservación ecológica y protección agrícola", respectivamente.

La parte alta de las terrazas, se utilizan principalmente para la agricultura, observándose también el uso forestal en las zonas de ladera, también se observan viviendas rurales dispersas. La parte baja, correspondiente a las laderas y cauce de la quebrada, es utilizada como zona extracción de material minero no metálico (Palomino, 2011), de la cual se extraen arcillas y otros agregados útiles para la fabricación de ladrillos, los cuales también se elaboran en el sector (figura 2). La zona de desfogue, que limita con las fábricas de ladrillos, se encuentra urbanizada.

De acuerdo al Sistema de Información Geográfica del INEI (2019), la zona urbana de la parte baja de la quebrada Apurante Huayco, correspondiente a las manzanas y lotes del sur de la avenida Pachacutec, es habitada por un aproximado de 900 personas.

### 4.5. Sismicidad histórica

La región del Cusco ha sido afectada por sismos históricos que generaron gran destrucción en el pasado reciente, así como épocas inca y colonial (cuadro 1).

Los sismos históricos que causaron más destrucción en la ciudad del Cusco fueron los de 1650 (Silgado, 1978) y 1950 (Ericksen et al., 1954). También resalta el sismo de 1986 (Zegarra et al., 1987), que afectó gran parte de la ciudad y fue el de mayor magnitud sentido recientemente.

Cabe mencionar que las fuentes sismogénicas asignadas a las cuales se atribuyen estos sismos son próximas a la ciudad (figura 5), lo cual incrementa el riesgo sísmico.

Fecha	Lat (grados)	Long (grados)	Prof. (Km)	Mag. (Ms, mb, ML, Mw)	Intensidad Máxima	Intensidad en Cusco Región	Intensidad zona de estudio
31 de Marzo 1650	-13.50	-71.70	30	7.2	IX	IX - VII	IX - VII
21 de Mayo de 1950	-13.50	72.00	15	6.0	VIII	VIII - II	VIII
03 de Junio 1980	-13.37	-72.52	20	5.0	VI	VI - III	IV - III
05 de Abril de 1986	-13.51	-72.03	7	5.3	VIII	VIII - III	VIII
10 de Enero de 1998	-12.20	-72.20	38	6.4	V	V - III	V - IV
08 de Agosto de 2003	-14.49	-71.49	32	5.1	V	V - II	III - II
28 de Septiembre de 2014	-13.78	-71.87	6	5.1	VII	VII - II	VI - III

Cuadro 1. Catálogo de sismos históricos con epicentros en la región Cusco, elaborado a partir de Catálogo General de Isosistas para Sismos Peruanos de Tavera 2016. Modificado de Albinez & Anco, 2018.

## 5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

### 5.1. Geomorfología

Geomorfológicamente, la zona presenta un relieve de planicies de fondo de valle (Carlotto et al., 2011), donde predominan terrazas de origen fluvio-lacustre que limitan en su extremo sur, con laderas en montañas estructurales en Roca sedimentaria (GEOCATMIN).

#### 5.1.1. Unidades geomorfológicas

##### 5.1.1.1. Unidad de planicies

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 (Zabala & Vilchez 2006).

##### - Sub unidad de Piso de Valle

Corresponde a la parte baja del valle del Huatanay, tiene morfología plana y muy poca pendiente (< 1 %). Su origen está relacionado a la existencia de un antiguo lago denominado Morkill y la evolución fluvial del río Huatanay, por lo que se puede apreciar varios niveles de terrazas (Carlotto et al., 2011). Las terrazas de la zona evaluada, tienen potencias máximas aproximadas de hasta 50 m y son disectadas por cárcavas (figura 2).

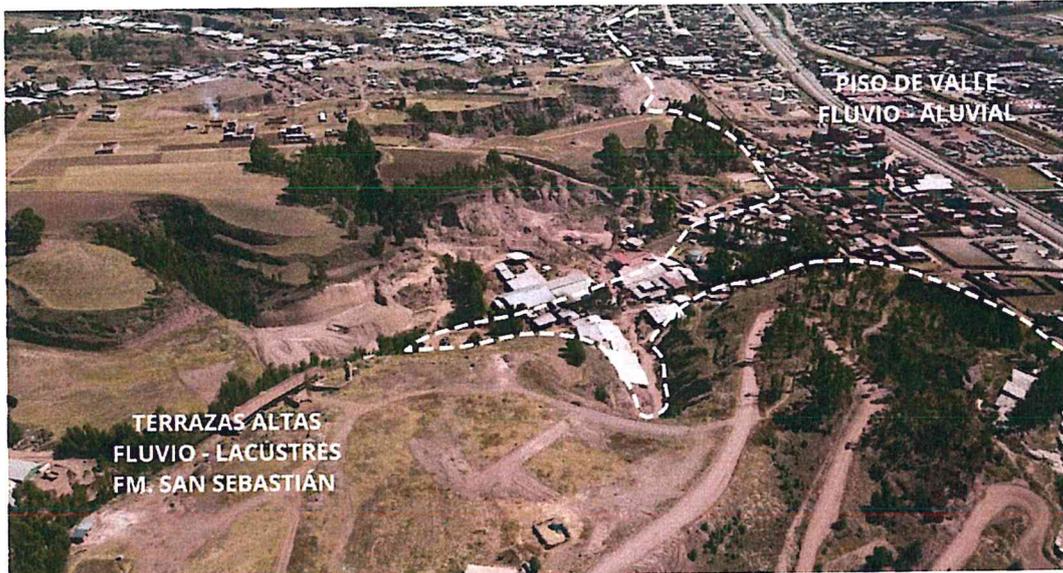


Figura 2. Fotografía aérea de la geomorfología y depósitos fluvio-lacustres y aluviales de la zona de estudio. También se observa la cobertura vegetal predominante de la zona.

#### 5.1.1.2. 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% (Zabala & Rosado, 2011).

##### - Unidad de Montañas Estructurales en Roca Sedimentaria

Se observan laderas de montañas estructuralmente plegadas donde aún se conservan rasgos de las estructuras originales, a pesar de haber sido afectadas por procesos de denudación. Las pendientes de las laderas varían entre suaves hasta abruptas y erosionadas. Litológicamente están compuestas por secuencias sedimentarias. (Zabala & Rosado, 2011). Las cárcavas se proyectan de norte a sur, desde la parte baja, llegando hasta laderas de montañas estructurales en roca sedimentaria (GEOCATMIN) (figura 6), donde disminuye su profundización en relación a la variación litológica.

#### 5.1.2. Pendiente

La pendiente promedio de las terrazas es menor a los 10°. Las laderas de las cárcavas tienen pendientes más abruptas, con valores superiores a 30° que pueden llegar a ser casi verticales (figura 3). La zona de montaña tiene pendientes de 30° en promedio, con dirección preferente hacia el norte.

