



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

Instituto Geológico, Minero y
Metalúrgico - INGEMMET

“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la Universalización de la salud”

Lima, 08 AGO. 2020

OFICIO N° 509 -2020-INGEMMET/PE

Señor Ing.

JUVENAL MEDINA RENGIFO

Jefe

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
CENEPRED

Av. Del Parque Norte N° 313

San Borja. -

Referencia: Oficio N° 032-2019-SGOT/GDUR-MPC

Tengo el agrado de saludarlo muy cordialmente y remitir adjunto el Informe Técnico N° A7076: **“EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN ALTO QOSQO”**, elaborado en atención a la solicitud de la Municipalidad Provincial del Cusco.

En el referido informe se recomienda, implementar zanjas de coronación o construir canales revestidos en las cabeceras de las cárcavas, para evitar la saturación del suelo por agua y la consecuente ocurrencia de movimientos en masa. Asimismo, prohibir cultivos que expongan prolongadamente los suelos a la lluvia y como consecuencia saturen los suelos y generen inestabilidad.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi consideración distinguida y estima personal.

Atentamente,



MSc. SUSANA G. VILCA ACHATA
Presidenta Ejecutiva
INGEMMET

Adj.: -01 Informe Técnico

SVA/cchb



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7076

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN ALTO QOSQO

Región Cusco
Provincia Cusco
Distrito San Sebastián



INDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos	4
1.2. Antecedentes	4
2. ASPECTOS GENERALES.....	6
2.1. Ubicación y accesibilidad	6
2.2. Condiciones hidrometeorológicas.....	6
2.3. Uso de suelos y cobertura vegetal	7
2.4. Sismicidad histórica	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	8
3.1. Aspectos geológicos	8
3.2. Aspectos geomorfológicos	11
3.2.1. Análisis de pendiente.....	11
3.2.2. Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional	11
3.2.3. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	11
3.3. Tectónica activa e hidrogeología	12
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	13
4.1. Conceptos teóricos.....	13
4.2. Caracterización de peligros geológicos en Alto Qosqo.....	14
4.2.1. ZRESS01: Quebrada Bosque, APV. Capulichayoc, Bovedayoc y Barranquilla	16
4.2.2. ZRESS02: APV. Villa Real, Villa Mirador, Nueva Fortuna, Santo Tomas y Asociación Huayna Ccapac.....	18
4.2.3. ZRESS03: AH. Inmaculada Concepción	20
4.2.4. ZRESS04: Campo deportivo La Canchasa.....	22
4.2.5. ZRESS05: APV. Marcchayoc	24
4.2.6. ZRESS06: Urbanización Cusco Mirador, Mallki y Huayna Ccapac.....	25
4.2.7. ZRESS07: APV. Republica de Francia.....	29
4.2.8. ZRESS08: APV. Tres Cruces	31
4.2.9. ZRESS09: Calle Independencia – Servicentro Jakeline	32
5. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES	34
6. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	35
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	39

RESUMEN

El presente informe contiene información de los trabajos de evaluación realizados en Alto Qosqo, distrito de San Sebastián, provincia y región Cusco.

Litológicamente, la zona de Alto Qosqo constituye rocas del Cretácico al Cuaternario (depósito fluvial, coluvial y aluvial), representada principalmente por la Formación San Sebastián, constituida por areniscas fluviales de canales entrelazados, lutitas lacustres o palustres, niveles diatomíticos y calcáreos. La mayoría de las edificaciones de la ciudad del Cusco han sido construidas sobre esta Formación.

Desde el punto de vista morfoestructural la zona de Alto Qosqo se ubica en la cordillera Oriental. Geomorfológicamente, forma parte de la Meseta de Saqsayhuamán, constituye un relieve relativamente suave en contacto con la planicie de fondo de valle, donde predominan terrazas de origen fluvio - lacustre, circundadas al noroeste por laderas de montañas estructurales en roca sedimentaria.

La región Cusco ha sido afectada por una serie de sismos superficiales desde la época de la conquista, con pequeña a moderada magnitud, generando daños, pérdidas materiales y humanas como los ocurridos en 1650 y 1950. También resalta el sismo de 1986, que afectó gran parte de la ciudad y fue el de mayor magnitud sentido recientemente.

En relación a los contextos estructurales y geodinámico interno, la zona, presenta alta sismicidad cortical e histórica, generada por fallas activas cercanas, con orientación principal NO-SE, e importante capacidad sismogénica. En Alto Qosqo se han identificado fallas activas secundarias correspondientes a la falla Tambomachay, que en la actualidad no se observan debido al crecimiento urbano y antropización.

Los trabajos de campo realizados en Alto Qosqo permitieron identificar fisuras, zonas de arranque y escarpes de deslizamientos antiguos y recientes, dentro de amplias zonas de carcavamiento, además de procesos recientes de erosión de laderas en surcos; condicionados principalmente por su topografía agreste, composición litológica y actividades antropogénicas.

El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de Alto Qosqo, representado por cinco niveles, Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo, describe a las zonas de carcavamiento, como zonas de susceptibilidad Muy alta a generar procesos por movimientos en masa.

Finalmente, debido a las condiciones actuales, presencia de procesos por movimientos en masa y las actividades antrópicas en la zona de Alto Qosqo, se le considera, como Zona Crítica, de peligro alto a movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos, ante la ocurrencia de lluvias excepcionales y/o sismos de gran magnitud.

Se proponen medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos, que consisten en implementar sistemas de control de cárcavas integrales, en las nueve zonas, para evitar el avance de la erosión. Además, delimitar y prohibir el uso de los terrenos rellenados para desarrollar urbanizaciones, viviendas u otros usos que aceleren la inestabilidad de los terrenos o expongan la integridad física de las personas.

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) y la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidroclimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica.

Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET proporciona un informe técnico que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

Dicho esto, mediante oficio N°-032-2019-SGOT/GDUR-MPC, la municipalidad provincial de Cusco, solicita una evaluación geológica-geodinámica en la zona de Alto Qosqo; para lo cual se comisionó a los geólogos Guisela Choquenaira y Yenson Tito.

Para esta evaluación, se realizaron trabajos de recopilación de información, preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos, GPS, cartografía, procesamiento de información y redacción del informe.

1.1. Objetivos

- a) Identificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en la zona de Alto Qosqo.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que intervienen en la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes

- Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco (*Vílchez, M. & Sosa, N. 2014*), determina 75 zonas críticas. Estas zonas resaltan áreas, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres.
- El estudio “Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco” (*Benavente et, al. 2013*), muestra escenarios de peligrosidad por licuefacción de suelos a partir de sismos generados por las fallas Tambomachay, Qoricocha, Pachatusan y Paruro. Los mapas de escenario muestran que el fondo de valle del Cusco, constituido principalmente por depósitos de la Formación San Sebastián, se encuentra en zona de alto y muy alto grado de peligrosidad ante procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos producidos por sismos.
- En el “Mapa de zonificación sísmica para la ciudad de Cusco” del estudio “Escenario de Riesgo Sísmico y Movimiento en Masa Producido por la Reactivación de la Falla

Tambomachay, Provincia de Cusco” (Yauri, 2015 - INDECI), muestra que la zona de Alto Qosqo se encuentra en zona de alto y muy alto riesgo ante un sismo generado por la falla Tambomachay.

- Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 3, elaborado por INGEMMET (2003), describe a escala regional la geología, los rasgos geomorfológicos y los peligros geológicos de tipo movimientos en masa y geohidrológicos, que ocurren en la zona de estudio.
- El “Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa” (Vílchez, et al., 2020), muestra que la zona de Alto Qosqo se encuentra en zona de susceptibilidad alta a movimientos en masa. De acuerdo al inventario de peligros geológicos (GEOCATMIN-INGEMMET), la zona presenta erosión de laderas, derrumbes y flujos de lodo.
- El “Estudio del Mapa de Peligros de la Ciudad del Cusco”, (PNUD-INDECI 2005), describe numerosas cárcavas distribuidas en laderas y faldas de los cerros afectando principalmente depósitos de la Formación San Sebastián. Este estudio sugiere, obras de control de cárcavas y de drenajes superficiales y sub superficiales para prevenir el riesgo al que estarían expuestos futuros asentamientos en el lugar.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1. Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se localiza en el distrito de San Sebastián, al noreste de la ciudad del Cusco, en la provincia y región Cusco (figura 1), sobre los 3400 m s.n.m, en las coordenadas WGS84 – 19S, 183335 E; 8502879 N.