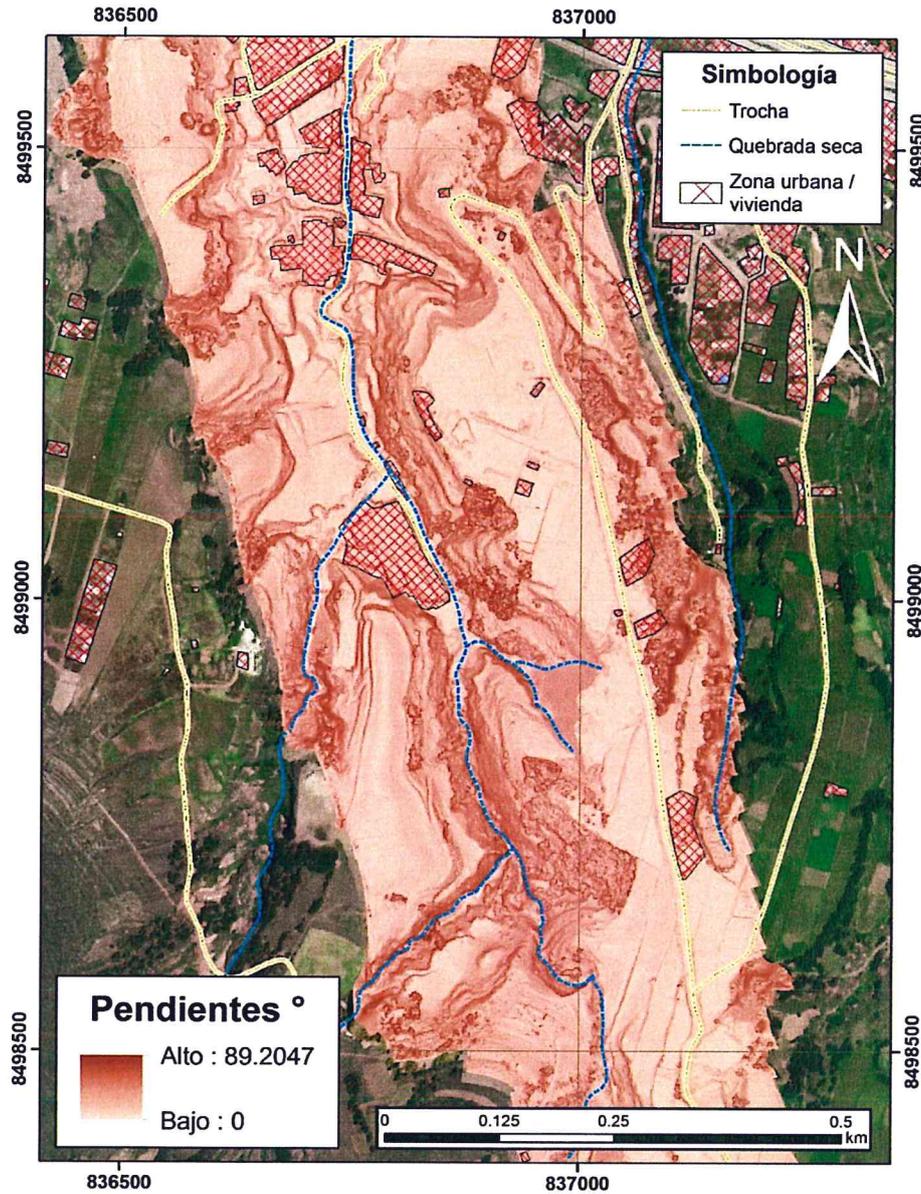


Figura 3. Mapa de pendientes de la quebrada Apurante Huayco.

## 5.2. Geología, tectónica activa e hidrogeología

En la zona de estudio se observan afloramientos de la Formación San Sebastian (figura 2 y foto 1). Las características litológicas corresponden a la primera secuencia de esta formación constituido por areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, y arcillitas lacustres o palustres. También se observan niveles diatomíticos y calcáreos caracterizan la parte superior. Las secuencias lacustres de la formación San Sebastián tienen un pésimo comportamiento geotécnico en cimentaciones como en laderas (Carlotto et al., 2011).

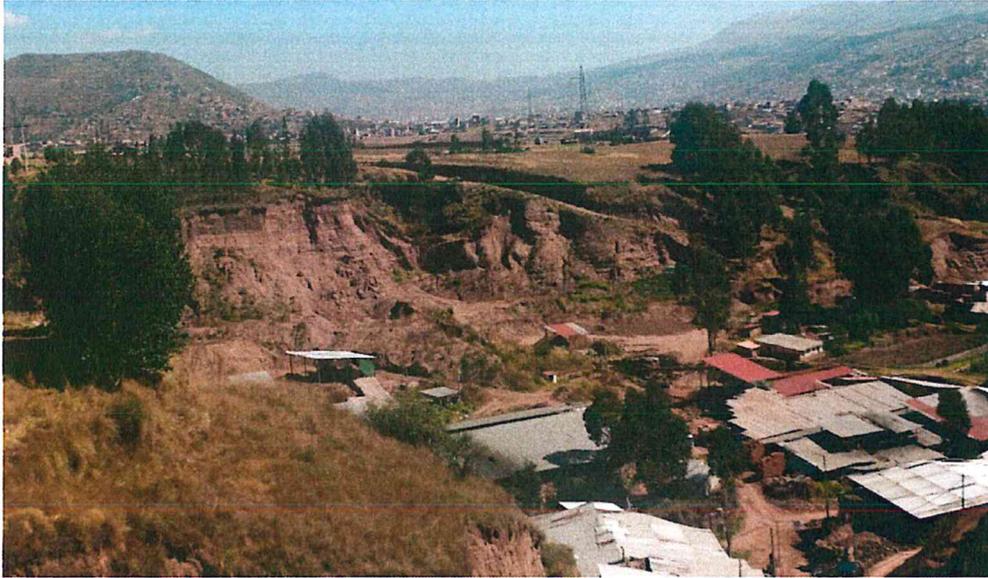


Foto 1. Afloramientos de la formación San Sebastián, en la quebrada Apurante Huayco.

En relación a los contextos estructural y geodinámico interno, la zona presenta alta sismicidad cortical e histórica (cuadro 1), generada por fallas activas cercanas (figura 5) (Sébrier et al. 1982, Cabrera 1988, Carlotto, V. et al., 2011, Benavente et al., 2013, Rosell 2018, entre otros) de orientación principal NO-SE, con importante capacidad sismogénica (figura 3) (Benavente et al., 2013, Rosell 2018), presentes en el ámbito de la ciudad del Cusco (figura 5).

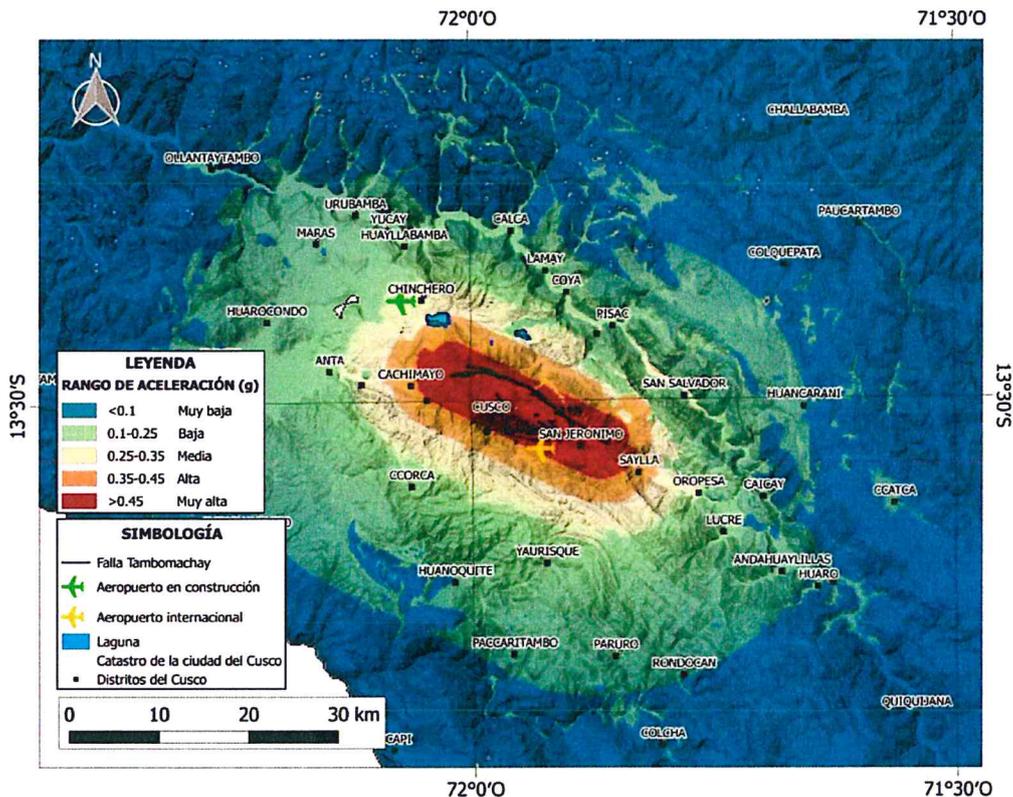


Figura 4: Mapa de Aceleración Pico del Suelo (PGA), generado para un escenario en el cual la Falla Tambomachay se reactiva y genera un terremoto de  $M_w = 7,01$ . Tomado y modificado de Rosell, 2018.

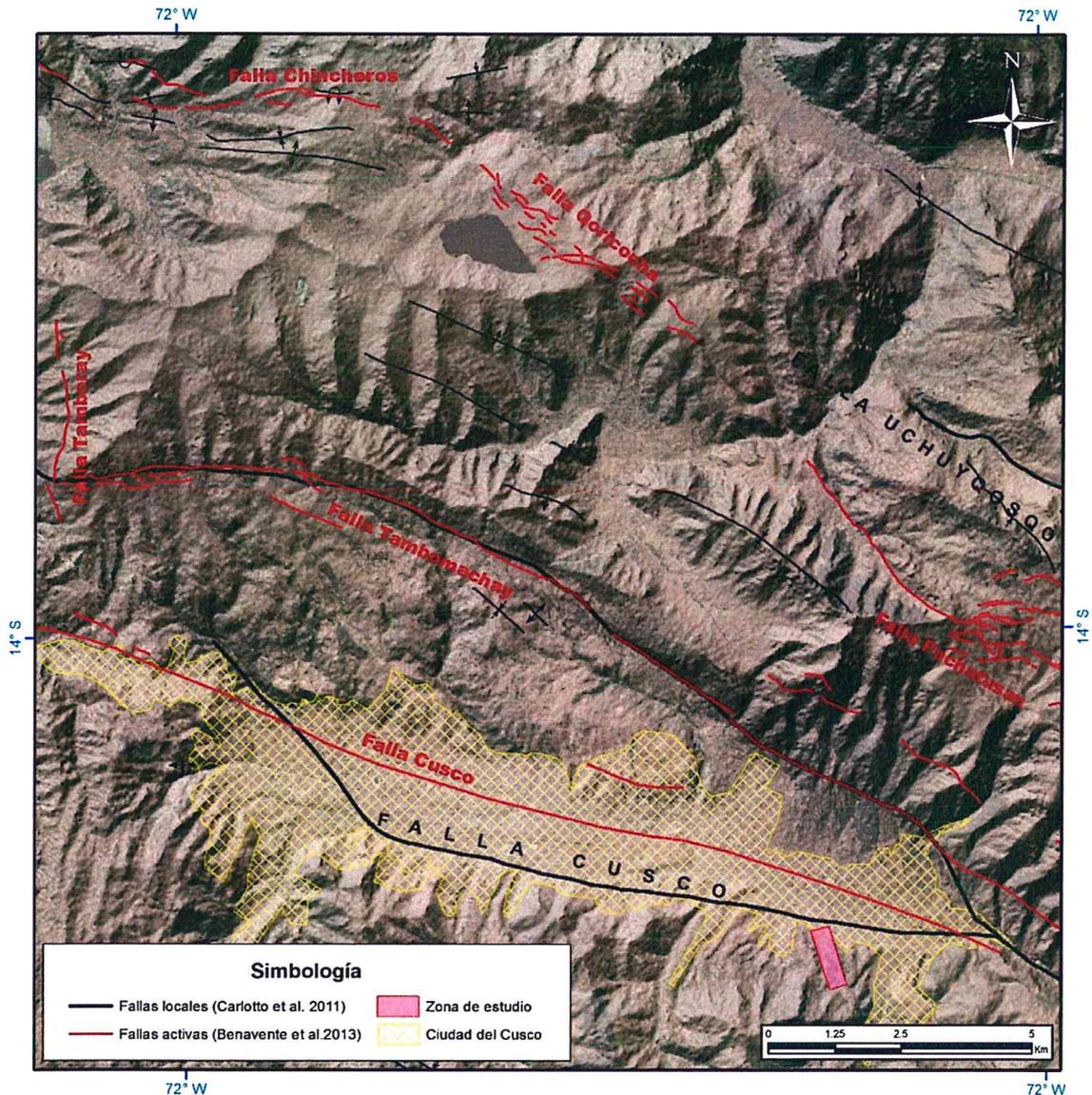


Figura 5. Contexto de fallas activas de la zona de estudio elaborado a partir de Carlotto, et al. 2011 y Benavente et al., 2013. Tomado y modificado de Albinez & Ancco 2018.

De acuerdo a la clasificación hidrogeológica propuesta por Carlotto et al. el 2011, la Formación San Sebastián, la cual está conformada por arcillas y diatomitas intercaladas con arenas, tiene un comportamiento general de acuitardo sedimentario, al presentarse niveles de arenas confinadas entre capas impermeables. Esta disposición de materiales conjuntamente con la presencia de aguas subterráneas, predispone fenómenos de licuefacción de suelos generados a partir de sismos.

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS

La quebrada Apurante Huayco se encuentra en una zona de alta susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa (GEOCATMIN-INGEMMET, 2010).

Los trabajos de campo permitieron identificar coronas de derrumbes y deslizamientos antiguos dentro de una extensa zona de carcavamiento, además de procesos recientes de erosión de laderas en los cerros del sur. También se identificaron zonas de relleno de cárcavas (figura 6).

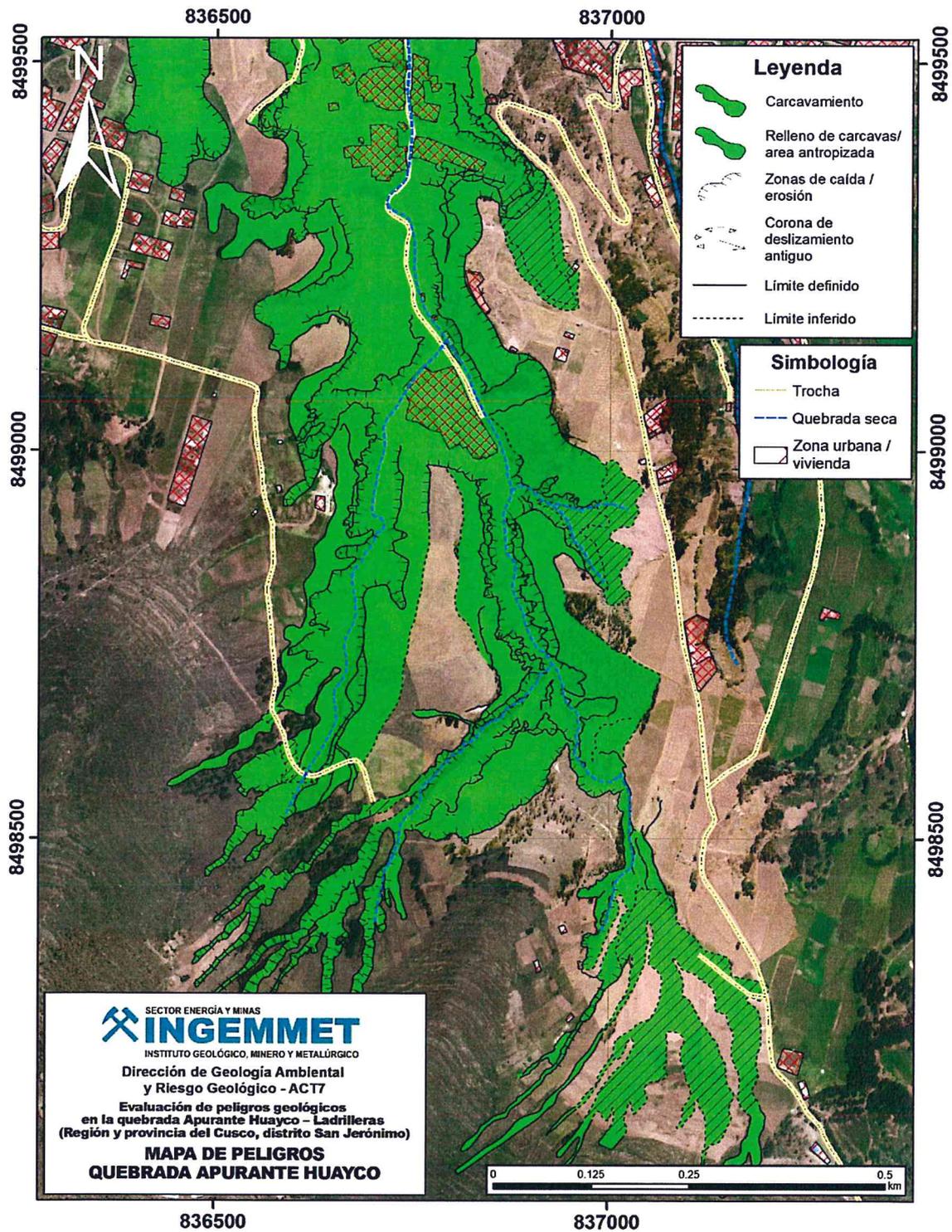


Figura 6. Mapa de peligros la quebrada Apurante Huayco.

### 6.1. Conceptos generales

Las **cárcavas** (Figura 7), son pequeños valles de paredes verticales, cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos de agua efímeros. Se forman a consecuencia de una intensa erosión hídrica (Lucía *et al.*, 2008), además de a la ocurrencia de movimientos en masa como flujos, derrumbes y deslizamientos. La quebrada Apurante Huayco constituye una cárcava antigua.

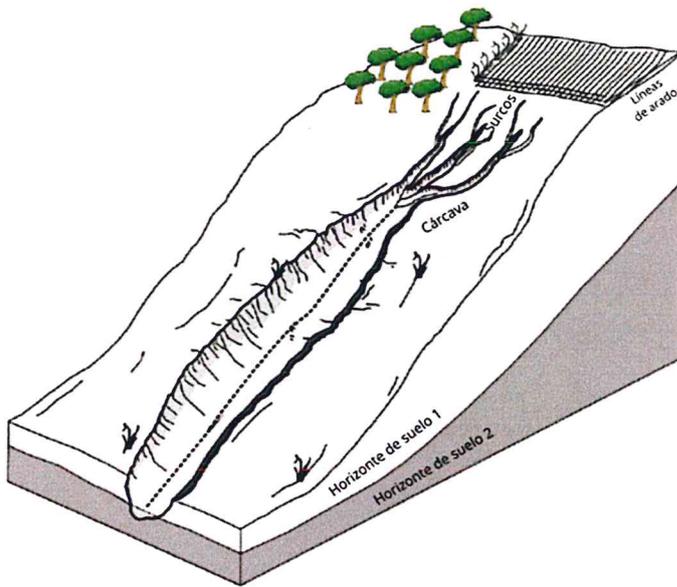


Figura 7. Esquema de la formación de cárcavas originadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi *et al.*, 2011).