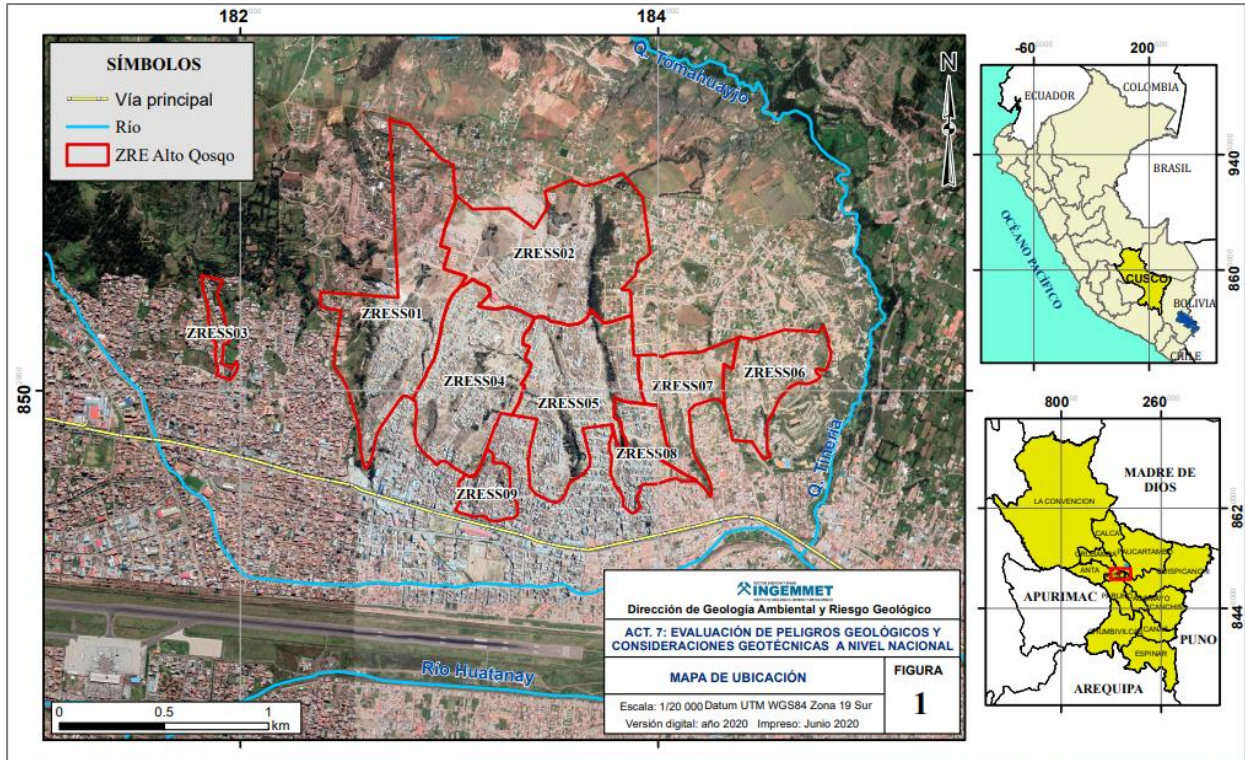


Figura 1. Mapa de ubicación de Alto Qosqo.

Cuadro 1. Accesibilidad a la zona de estudio.

Ruta	Tipo de vía	Tiempo / kilometraje
OD INGEMMET-distrito de San Sebastián	Av. La cultura - Asfaltada y pavimentada	30 m / 5 km
Distrito de San Sebastián - Alto Qosqo	Calle asfaltada	15 m / 3.30 km

2.2. Condiciones hidrometeorológicas

Según registros de la estación meteorológica de Kayra (SENAMHI), ubicada a 1.5 km al este de la zona de Alto Qosqo, indican que las máximas precipitaciones se concentran entre los meses de noviembre a marzo, alcanzando un umbral de 468 mm. En la temporada lluviosa 2009-2010, durante la cual se presentaron inundaciones y movimientos en masa en la cuenca del Cusco, en el mes de febrero se registró un pico de 155.6 mm acumulados (estación Kayra), inusual para la zona de estudio (Albinez, 2018).

2.3. Uso de suelos y cobertura vegetal

De acuerdo a la clasificación de cobertura vegetal (IMA), la zona de Alto Qosqo forma parte de áreas con intervención antrópica en su mayoría, además de pequeños bosques de estrato medio ralo de eucalipto, en laderas empinadas.

Actualmente están sufriendo un proceso acelerado de degradación por la pérdida de cobertura vegetal a consecuencia del crecimiento demográfico, originando la destrucción de bosques.

2.4. Sismicidad histórica

La región Cusco ha sido afectada por una serie de sismos superficiales (cuadro 2) desde la época de la conquista, con pequeña a moderada magnitud, generando daños, pérdidas materiales y humanas como los ocurridos en 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.

Durante el sismo de 1650 se produjo licuefacción del suelo generando el levantamiento del nivel freático al sur de la cuenca del Cusco, con niveles de hasta 40 cm en la superficie (Silgado, 1952). Información periodística y fotográfica de este terremoto indican la formación de grietas importantes en zonas agrícolas de San Sebastián. El titular de "La Tierra se Abre en San Sebastián" da indicios de la existencia de una falla en esta zona, la cual podría haber sufrido desplazamiento relativo durante dicho evento.

Esta característica hace suponer la posible presencia de una falla geológica a lo largo del valle de Cusco. En relación a esta falla, Silgado (1952), indica que hacia el SE de San Sebastián, se generaron extensas fisuras con una longitud de 5 km, con aberturas de hasta 2 m de profundidad. Además, se presentaron deslizamientos en laderas escarpadas y taludes de gravas aluviales.

Cuadro 2. Catálogo de sismos históricos con epicentros en la región Cusco.

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

Elaborado a partir de Catálogo General de Isosistas para Sismos Peruanos de Tavera 2016. Modificado de Albinez & Anco, 2018.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Aspectos geológicos

Litológicamente, la zona de Alto Qosqo (figura 2) constituye rocas de edad Cretácico hasta el cuaternario (depósito fluvial, coluvial y aluvial).

3.1.1. Formación Ayabaca (Kis-ayb). – Aflora al noroeste de la zona de estudio, principalmente en la quebrada Bosque, está constituido por calizas grises muy fracturadas (fotografía 1) a causa del empleo de explosivos. Asociado a procesos denudativos como caída de rocas.

3.1.2. Formación Chincheros (Np-chin). – Aflora en la zona media-alta de Alto Qosqo, está constituido por una mezcla de fragmentos de calizas, lutitas y areniscas en matriz arcillosa (fotografía 2), bastante alterada. En la zona media se observa el contacto entre las arenas sedimentarias de la Formación San Sebastián.

3.1.3. Formación San Sebastián (Qp-ss). - Aflora en el piso y en los bordes del valle. Esta unidad se divide en dos secuencias: la primera está constituida por areniscas fluviales de canales entrelazados, lutitas lacustres o palustres, niveles diatomíticos y calcáreos (fotografía 3). La segunda está compuesta por conglomerados y arenas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca Cusco. La mayoría de las edificaciones de la ciudad del Cusco han sido construidas sobre los depósitos de esta Formación.

Los sedimentos muestran estructuras compresivas sin-sedimentarias como flexuras y sismitas, lo que demuestra una actividad sísmica durante el depósito de las mismas. Los sedimentos lacustres de la Formación San Sebastián definen el antiguo Lago Morkill. Desde el punto de vista geotécnico, los sedimentos lacustres y palustres tienen un comportamiento pésimo, tanto en las cimentaciones, como su comportamiento en las laderas. En efecto, en la ladera norte las capas de diatomitas, turbas e incluso arcillas de la Formación San Sebastián se inclinan a favor de la pendiente favoreciendo a la formación de derrumbes y deslizamientos.

El comportamiento mecánico de las gravas es relativamente bueno para la cimentación de edificaciones; sin embargo, si existe saturación de agua, la cimentación de la edificación podría dañarse por la presencia de esta.

3.1.4. Depósitos coluviales (Q-co). Localizados al pie de las laderas, por efecto de erosión e intemperismo. Están conformados por una mezcla de limos y gravas.

Estos depósitos están asociados a la existencia de deslizamientos y caídas (derrumbes y caída de rocas) por lo que estas zonas son consideradas de alto riesgo para las construcciones en general.

3.1.5. Depósitos fluviales (Q-fl). Se ubican en ambos márgenes del río Huatanay, formando terrazas a diferentes niveles. Están conformados por bancos de gravas y arenas.

Las terrazas bajas constituyen zonas vulnerables, debido a que, durante las avenidas máximas, son afectadas por inundaciones y erosiones.



Fotografía 1. Afloramiento de calizas de la Formación Ayabaca, muy fracturado.



Fotografía 2. Afloramiento de la Formación Chinchero, presenta clastos de calizas muy alteradas.



Fotografía 3. Vista de afloramiento de la Formación San Sebastián.

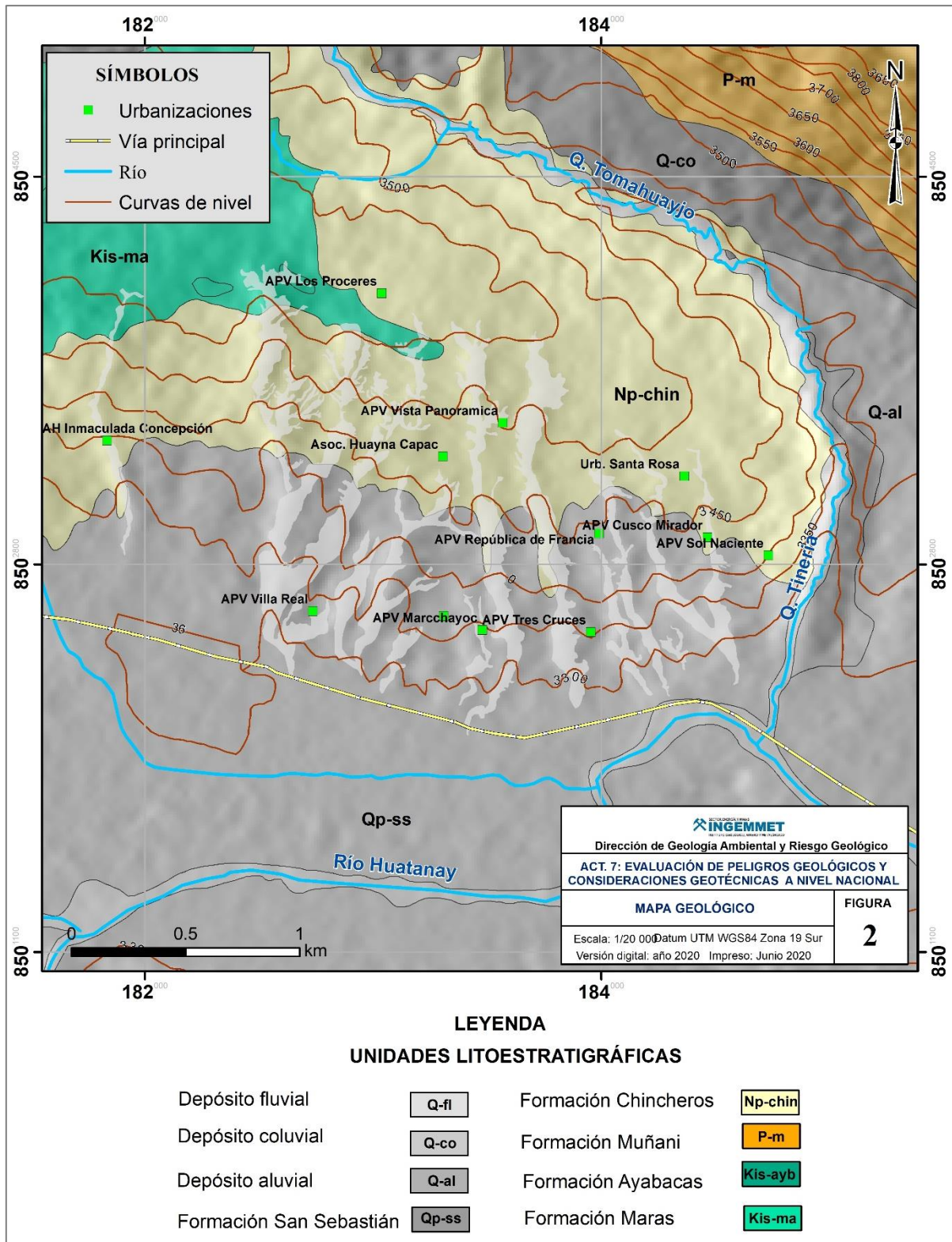


Figura 2. Mapa geológico de Alto Qosqo. Modificado de Carlotto, 2011.