La **caída** (Figura 8), 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). **Derrumbe** se define como la caída de suelos y/o rocas, sin forma definida. Las laderas escarpadas de la quebrada Apurante Huayco son propensas a fenómenos de caída y derrumbes.

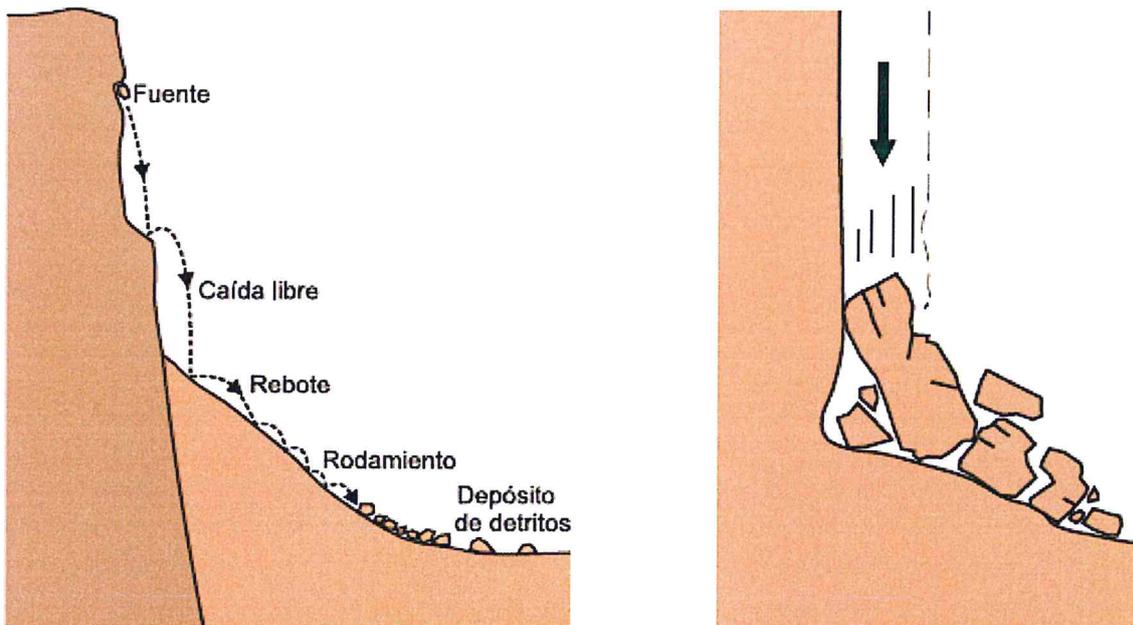


Figura 8. Ejemplos de caída de roca fragmentada (Evans, S.G., y Hungr, O., 1993). Fuente: Figura tomada de PMA (2007).

Los **deslizamientos** (Figura 9), 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**, 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). Algunas laderas de la quebrada Apurante Huayco muestran evidencias de deslizamientos antiguos, que fueron parte de la dinámica de carcavamiento.

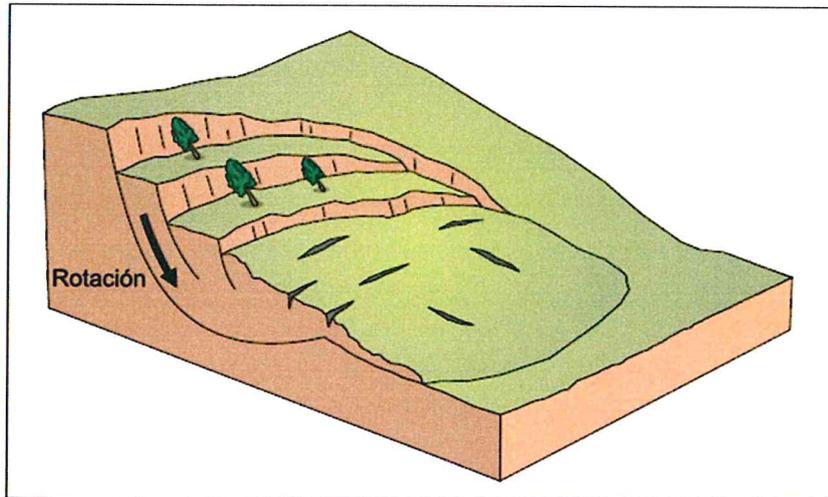


Figura 9. Esquema de deslizamiento rotacional (PMA 2007).

Los **flujos de tierra** (Figura 10), son movimientos de tierra arcillosa plástica, este tipo es característico de rocas blandas meteorizadas y de materiales producto de la meteorización o erosión de estos depósitos, obedeciendo a un proceso de deformación plástica intermitente combinada con reptación interna, ayudada por fluctuaciones en la presión de poros, (Hungr 2001 en PMA 2007) saturados de agua. Pueden ser canalizados y no canalizados. De acuerdo a versiones de funcionarios de la municipalidad distrital de San Jerónimo, durante el periodo lluvioso del 2010, la quebrada Apurante Huayco se reactivó, generándose flujos que afectaron a viviendas e infraestructuras del sector.

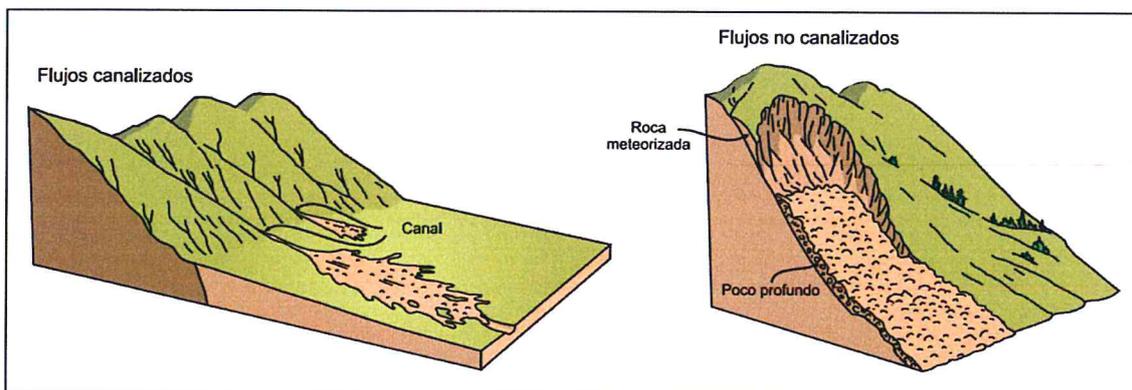


Figura 10. Esquema flujo canalizado y no canalizado (PMA 2007).

La licuación o **licuefacción de suelos** (Figura 11), consiste en la pérdida de la resistencia al corte de un suelo debido a un incremento rápido de la presión de poros del agua. El caso más corriente se presenta cuando ocurre un sismo en suelos granulares finos saturados, con baja densidad relativa (PMA 2007). Este fenómeno provoca el fallo de las cimentaciones, rotura de taludes y deslizamientos (Vallejos et al., 2002 en Benavente et al., 2013). Los suelos susceptibles a perder parte de su resistencia son las arenas finas y flojas, las arenas y limos mal graduados. Otra de las condiciones necesarias para que tenga lugar la licuefacción es que el nivel freático esté alto, cerca de superficie (Benavente et al., 2013). Los depósitos de la formación San

Sebastián muestran registros de eventos de licuefacción de suelos ocurridos en el pasado.

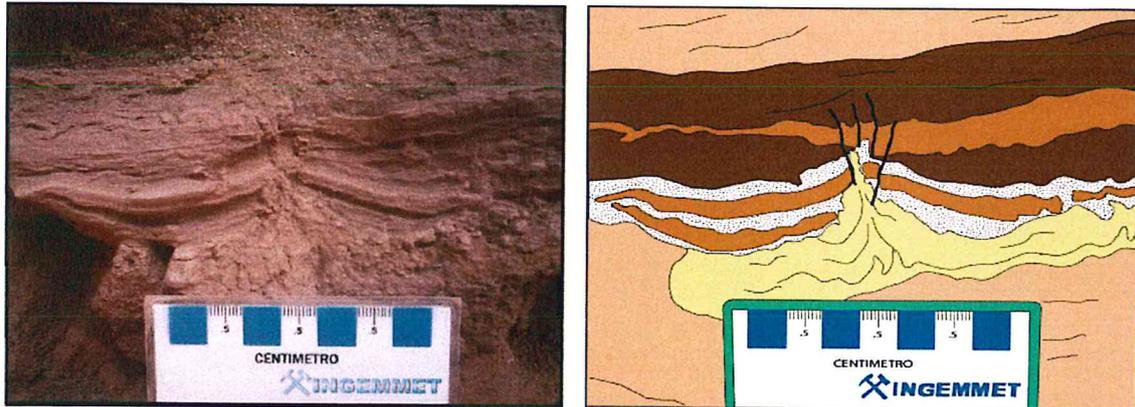


Figura 11. Volcán de arena ubicado en sedimentos lacustres de la formación San Sebastián (Benavente et al., 2013), generado por fenómenos de licuefacción suelos detonados por sismos antiguos con epicentros ubicados en el contexto de la cuenca del Cusco.

## 6.2. Cárcava quebrada Apurante Huayco

La cárcava de la quebrada Apurante Huayco se prolonga desde el sur de la vía de evitamiento, sur oeste de Chimpahuaylla, hasta los cerros que se encuentran más al sur. Tiene un área total aproximada de 468 474 m<sup>2</sup>, un ancho máximo aproximado de 280 m y una profundidad máxima de 50 m, que se observa en algunas laderas, principalmente de su parte central. La cárcava se desarrolla en tres ramales principales orientados hacia la ladera del cerro de mayor de pendiente (figura 6).

Dentro de la zona de carcavamiento, principalmente en la parte alta de sus laderas, se observan distintos niveles de terrazas que evidencian los continuos momentos erosivos ocurridos posteriores a la depositación de sedimentos de origen lacustre-fluvial de la cuenca del Cusco (figura 2 y foto 1). Actualmente puede observarse que la erosión reciente se concentra al sur y oeste, indicando un desarrollo principalmente retrogresivo.

También se distinguen coronas de deslizamientos antiguos y laderas de pendientes casi verticales con depósitos de caída al pie, en distintos sectores a lo largo de la quebrada.

Los depósitos de arenas, arcillitas y diatomitas presentes en la zona, tiene características geotécnicas desfavorables (Carlotto, et al. 2011), que incluso pueden condicionar fenómenos de licuefacción de suelos ante la ocurrencia de sismos (Benavente et al., 2013). Sin embargo, estos depósitos tienen características favorables como agregados, principalmente para la elaboración de ladrillos (Mamani, 2015). Estas características hacen que el sector sea aprovechado como cantera, con fábricas insitu, ubicadas en la parte baja correspondiente al cauce de la quebrada (figura 2 y foto 1).

Las canteras de material se ubican principalmente en el sector central, el cual es el más amplio de la cárcava. Las instalaciones de las fábricas de ladrillos se encuentran generalmente continuas a las los taludes de cantera escarbados (figura 2 y foto 1).

## 6.3. Relleno de cárcavas en la quebrada Apurante Huayco

La cárcava de la quebrada Apurante Huayco ha sido rellena y antropizada en distintos (figura 6).

En el sector con coordenadas 187640 O; 8498637 N, ubicado en el ramal del extremo sureste, se observa una zona rellenada y antropizada (figura 12) que abarca un área aproximada de 33250 m<sup>2</sup>.

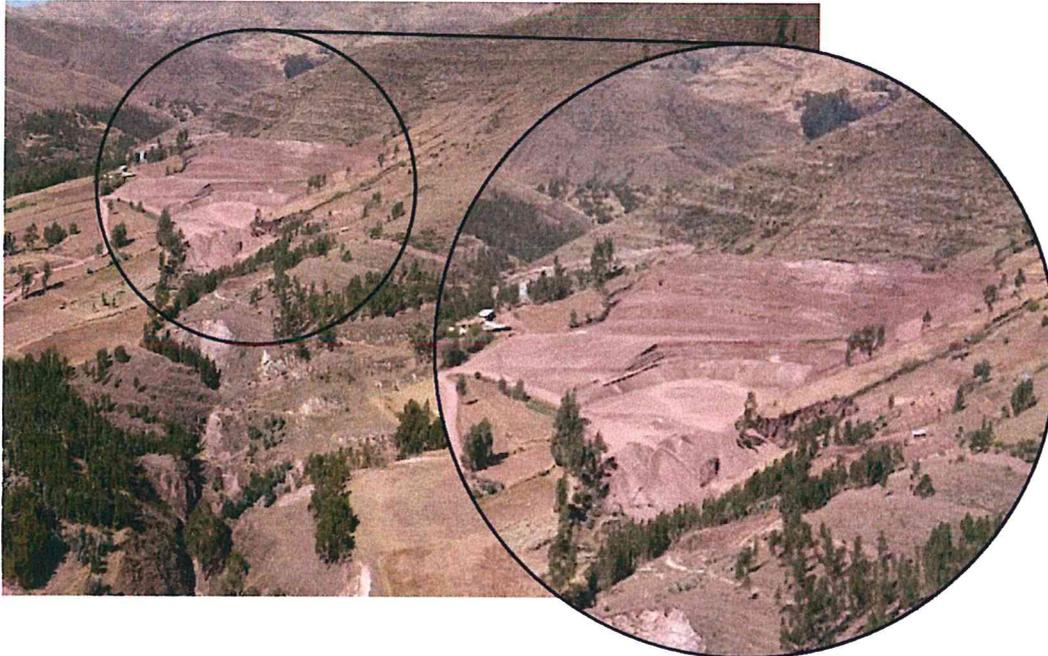


Figura 12. Fotografía aérea y detalle de cárcava antropizada y rellenada, al sur de la quebrada Apurante Huayco.

De acuerdo al análisis de imágenes satelitales multitemporales de Google Earth, la antropización y rellenos empezaron el año a principios del año 2017 (figura 13). Según funcionarios de la municipalidad distrital de San Jerónimo, estos rellenos y cortes de talud se vienen realizando a fin de construir un cementerio.

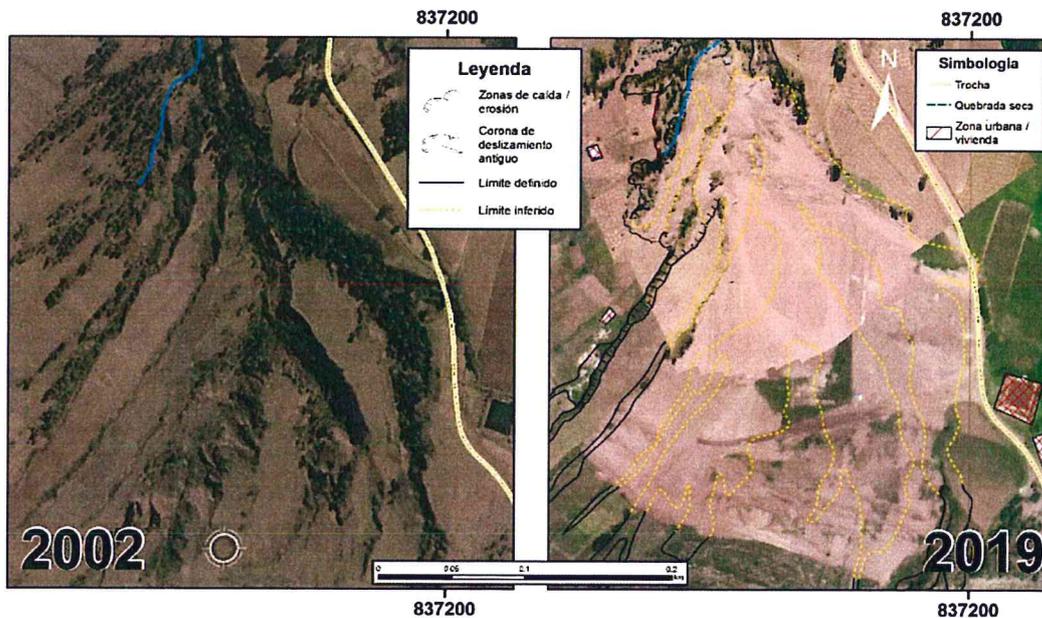


Figura 13. Comparación de imágenes satelitales del año 2012 con ortofoto realizada a partir de fotografías aéreas el 2019, mostrando los rellenos y procesos de antropización al sur de la quebrada Apurante Huayco.

En el sector con coordenadas 187183 O; 8498875 N, ubicado al extremo sur de la zona con carcavamiento, al pie del cerro, se observa una zona rellenada por tramos (figura 14), que abarca un área aproximada de 2536 m<sup>2</sup>.