3.2. Aspectos geomorfológicos

Desde el punto de vista morfoestructural la zona de Alto Qosqo se ubica en la cordillera Oriental. Geomorfológicamente, forma parte de la Meseta de Saqsayhuamán, constituye un relieve relativamente suave en contacto con la planicie de fondo de valle, donde predominan terrazas de origen fluvio-lacustre, circundadas al noroeste por laderas de montañas estructurales en roca sedimentaria.

La clasificación geomorfológica en la zona de estudio, se tomó en base a la memoria descriptiva de la región Cusco, elaborado por INGEMMET.

3.2.1. Análisis de pendiente

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa. (Suárez, 1998).

La pendiente promedio de las terrazas es menor a los 8°, las laderas subverticales de las cárcavas presentan pendientes superiores a 45°, sin embargo, las laderas de la colina sedimentaria presentan pendiente mayor a 25°, con dirección preferencial de norte a sur.

3.2.2. Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional

a. Unidad de colina

Sub unidad de colina en roca sedimentaria: Representada por relieve de topografía accidentada e irregular, cuyas laderas de pendientes moderadamente empinadas a empinadas son disectadas por quebradas y cárcavas en dirección norte – sur.

Constituye rocas sedimentarias de las formaciones San Sebastián y Ayabacas. Actualmente esta geoforma viene siendo antropizada (construcción de viviendas y trazado de vías urbanas) a pesar de los procesos denudativos.

3.2.3. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

b. Unidad de planicie

Sub unidad de piso de valle: El valle del río Huatanay, presenta morfología plana y muy baja pendiente (< 1 %), corresponde a una cuenca de origen tectónico, controlado por las fallas activas de Cusco, Tambomachay y Pachatusan. Su origen se atribuye a la existencia del antiguo lago Morkill y la evolución fluvial del río Huatanay (Carlotto et al., 2011).

3.3. Tectónica activa e hidrogeología

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

Según Carlotto (1998), Carlier (2015) la ciudad de Cusco se encuentra ubicada en una zona activa de fallas regionales desde épocas Paleozoicas hasta Neógenas. Prueba de ello es la existencia del sistema de fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani (SFZCUS).

Es importante mencionar que, en Alto Qosqo se han identificado fallas activas secundarias correspondientes a la falla Tambomachay (figura 3).

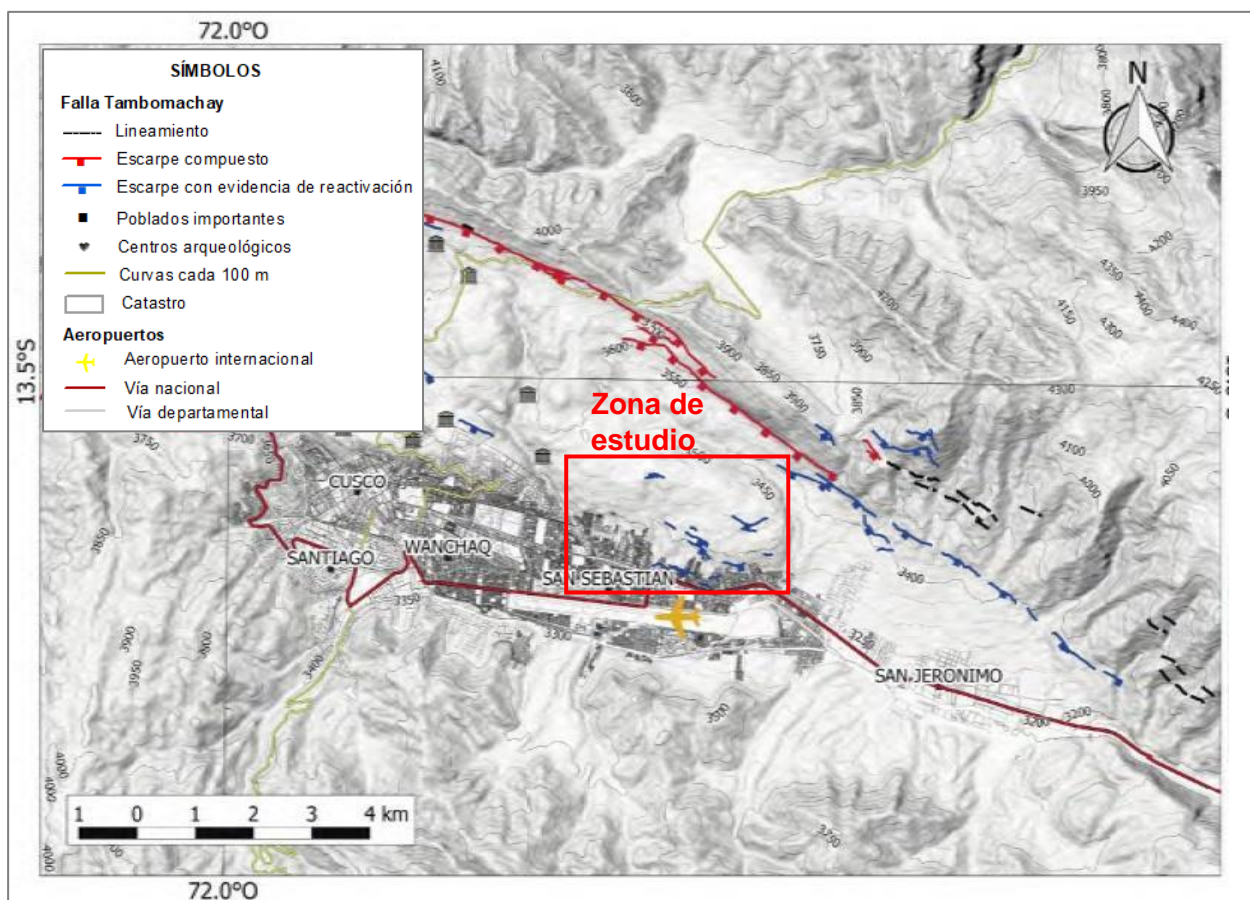


Figura 3. Mapa Neotectónico local. Tomado de Rosell 2018.

De acuerdo a la clasificación hidrogeológica propuesta por Carlotto et al., 2011, la Formación San Sebastián, 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 (Albinez, 2019).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

4.1. Conceptos teóricos

El término movimientos en masa, se refiere al desplazamiento ladera abajo de grandes volúmenes de masas de rocas, detritos o suelo por efectos de gravedad, su origen obedece a procesos geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, químicos y mecánicos en la corteza terrestre. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos geodinámicos es alta en todas las laderas naturales y artificiales, con velocidad de movimiento de muy lentos a extremadamente rápidos. (PGA: GCA, 2007).

a. Erosión de laderas en cárcavas

Son pequeños valles de paredes verticales, cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos de agua efímeros (figura 4). Se forman a consecuencia de una intensa erosión hídrica (Lucía et al., 2008), además de la ocurrencia de movimientos en masa como flujos, derrumbes y deslizamientos.

La zona de Alto Qosqo constituye zonas de cárcavamiento, actualmente antropizadas.

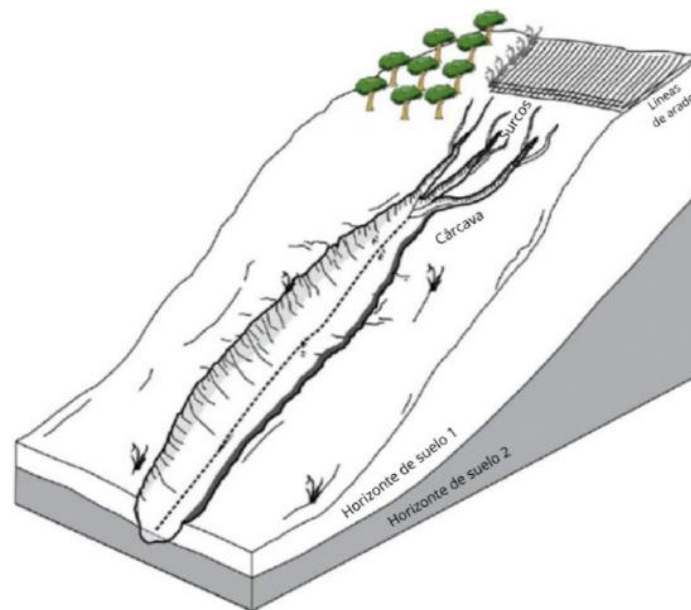


Figura 4. Esquema de la formación de cárcavas originadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi et al., 2011).

b. Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas de roca, residuos o tierra (figura 5), hacia abajo de un talud” (Cruden, 1996), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año. Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

Se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suárez, 1998).

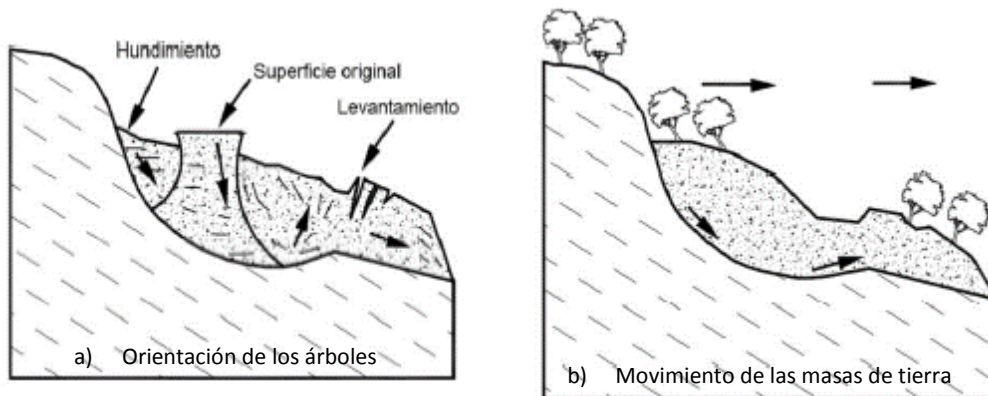


Figura 5. Deslizamiento rotacional típico. Fuente Suárez, 1998.

c. La licuación o licuefacción de suelos:

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 (Gonzales 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.

4.2. Caracterización de peligros geológicos en Alto Qosqo

Alto Qosqo está desarrollado sobre la meseta de Sacsayhuaman, cuya característica principal de este último, es la capacidad de recoger gran cantidad de agua de escorrentía, formando cárcavas, especialmente tipo Anchas. Además, las áreas más susceptibles a erosión de cárcavas en la zona, están representadas por una topografía de alta pendiente y suelos altamente erosionables, de gran espesor.

Los trabajos de campo realizados en Alto Qosqo permitieron identificar fisuras, zonas de arranque y escarpes de deslizamientos antiguos y recientes, dentro de amplias zonas de carcavamiento (figura 6), además de procesos recientes de erosión de laderas en surcos; condicionados principalmente por su topografía agreste, composición litológica y actividades antropogénicas.

En las nueve zonas evaluadas, durante el periodo lluvioso (noviembre a marzo), se generan flujos efímeros de agua que discurren dentro de las cárcavas, originando erosión en la base de los flancos.

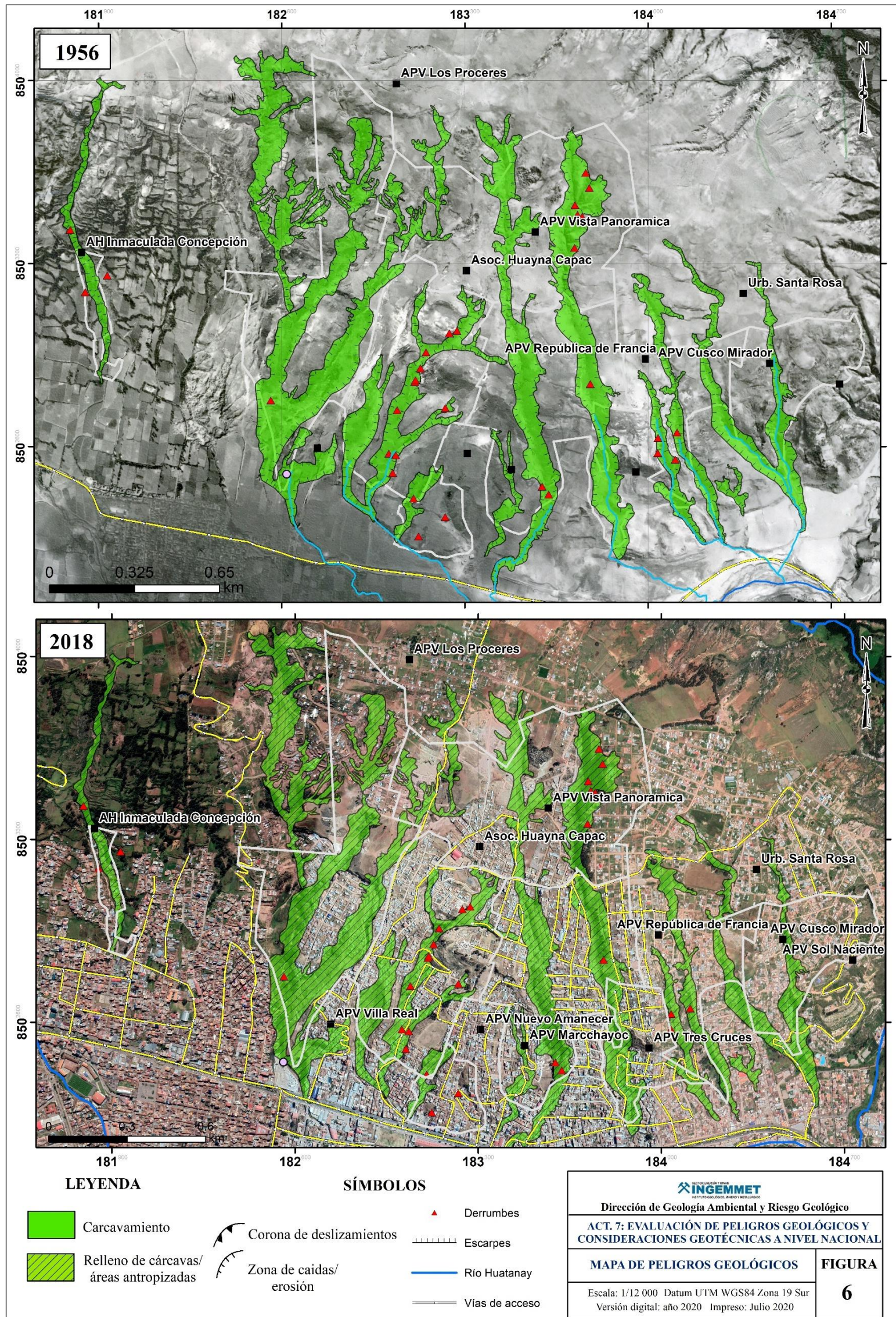


Figura 6. Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa de Alto Qosqo.

La figura 7A (ortomosaico de 1956), representa zonas de escarpes de la falla Tambomachay, que en la actualidad no se observan debido al crecimiento urbano y antropización (figura 7B). En la figura 8 A, B, se observa que viviendas de Alto Qosqo se han ubicado sobre zonas de fallamiento activo (Rosell 2018).

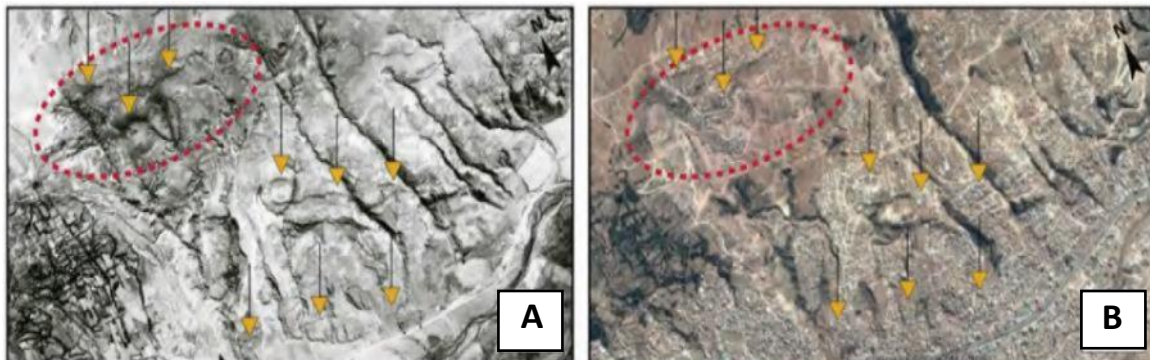


Figura 7. (A) Identificación de escarpes de la falla Tambomachay sobre el ortomosaico de 1956 e imagen satelital del 2016 (B), en la zona de Alto Qosqo, las flechas amarillas señalan el escarpe de falla (Rosell, 2018).



Figura 8. (A) Evidencia de falla en la zona de Alto Qosqo. (B) Fotografía interpretada donde la línea roja simboliza el escarpe de falla y las líneas amarillas son el tope del depósito cuaternario desplazado (Rosell, 2018).

La caracterización de peligros geológicos por movimientos en masa en las nueve zonas de Alto Qosqo se describirá por áreas, según la división del plan de ordenamiento territorial de la región Cusco.

4.2.1. ZRESS01: Quebrada Bosque, APV. Capulichayoc, Bovedayoc y Barranquilla

La zona 1, denominado quebrada Bosque, se presentan procesos de erosión de ladera en surcos y cárcavas, así como derrumbes y deslizamientos dentro de las cárcavas.

La zona de carcavamiento de prolongación norte sur, presenta un área de 220181.47 m², el flujo de agua efímero desemboca a la altura del Cuarto paradero. Según lo observado en la imagen del año 1956, la parte superior del carcavamiento, a la altura del APV. Capulichayoc, presenta un ancho aproximado de 61.30 m, 100.39 m en la zona media y 83.89 m en la zona baja, con una profundidad máxima de 50 m, principalmente en su parte central. La caracterización permitió tipificarla como una cárcava ancha, con pendientes superiores a 45°.

Actualmente, la cárcava viene siendo rellenada con fines de antropización y habilitación vial, sin previos estudios geotécnicos (fotografía 4). Cabe indicar que, el material de relleno se encuentra fácilmente erosionable y removible, que en periodos de precipitaciones pluviales intensas podría desencadenar derrumbes y deslizamientos.