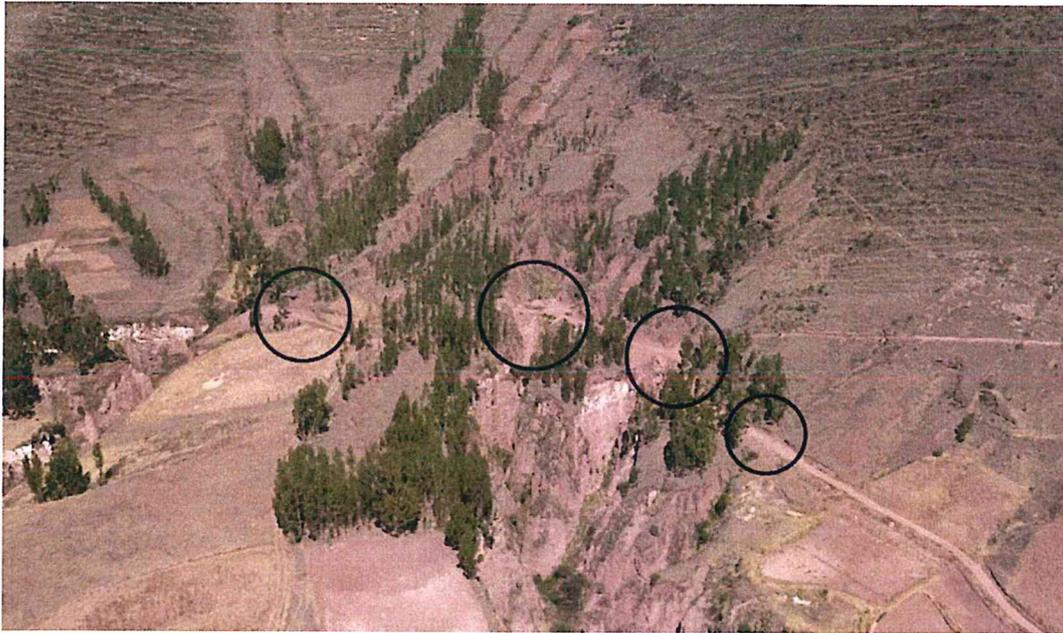


Figura 14. Fotografía aérea de cárcavas antropizadas y rellenadas, al sur de la quebrada Apurante Huayco.

De acuerdo al análisis de imágenes satelitales multitemporales de Google Earth, los rellenos empezaron a fines del año 2017 y concluyeron los últimos meses del año 2018 (figura 15). Dichos rellenos fueron realizados a fin de habilitar una trocha.

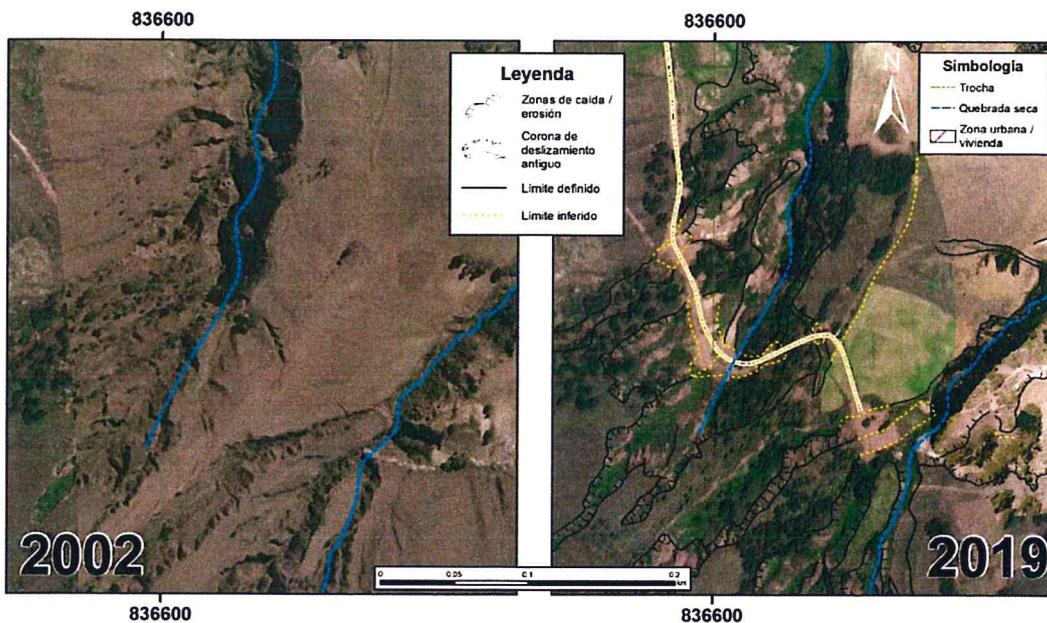


Figura 15. Comparación de imágenes satelitales de los años 2012 y 2019, mostrando los rellenos y procesos de antropización para la construcción de una trocha, al sur de la quebrada Apurante Huayco.

En el sector con coordenadas 187546 O; 8499167 N, ubicado al este de la zona con carcavamiento, colindante al oeste de la carretera (figura 16), se puede encontrar una zona rellenada y antropizada que abarca un área aproximada de 14634 m<sup>2</sup>.

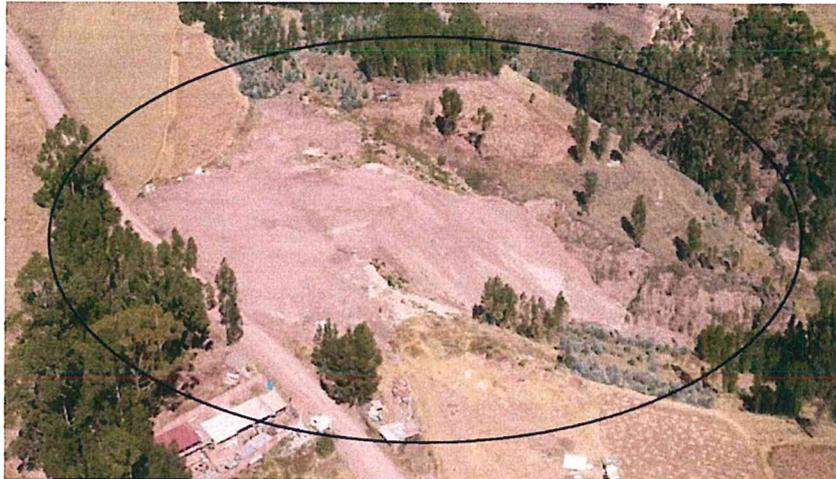


Figura 16. Fotografía aérea de cárcavas antropizadas y rellenadas, al este de la quebrada Apurante Huayco.

De acuerdo al análisis de imágenes satelitales multitemporales de Google Earth, los rellenos empezaron a mediados del año 2018 (figura 17). Los materiales se volcaron para nivelar una terraza alta del carcavamiento antiguo, hasta la altura de la carretera. Las imágenes muestran que los rellenos continúan progresivamente hacia las cárcavas de mayor profundidad. Cabe mencionar que la zona rellenada no tiene delimitación en el terreno, los límites solo se pueden identificar mediante imágenes satelitales antiguas.

También debe mencionarse que a 100 m al noroeste del sector que viene siendo rellenado (figura 6), en la parte baja de la quebrada, se encuentra infraestructura de una fábrica ladrillera. De no haber colocados con la técnica respectiva, los materiales de relleno son propensos a moverse ladera abajo, pudiendo afectar las ladrilleras.

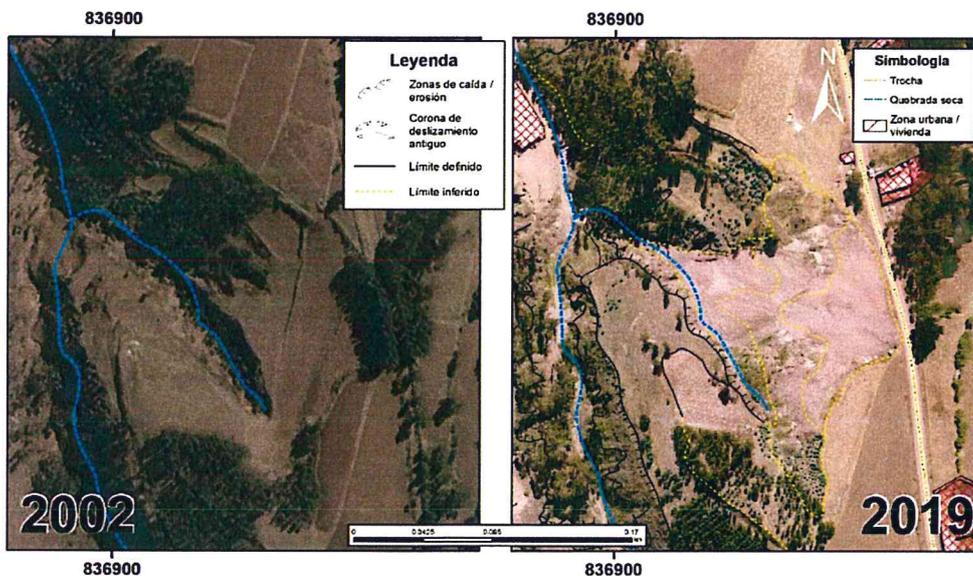


Figura 17. Comparación de imágenes satelitales del año 2012 con ortofoto realizada a partir de fotografías aéreas el 2019, mostrando rellenos y procesos de antropización al este de la quebrada Apurante Huayco.