Por otro lado, en la cabecera de la cárcava se observó agrietamientos transversales y longitudinales con 0.30 m de apertura en promedio (fotografía 5), permitiendo mayor infiltración de agua al suelo en temporada lluviosa. Además, en las calles habilitadas con material de relleno, se viene desarrollando erosión en surcos (figura 9 a, b) producto de la escorrentía superficial.

En la zona media del carcavamiento, margen derecha, se tiene amplias áreas de terrenos de cultivo, zonas propensas a mayor infiltración de agua, posterior humedecimiento y saturación del suelo, que podrían desencadenar futuros derrumbes.

En la parte baja, prolongación de APV. Bovedayoc y Barranquilla, la edificación de viviendas de 4 pisos, en los flancos de la cárcava, y sobre la Formación San Sebastián, litológicamente compuesto por arenas poco consolidadas, consideradas como material de incompetencia geotécnica, pone en peligro la seguridad física de sus habitantes, ante un movimiento sísmico podrían colapsar. Es importante mencionar que, el terreno donde se ubican estas viviendas se encuentra apoyadas sobre muro de llantas y bolsacretos (figura 10 a, b).



Fotografía 4. Cabecera del carcavamiento, zona de relleno.



Fotografía 5. Agrietamientos transversales y longitudinales en la cabecera de la cárcava.

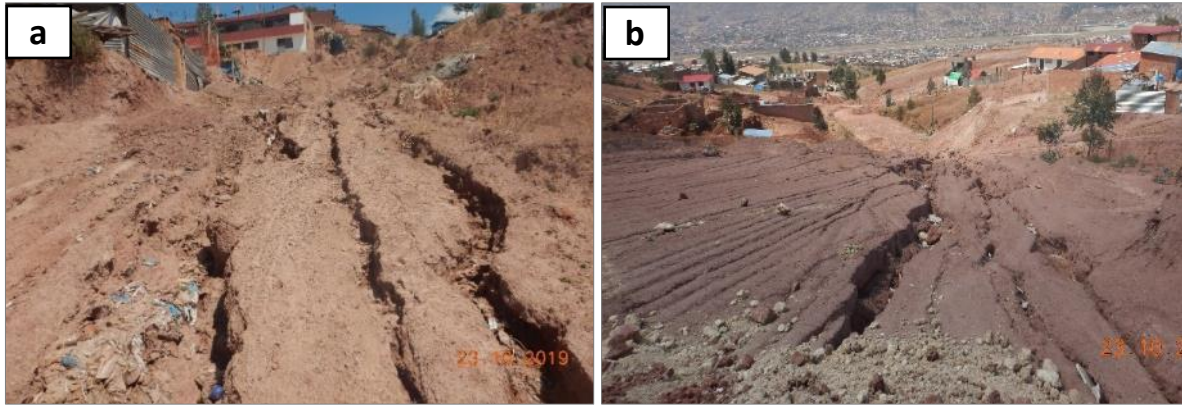


Figura 9. a, b) Calles afectadas por procesos de erosión en surcos, debido a la escorrentía superficial.

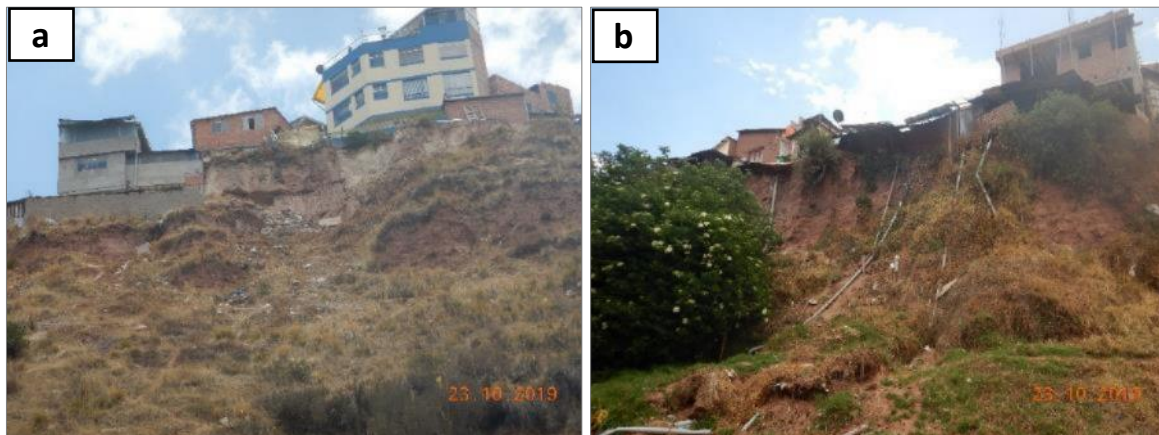


Figura 10. Viviendas uicadas al limite de las margenes de la cárcava. a) Zona media, margen derecha del carcavamiento. b) Zona baja, margen izquierda.

4.2.2. ZRESS02: APV. Villa Real, Villa Mirador, Nueva Fortuna, Santo Tomas y Asociación Huayna Ccapac

El análisis de imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018 (figura 11) permitió caracterizarlas como cárcavas anchas, de pendientes escarpadas. En la imagen del año 1956, se observa que, la cabecera de la cárcava principal presentaba un ancho de 83.54 m. Rosell, (2018), identificó en las APV. Villa Real, Villa Mirador, Nueva Fortuna y Santo Tomas, identifico zonas de fallamiento activo, correspondientes a la falla Tambomachay y que en la actualidad no se observan debido a la erosión y antropización a la que ha sido sometido el terreno.

Las viviendas de la asociación Huayna Ccapac, ubicadas en la margen derecha del carcavamiento, presentan agrietamientos en sus paredes (fotografía 6), debido al asentamiento del terreno y la pendiente empinada.

En la cabecera de la cárcava se observó erosión en surco, con 0.50 m de apertura (fotografía 7), en periodo lluvioso, discurre agua sobre este canal, en dirección al cauce de la cárcava, donde llega a infiltrarse. Si bien, en periodo de estiaje la cárcava se mantiene estable, en temporada lluviosa, en la parte media llega a formarse pozas de agua.

En la zona baja, flanco izquierdo de la cárcava, los árboles se encuentran inclinados y algunos de ellos a punto de caer sobre las viviendas, debido a la pérdida de estabilidad del terreno (figura 12).

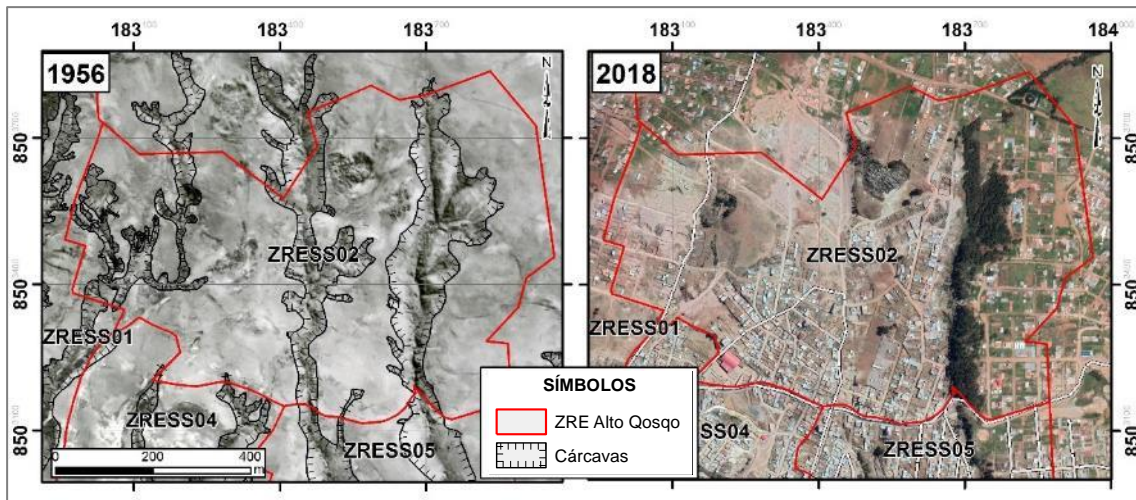


Figura 11. Análisis de imágenes multitemporales de los años 1956 y 2017.



Fotografía 6. Vista de viviendas con paredes agrietadas producto del asentamiento del terreno.



Fotografía 7. Erosión de ladera debido a la escorrentía superficial.



Figura 12. Árboles inclinados, cuyos troncos presentan una disposición perpendicular a la ladera.

4.2.3. ZRESS03: AH. Inmaculada Concepción

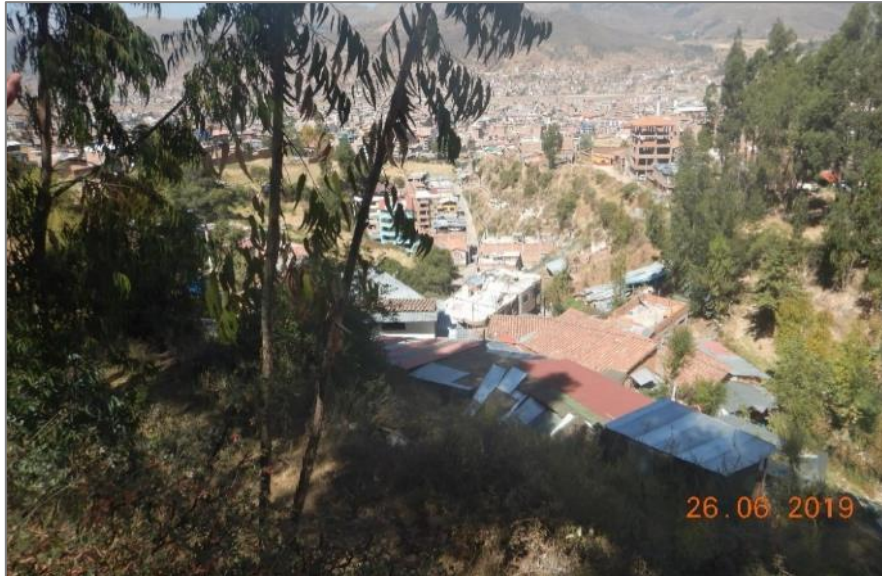
El carcavamiento de prolongación norte sur, tiene un área aproximada de 33837 45 m², un ancho de 41.62 m en la zona alta, 42.17 m en la zona media y 62.21 m en la zona baja, con una profundidad máxima de 48 m, principalmente en su parte central. Denominada cárcava ancha con escarpe vertical, y pendientes superiores a 45°.

El desarrollo urbanístico del AH. Inmaculada Concepción, en el cauce natural de la cárcava (fotografía 8), pone en peligro alto la seguridad física de sus habitantes. Además, los cortes de talud, realizados para la construcción de viviendas, desestabilizó las laderas, generando deslizamientos y derrumbes.

En la zona media de la cárcava se observó deslizamientos antiguos y recientes, este último con escarpes de forma semicircular y 15 m de longitud en promedio, producidos sobre la Formación Chincheros, material de fácil erosión y remoción. Del mismo modo, en el flanco derecho se viene desarrollando deslizamientos continuos (figura 13).

Si bien, la cárcava presenta erosión retrogresiva, debido a los agrietamientos longitudinales, con apertura de 0.10 m, el centro arqueológico Quescaquesca ubicado, en ambos flancos, por el momento se muestra en condiciones estables (fotografía 9).

En la zona baja, algunas viviendas presentan agrietamientos en las paredes de sus viviendas, producto del desnivel del terreno, acompañado por la pendiente empinada y material de incompetencia geotécnica (figura 14 a, b).



Fotografía 8. Ubicación de viviendas sin planificación urbana, estas se construyeron dentro del cauce de la cárcava.

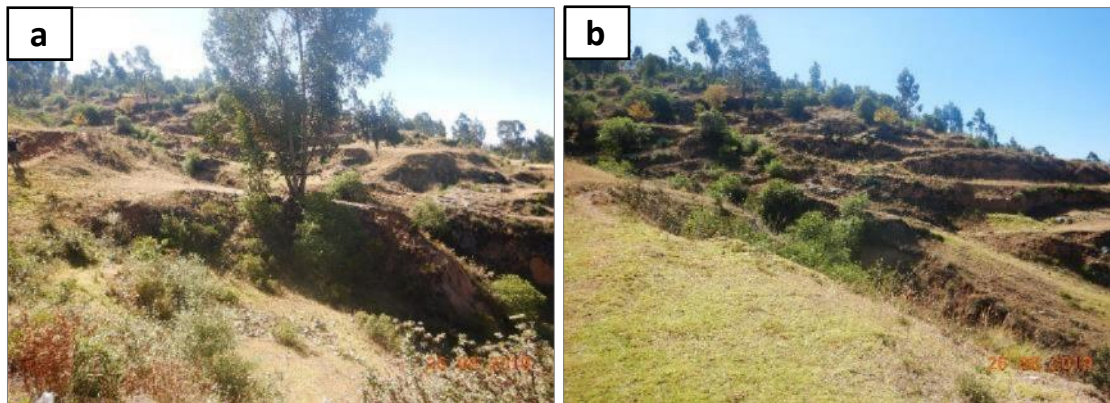


Figura 13. a, b Vista de deslizamientos continuos en la margen derecha del carcavamiento.



Fotografía 9. Zona de deslizamientos, se observa el centro arqueológico de Quenchaquencha.



Figura 14. a, b) Vista de viviendas con paredes agrietadas producto del asentamiento del terreno.

4.2.4. ZRESS04: Campo deportivo La Canchasa

En la figura 15, se presenta las imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018, donde se observa zonas de deslizamientos, derrumbes antiguos y amplias zonas de carcavamiento, que en la actualidad han sido totalmente antropizadas (fotografía 10), sin previos estudios geotécnicos.

Para el año 1956, las zonas de carcavamiento de prolongación norte - sur, presentaba un área aproximada de 114485.38 m², su cauce principal desemboca a la altura del Séptimo paradero. La caracterización de los carcavamientos permitió tipificarla como una cárcava ancha con escarpe vertical y pendientes superiores a 35°.

A la altura del campo deportivo La Canchasa, se identificaron sistemas de escarpes de deslizamientos antiguos, cuyas laderas presentan pendientes superiores a 50°. Actualmente se viene rellenando con material de desmonte (fotografía 11), en cuyo depósito se viene asentando la población.

Así mismo, en la zona baja, margen izquierda del carcavamiento se identificó escarpes de deslizamientos, con pendiente de 22° (fotografía 12) y árboles inclinados, quedando sus troncos dispuestos en forma perpendicular a la ladera.

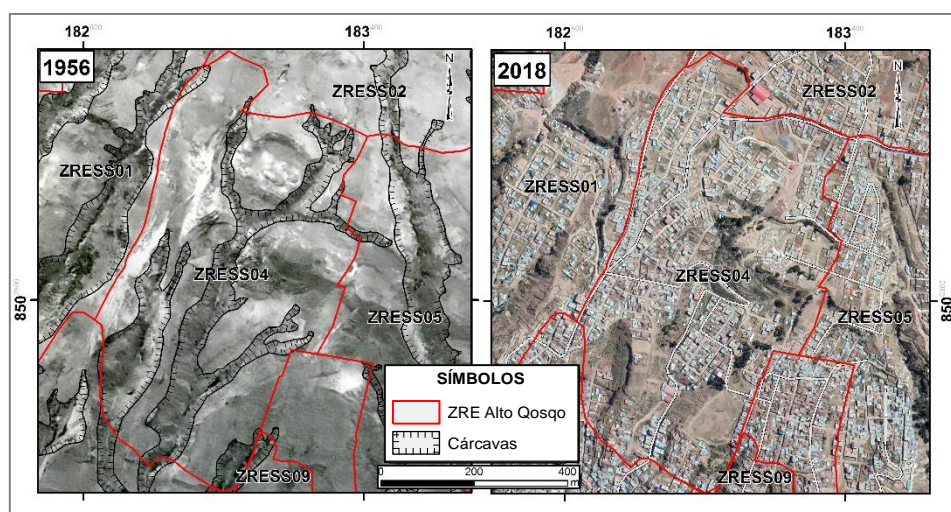


Figura 15. Análisis de imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018.



Fotografía 10. Antropización en el cauce del carcavamiento. Sistema de escarpas con pendiente entre 40-45° y con viviendas asentadas sobre el escarpe.



Fotografía 11. Material de relleno con pendiente entre 40-45°, ubicado a 20 m de la vivienda más cercana y con presencia de árboles inclinados.



Fotografía 12. Sistema de escarpes de deslizamiento antiguos, con pendiente entre 20 y 30° y viviendas asentadas sobre el escarpe.

4.2.5. ZRESS05: APV. Marcchayoc

Por la ZRESS05 atraviesan dos zonas de carcavamiento, ambas de prolongación norte - sur, la primera tiene un área aproximado de 137451.04 m², mientras que la segunda cárcava presenta un área de 149584.62 m², este último con 85.95 m de ancho y 35 m de profundidad, principalmente en su parte central. Denominadas como cárcavas alargadas y de pendientes superiores a 30°.

En el APV. Marcchayoc, ubicado en la parte baja, se identificó derrumbes y deslizamientos antiguos (fotografía 13), con laderas de pendientes comprendidas entre 40 y 45°; además de árboles inclinados y algunos de ellos a punto de caer cuesta abajo, debido a la pérdida de estabilidad del terreno.

La presencia de zanjas de drenaje sin revestir, en dirección a la cárcava, generan mayor infiltración de agua al terreno.

En la zona media del carcavamiento, la escorrentía pluvial en las laderas del flanco izquierdo, está generando erosión en surcos. A raíz de ello se desencadeno un deslizamiento rotacional, con escarpe de forma semicircular, de 10 m de longitud y 6 m de longitud entre el escape y el pie del deslizamiento (fotografía 14). Además, se observó desprendimientos de bloques en el cuerpo del deslizamiento y en varios sectores del carcavamiento (figura 16).



Fotografía 13. Zona de deslizamientos antiguos y continuos, margen derecha.



Fotografía 14. Deslizamiento activo, tipo rotacional.

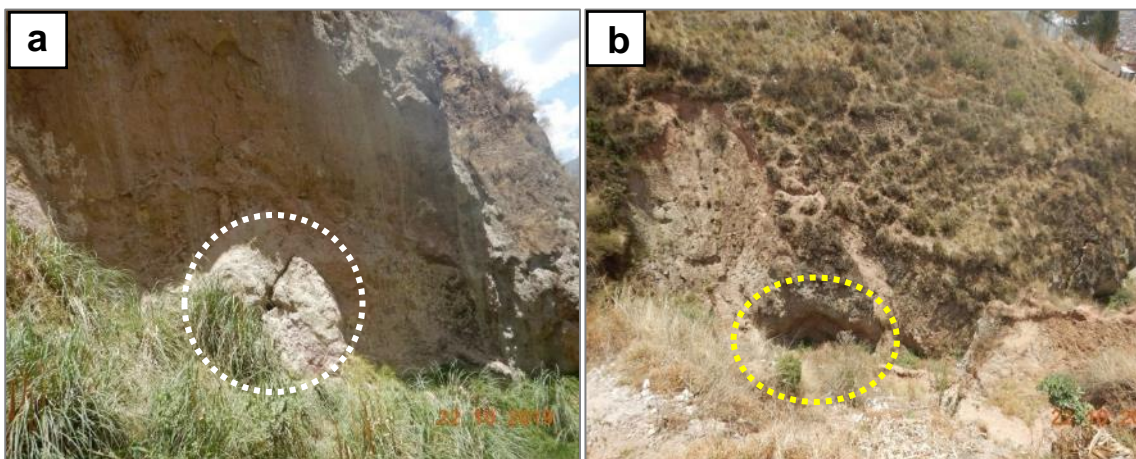


Figura 16. a) Desprendimiento de bloques, en laderas con pendiente entre 40 y 45°, con viviendas que se asientan muy cerca, además se observa la presencia árboles inclinados y caídos. b) Vista de derrumbes y socavamiento en la base de las laderas, con pendiente entre 40 y 45°.