En el sector con coordenadas 187450 O; 8499624 N, ubicado al noreste de la zona con carcavamiento, colindante al oeste de la carretera y de una torre eléctrica (figura 18), se puede encontrar una zona rellenada y antropizada que abarca un área aproximada de 10821 m<sup>2</sup>.



Figura 18. Fotografía aérea de cárcavas antropizadas y rellenadas, al noreste de la quebrada Apurante Huayco.

De acuerdo al análisis de imágenes satelitales multitemporales de Google Earth, los rellenos empezaron a mediados del año 2016 (figura 19). Los materiales se volcaron progresivamente rellenando una cárcava de importante profundidad. Cabe mencionar que la zona rellenada no tiene delimitación en el terreno, los límites solo se pueden identificar mediante imágenes satelitales antiguas.

También debe mencionarse que a 50 m al noroeste del sector rellenado (figuras 6 y 18), en la parte baja de la quebrada, se encuentra infraestructura de una fábrica ladrillera. De no haber sido colocados con la técnica respectiva, los materiales de relleno son propensos a moverse ladera abajo, pudiendo afectar las ladrilleras. También se observa una torre eléctrica, cercana al borde de la ladera con carcavamiento, en su extremo sur este. Dicha ladera no muestra signos de inestabilidad o erosión reciente.

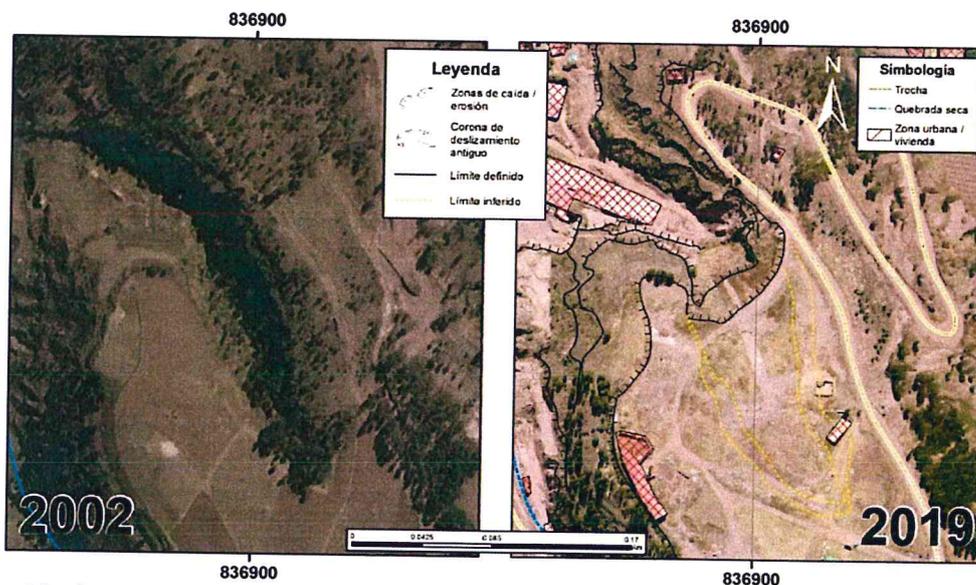


Figura 19. Comparación de imágenes satelitales del año 2012 y ortofoto realizada con fotografías aéreas del 2019, mostrando los rellenos y procesos de antropización al noreste de la quebrada Apurante Huayco.

## 7. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

De acuerdo a las descripciones previamente realizadas, la ocurrencia de procesos de erosión de laderas, movimientos en masa y licuefacción de suelos en la quebrada Apurante Huayco están condicionados y son desencadenados por los siguientes factores (cuadro 2):

Cabe mencionar que, al ser un sector con actividad minera e industrial, también podrían presentarse desencadenantes de origen antrópico.

FACTORES CONDICIONANTES		FACTORES DESENCADENANTES			
FACTOR	DESCRIPCIÓN	FACTOR	PELIGROS GEOLÓGICOS ASOCIADOS	FACTOR	PELIGROS GEOLÓGICOS ASOCIADOS
<b>Geomorfología</b>	*Terrazas de origen fluvioacustre disectadas por cárcavas. *Pendientes superiores a 30° en laderas de cerros y cárcavas. *Sectores con pendientes semi verticales en laderas de carcavas.	<b>Lluvias intensas o extraordinarias:</b> precipitaciones prolongadas, similares o superiores a las ocurridas el año 2010.	caídas, deslizamientos, flujos (huaycos), erosión de laderas	<b>Sismos:</b> superficiales y/o de epicentros cercanos, con magnitudes superiores a 5°.	licuefacción de suelos, deslizamientos, caídas
<b>Geología</b>	*Secuencias de areniscas, lutitas y diatomitas; de pésimo comportamiento geotécnico. *Cercanía a fallas geológicas activas de reactivaciones históricas, con capacidad de generar sismos de hasta 7° de magnitud.				
<b>Hidrogeología</b>	*Comportamiento general de acuitardo sedimentario relacionado a la intercalación de arenas confinadas entre capas impermeables.				
<b>Cobertura vegetal</b>	*Escasa cobertura en laderas de cerros constituida por pajonales y césped de puna. *Ausencia de cobertura en terrazas, la mayor parte del año, relacionada a los cultivos secanos estacionales. *Laderas escarpadas de cárcavas sin ningún tipo de cobertura vegetal.				
<b>Uso de suelo</b>	*Terrazas altas de uso urbano y agrícola de cultivos estacionales. *Laderas con bosques de estrato medio ralo de eucalipto. *Piso de quebrada de uso minero no metálico e industrial. *No se observa un uso definido del territorio.				
<b>Antrópico</b>	*Rellenos sin delimitación ni tratamiento adecuado. *Inestabilización de laderas a consecuencia de inadecuado plan de extracción de materiales no metálicos.				

Cuadro 2. Factores de condicionantes de susceptibilidad y desencadenantes de peligros geológicos para la quebrada Apurante Huayco.

## CONCLUSIONES

1. La quebrada Apurante Huayco se encuentra en un contexto geomorfológico de terrazas de origen fluvio lacustre disectadas por cárcavas, con pendientes que varían de suaves a escarpadas (>30° a verticales) en las laderas de las cárcavas. La geología está constituida por secuencias de areniscas, arcillitas y diatomitas de la Formación San Sebastián, de pésimo comportamiento geotécnico en cimentaciones como en laderas. La zona también se encuentra dentro de un contexto de fallas geológicas activas de importante capacidad sismogénica. La intercalación de litologías le da un comportamiento hidrogeológico general a la zona, de acuitardo sedimentario. La zona tiene escasa cobertura vegetal. Los usos de suelo son principalmente agrícola, urbano rural, de uso minero no metálico e industrial y urbano en la desembocadura de la quebrada.
2. La quebrada Apurante Huayco se encuentran en una zona de susceptibilidad alta ante la ocurrencia de movimientos en masa desencadenados por lluvias extraordinarias y/o sismos, además de susceptibilidad alta ante fenómenos de licuefacción de suelos generados por sismos. Los trabajos de campo permitieron identificar coronas de derrumbes y deslizamientos antiguos dentro de una extensa zona de carcavamiento, además de procesos recientes de erosión de laderas en los cerros del sur. Principalmente identificaron zonas de relleno de cárcavas.
3. Las laderas escarpadas y características geológicas de la quebrada Apurante Huayco condicionan la ocurrencia fenómenos de caída y deslizamientos. Los depósitos de la formación San Sebastián muestran registros de eventos de licuefacción de suelos ocurridos en el pasado. De acuerdo a versiones de funcionarios de la municipalidad distrital de San Jerónimo, durante el periodo lluvioso del 2010, la quebrada Apurante Huayco se reactivó, generándose flujos que afectaron a viviendas e infraestructuras del sector.
4. La cárcava de la quebrada Apurante Huayco se prolonga desde el sur de la vía de evitamiento, sur oeste de Chimpahuaylla, hasta los cerros que se encuentran más al sur. La cárcava se desarrolla en tres ramales principales. Se observan distintos niveles de terrazas que evidencian los continuos momentos erosivos ocurridos posteriores a la depositación de sedimentos de origen lacustre-fluvial. ). La erosión reciente se concentra al sur y oeste, indicando un desarrollo principalmente retrogresivo
5. A pesar de que los depósitos de arenas, arcillitas y diatomitas presentes en la zona, tiene características geotécnicas desfavorables e incluso podrían condicionar fenómenos de licuefacción ante la ocurrencia de sismos; estos materiales tienen características favorables como agregados, principalmente para la elaboración de ladrillos. Es por ello que se pueden encontrar canteras de material y fábricas de ladrillos insitu, ubicadas en la parte baja correspondiente al cauce de la quebrada, principalmente en el sector más amplio.
6. La cárcava de la quebrada Apurante Huayco ha sido rellenada y antropizada en distintos sectores.
7. En el sector con coordenadas 187640 O; 8498637 N, ubicado en el ramal del extremo sureste, se observa una zona rellenada y antropizada desde principios del año 2017. Según funcionarios de la municipalidad distrital de San Jerónimo, estos rellenos y cortes de talud se vienen realizando a fin de construir un cementerio.

8. En el sector con coordenadas 187183 O; 8498875 N, ubicado al extremo sur de la zona con carcavamiento, al pie del cerro, se observa una zona rellena por tramos desde fines del año 2017, a fin de habilitar una trocha.
9. En el sector con coordenadas 187546 O; 8499167 N, ubicado al este de la zona con carcavamiento, colindante al oeste de la carretera, se puede encontrar una zona rellena y antropizada desde mediados del año 2018. La zona rellena no tiene delimitación en el terreno. 100 m al noroeste del sector, en la parte baja de la quebrada, se encuentra infraestructura de una fábrica ladrillera, la cual estaría expuesta a inestabilidad de los rellenos.
10. En el sector con coordenadas 187450 O; 8499624 N, ubicado al noreste de la zona con carcavamiento, colindante al oeste de la carretera y de una torre eléctrica, se puede encontrar una zona rellena y antropizada desde mediados del 2016. La zona rellena no tiene delimitación en el terreno. 50 m al noroeste del sector, en la parte baja de la quebrada, se encuentra infraestructura de una fábrica ladrillera, la cual estaría expuesta a inestabilidad de los rellenos. También se observa una torre eléctrica, cercana al borde de la ladera con carcavamiento, en su extremo sur este. Dicha ladera no muestra signos de inestabilidad o erosión reciente.
11. Por las condiciones actuales, presencia de procesos de erosión activos y las actividades antrópicas del sector, se considera a la quebrada Apurante Huayco, como **Zona Crítica en Peligro Inminente, de muy alto peligro a movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos**, ante la ocurrencia de lluvias excepcionales y/o sismos de gran magnitud.

## RECOMENDACIONES

### **GENERALES:**

1. Definir el uso de los terrenos de la zona. Las características de la explotación de materiales para la fabricación de ladrillos son incompatibles con los usos urbanos y agrícola de riego constante. Delimitar la zona de acuerdo al uso asignado.
2. Implementar sistemas de control de cárcavas, principalmente en la zona sur, para evitar el avance de la erosión. Considerar las medidas de mitigación propuestas en Zabala & Rosado 2010 u otras acorde a la zona. Las obras deben ser planeadas y/o llevadas a cabo por profesionales con capacidades probadas sobre el tema.
3. Delimitar las zonas rellenadas. Prohibir el uso de los terrenos rellenados para urbanizaciones, viviendas u otros usos que aceleren la inestabilidad de los terrenos o expongan la integridad de las personas.
4. Forestar o implementar medidas de estabilidad en la ladera de cárcava continua a la torre eléctrica. De presentarse futuros indicios de inestabilidad en la zona, considerar la reubicación de la torre.
5. Forestar o construir canales en las cabeceras de las laderas de cárcavas, para evitar la saturación de suelos por agua y consecuente ocurrencia de movimientos en masa, durante la temporada lluviosa.
6. Implementar adecuados sistemas de captación de manantiales y drenarlos con canales impermeables. Las obras deben ser propuestas y ejecutadas por profesionales con capacidades probadas sobre el tema.
7. Controlar la expansión urbana desordenada y no permitir nuevas construcciones de uso urbano, en sectores con problemas de peligros geológicos activos y antiguos.

### **PARA EL USO DE TIPO EXTRACTIVO MINERO NO METALICO:**

1. Implementar un adecuado plan de extracción que considere la aplicación de técnicas que garanticen la estabilidad de taludes y el control de erosión, planeados y/o llevados a cabo por profesionales con capacidades probadas sobre el tema.
2. Ubicar la infraestructura de las fábricas ladrilleras en lugares que no se encuentren expuestos directamente a caídas ni deslizamientos. La infraestructura debe ser construida considerando los parámetros geotécnicos de cimentaciones, relacionados a la capacidad portante de suelos, aceleraciones sísmicas máximas en el terreno y otros necesarios para garantizar la seguridad física.
3. Implementar los parámetros de control ambiental y de explotación de materiales no metálicos correspondientes, de acuerdo a la normativa vigente.
4. Delimitar y definir la zona de potencial extractivo, considerado las quebradas adyacentes y los depósitos de la formación San Sebastián.

### **PARA EL USO URBANO Y/O AGRICOLA:**

1. Definir las zonas y tipo de viviendas, considerando los parámetros geotécnicos de cimentaciones, relacionados a la capacidad portante de suelos, aceleraciones sísmicas máximas en el terreno y otros necesarios para garantizar la seguridad

física. Establecer un máximo de pisos a construir de acuerdo a los parámetros geotécnicos ya definidos. Los estudios y ejecución de proyectos constructivos deben ser llevados a cabo por profesionales con experiencia y capacidades probadas sobre el tema. Considerar la delimitación de rellenos en los planes urbanísticos. La zona urbana debe tener adecuados sistemas de drenaje pluvial.

2. No realizar actividades agrícolas en laderas sin correcta adecuación (andenería u otras medidas de adecuación). 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, propuestas por especialistas con capacidades probadas sobre el tema.



.....  
Ing. CESAR A. CHACALTANA BUDIEL  
Director (e)  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## REFERENCIAS

- Albinez, L. & Anco, K. (2018). Caracterización de Zonas Susceptibles por Movimientos en Masa en la Quebrada Chakán, Cusco. Tesis de grado, Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 193 p.
- Benavente, C.; Delgado, F.; Taipe, E.; Audin, L. & Pari, W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p.
- Cabrera, J. (1988). Neotectonique et sismotectonique dans la Cordillere Andine au niveau du changement de geometrie de la subduction; la región de Cuzco (Perou) [Ph.D: thesis]: Orsay, University of Paris, 257 p.
- Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas.
- Ericksen, G.E.; Fernández Concha, J. & Silgado, E. (1954). The Cuzco, Peru, earthquake of May 21, 1950. Bulletin Seismological Society of America, 44(2A): 97-112 p.
- 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.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N., 2001, Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p. 22–238.
- Lucía, A.; Vicente, F.; Martín-Moreno, C.; Martín-Duque, J.F.; Sanz, M.A.; De Andrés, C.; Bodoque, J.M.; 2008. Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España). Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.), 102: 47-69.
- Lugo, J. (2011), Diccionario geomorfológico. Universidad Nacional Autónoma de México. 448 p.
- Mamani, R. (2015). "Estudio y Evaluación de Formulación de Mezclas para la Obtención de Ladrillos de Arcilla en la Ciudad de Cusco" Tesis de grado, Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de San Agustín, 145 p.
- Palomino, C., et al. (2011). Cobertura vegetal y uso actual del suelo de la sub cuenca del río Huatanay – Cusco. Proyecto especial regional instituto de manejo de agua y medio ambiente – IMA. 77p.
- PNUD-INDECI. (2004). Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco. Proyecto: ciudades sostenibles. 135p.
- 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.

- Rosell, L. (2018). Estudiomorfotectónico y Paleosísmico de las Fallas Tambomachay y Qoricocha, Implicancia en el Peligro Sísmico de la Región Cusco. Tesis de grado, Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 136 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.
- SGOT - Municipalidad provincial del Cusco (2013). "Plan de Desarrollo Urbano del Cusco 2013 – 2023" - <https://www.cusco.gob.pe/plan-de-desarrollo-urbano-del-cusco-2013-2023/>
- Shruthi, R. B. V., Kerle, N., & Jetten, V. G. (2011). Object - based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. *Geomorphology*, 134(3-4), 260-268. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 3, 130p
- Tavera, H., Agüero, C., & Fernández E., (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruanos. IGP - Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida / Unidad de Sismología.
- 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.
- Vila, R. y Vásquez, W. (2016). Evaluación del riesgo originado por movimientos en masa, Quebrada Thuniyoc, distritos de San Sebastián y San Jerónimo, Cusco. Tesis de grado Facultad de Ingeniería Geológica, UNSAAC, 148p.
- Yauri, S. (2015). Escenario de Riesgo Sísmico y Movimiento en Masa Producido por la Reactivación de la Falla Tambomachay, Provincia De Cusco, INDECI, 87 p.
- Zavala, B. & Rosado, M. (2010) - Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396 p., 19 mapas.
- 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.
- Zegarra, L. et al. (1987). El Terremoto del Cuzco de 1986. PUCP – CISMID. Memorias del Primer Simposio Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres Naturales, 13 p.