4.2.6. ZRESS06: Urbanización Cusco Mirador, Mallki y Huayna Ccapac

Las zonas de carcavamiento, de prolongación norte - sur, se desarrollan en dos ramales que desembocan a la altura del paradero Sol de Oro. Tienen un área total de 90039 34 m²; la cárcava de mayor desarrollo en esta zona tiene un ancho aproximado de 32.69 m en la zona alta, 77.90 m en la zona media y 93.45 m donde se une con la segunda cárcava, presentando una profundidad máxima de 70 m (figura 17). La caracterización del carcavamiento permitió tipificarla como una cárcava alargada con escarpe vertical y pendientes superiores a 45°.

A la altura de la intersección entre las calles Mallki con Puncu, se viene desarrollando agrietamientos longitudinales, con aperturas de 0.50 m (figura 18), a pocos metros se ubica una cancha deportiva.

El avance retrogresivo de la cárcava está generando derrumbes en el flanco derecho, con zonas de escarpe de 8 m de longitud (fotografía 15). Además, se observó asentamientos del terreno, con 0.40 a 0.70 m de desplazamiento.

En la corana del carcavamiento se tienen zanjas de drenaje sin revestir, en dirección a la cárcava (figura 19a), si bien, en la base se colocó calaminas y llantas de forma artesanal, a fin de evitar infiltración de agua al terreno, estas bases no están correctamente implementadas.

En la zona media de la cárcava, a la altura de la urbanización Cusco Mirador, se viene rellenando el cauce de la cárcava, con material de desmonte, reduciendo su cauce natural a 0.50 m (figura 19b).

En periodos de precipitaciones pluviales, el agua discurre por calles y avenidas, debido a la falta de drenajes, entre ellas se cita la calle Inca Roca (zona de relleno), donde se viene produciendo erosión en surcos (figura 19 c y d). Así mismo, en esta zona, el cauce de la cárcava se reduce a 1 m de ancho. Según indican los pobladores de la zona, el año 2017 se desencadenó un pequeño flujo, el cual profundizo el cauce en 1.2 m (fotografía 16).

En la zona baja, a partir de la calle Huayna Ccapac, el terreno muestra un desnivel de 50 m aproximadamente, donde se colocaron bolsacretos a fin de atenuar la erosión. Dentro del carcavamiento, se realizaron cortes de talud, para la construcción de una cancha sintética, dejando la ladera expuesta a derrumbes.

El canal de drenaje que desemboca a la altura del paradero Sol de Oro, se encuentra obstruido por sedimentos y maderas de construcción (fotografía 17), que evitan el paso del flujo de agua.

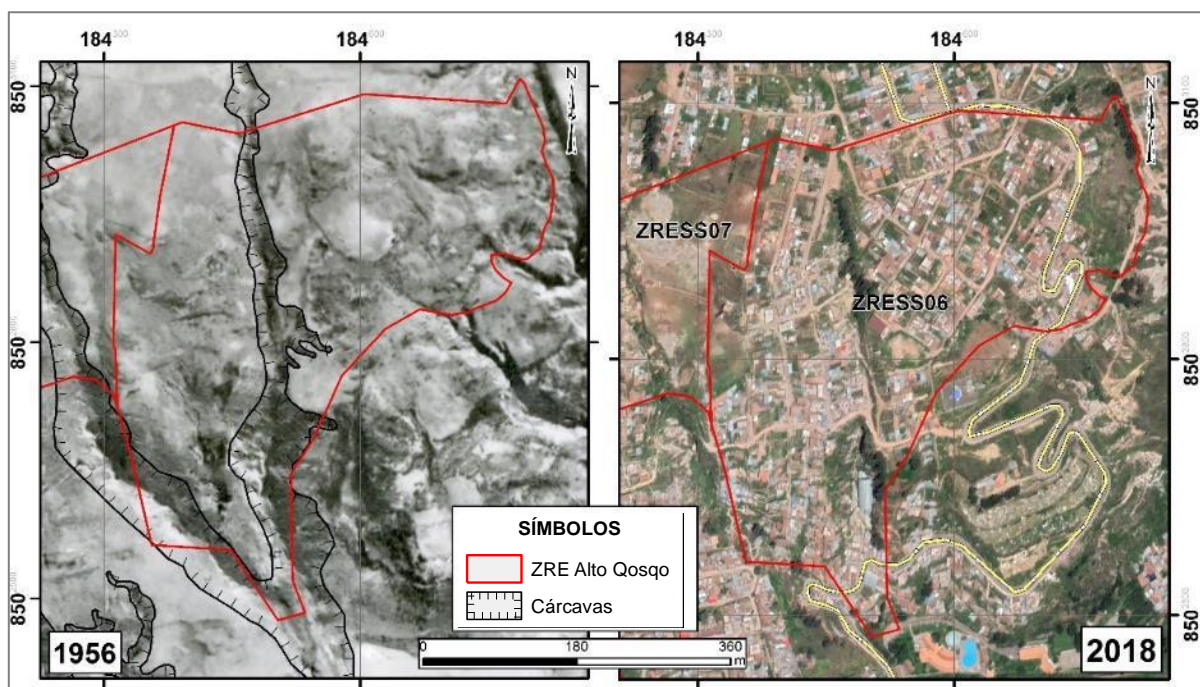


Figura 17. Análisis de imágenes de multitemporales de los años 1956 y 2018.



Figura 18. Corona de la cárcava, zona de relleno.



Fotografía 15. Zona de derrumbes, margen derecha de la cárcava.



Figura 19. a) Canales de drenaje sin revestir. b y c) Erosión de laderas en surcos, originados en material de relleno, d) Derrumbes en la margen derecha de la cárcava.



Fotografía 16. Erosión en la calle Inca Roca.



Fotografía 17. Zona baja de la cárcava, donde se acumula el material arrastrado por la escorrentía formada por las aguas pluviales, que erosionan y colmatan el canal de derivación sin revestir.

4.2.7. ZRESS07: APV. Republica de Francia

Las zonas de carcavamiento de prolongación norte sur, desembocan a la altura del paradero San Miguel. Tiene un área total aproximada de 46850 81 m², un ancho aproximado de 43.63 m en la zona alta, 66.22 m en la zona media y una profundidad máxima de 30 m, principalmente en su parte central. La caracterización del carcavamiento permitió tipificarla como una cárcava alargada con escarpe vertical y pendientes superiores a 45°.

En la imagen del año 1956, se distinguen escarpes de deslizamientos y amplias zonas de carcavamiento, en cuyas laderas de pendientes subverticales (figura 20), se observa derrumbes continuos. Mientras que, en la imagen del año 2018 se observa zonas de carcavamiento relleno y antropizado, debido al crecimiento desordenado de la población.

Actualmente, la actividad erosiva reciente de los procesos de carcavamiento se concentra en los lados sur y este, indicando un desarrollo principalmente retrogresivo (fotografía 18).

El asentamiento de viviendas del APV. República de Francia, al borde de los flancos del carcavamiento y sobre depósitos de arenas, arcillitas y diatomitas, de 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), pone en peligro la seguridad física de los habitantes (figura 21).

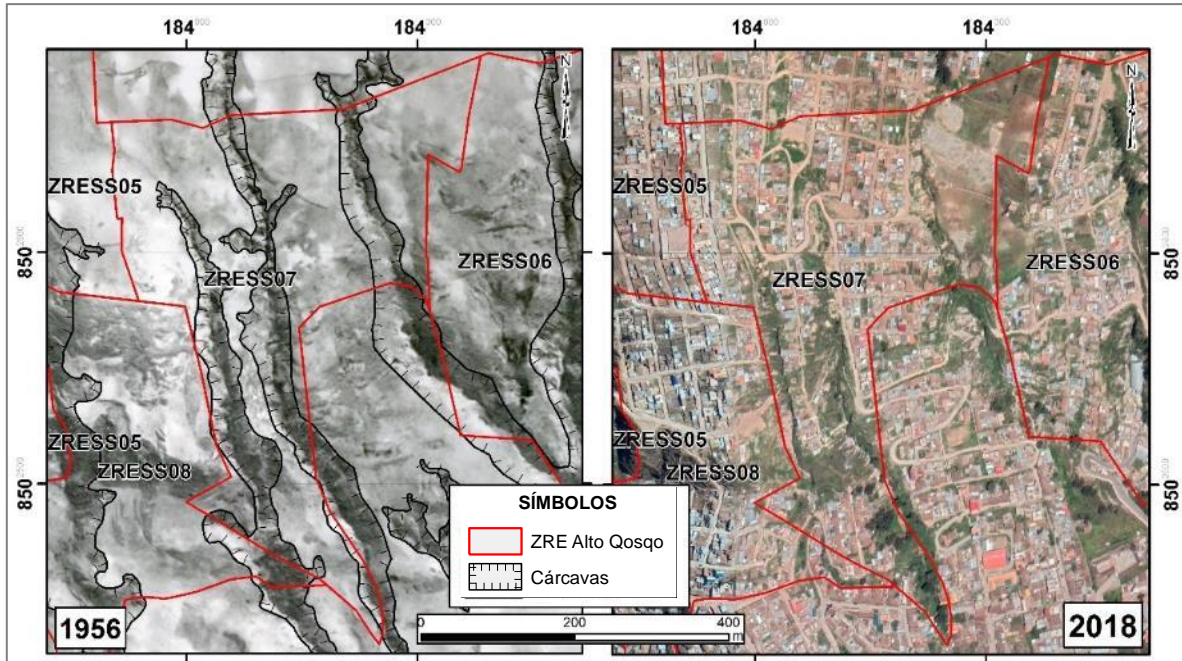


Figura 20. Análisis de imágenes multitemporales para la zona siete.



Fotografía 18. Sistema de escarpas con pendiente entre 40-45°, a 5 m se encuentra la vivienda más cercana, la zona se encuentra sin vegetación.



Figura 21. a) Escarpas de deslizamientos antiguos, con pendiente $>45^\circ$, la vivienda más cercana se encuentra a 50 m. b) Cárcava con pendiente entre $40-45^\circ$, ubicada a 100 m de la vivienda más cercana. Se observa también la presencia de árboles inclinados.

4.2.8. ZRESS08: APV. Tres Cruces

En las imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018 (figura 22), se observa que las viviendas del APV. Tres Cruces se encuentran asentadas dentro de amplias zonas de carcavamiento y sobre material arenoso, arcillitas y diatomitas, de características geotécnicas desfavorables, correspondientes a la Formación San Sebastián.

La calle Dos de Mayo, hasta la intersección con la calle Los Carrizales, forma la base de la cárcava. En esta zona la cárcava presenta un ancho de 105.10 m y 48 m de profundidad en promedio (fotografía 19).

En el flanco izquierdo del carcavamiento se implementó muro de gaviones, a fin de estabilizar la ladera, debido a los constantes derrumbes producidos, por cortes de talud (figura 23 a). Sin embargo, el vertimiento de material de desmonte y basura en las laderas del flanco derecho, podría afectar a las viviendas ubicadas cuesta abajo (figura 23 b).

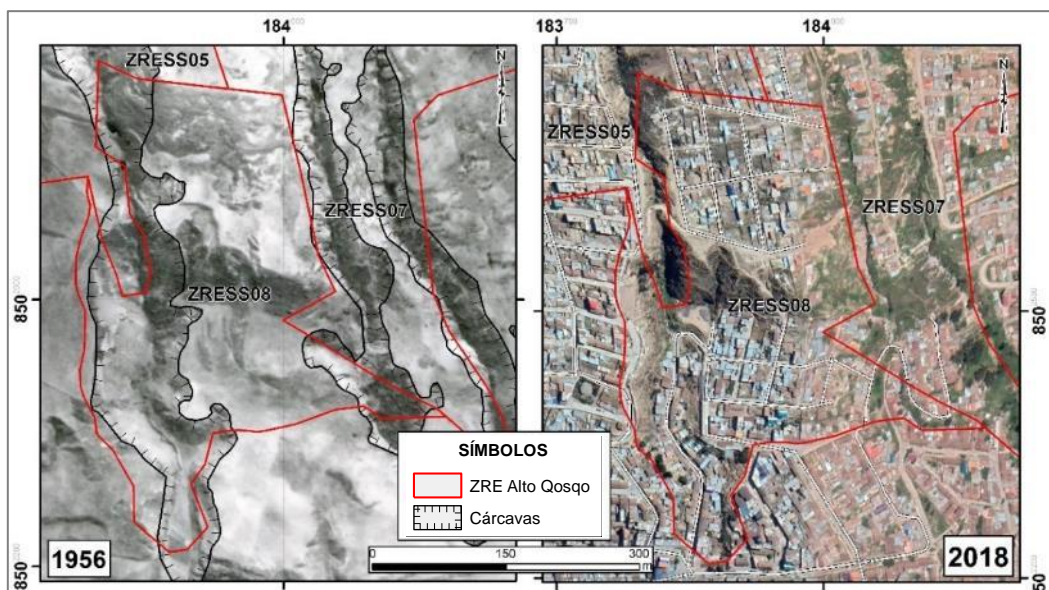


Figura 22. Análisis de imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018.



Fotografía 19. Asentamientos de viviendas en la zona baja de la cárcava.

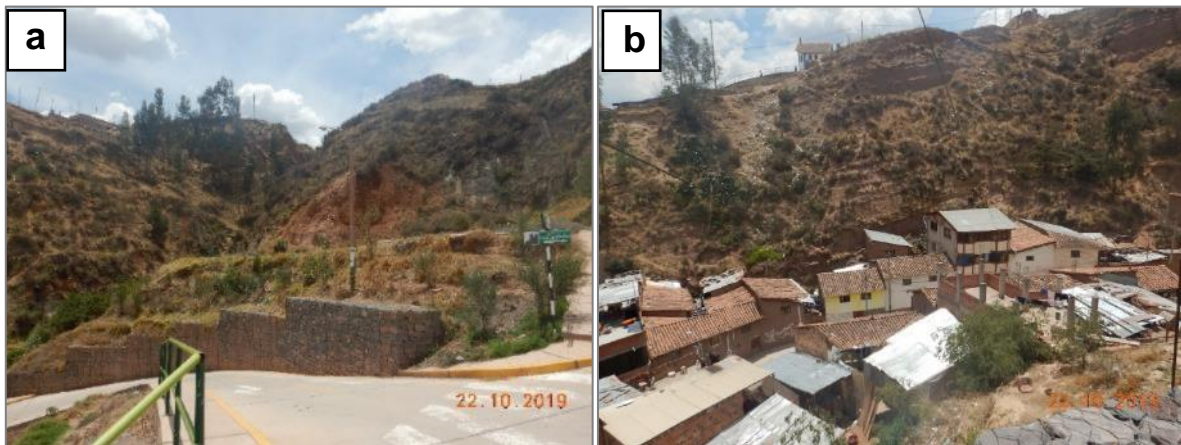


Figura 23. a) Zona de derrumbes antiguos. b) Vista de laderas cubiertas por material de desmonte.

4.2.9. ZRESS09: Calle Independencia – Servicentro Jakeline

El análisis de imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018 (figura 24), permite visualizar viviendas asentadas sobre escarpes de deslizamientos antiguos y en zonas de carcavamiento.

Actualmente, la modificación de taludes realizados para la construcción de viviendas, en laderas empinadas, produce la reactivación en derrumbes. Un claro ejemplo de este evento se registró a la altura del Servicentro Jakeline.

Así también, el desnivel del terreno, pone en evidencia laderas subverticales, donde se construyeron viviendas hasta con cinco niveles de edificación (fotografía 20).

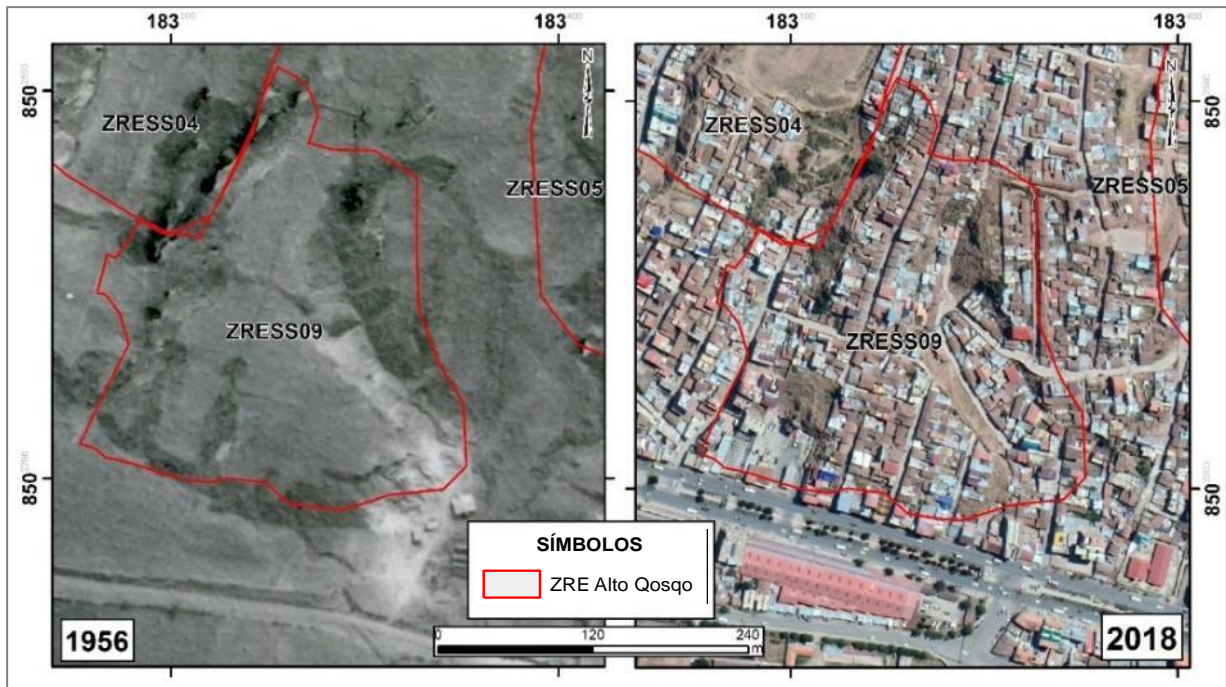


Figura 24. Análisis de imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018, para la zona 9.



Fotografía 20. Vista de viviendas asentadas al borde del escarpe de un deslizamiento antiguo, con pendiente entre 40 y 45°.

5. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

En el cuadro 3 se presenta los factores condicionantes y desencadenantes de los procesos de erosión de ladera y movimientos en masa, que se producen en Alto Qosqo.

Cuadro 3. Factores condicionantes y desencadenantes de los procesos por movimientos en masa en Alto Qosqo.

Procesos o causas naturales	Características	Peligros geológicos inducidos
Factores geológicos - geotécnicos inherentes (factores de sitio)		
Factor litológico y estructural	Secuencias de areniscas, lutitas y diatomitas, de comportamiento geotécnico, considerado malo.	Deslizamientos, erosión de laderas, caída de rocas.
Tipo de suelo (naturaleza del suelo)	Presencia y naturaleza del suelo incompetente, de fácil erosión-remoción ante intensas precipitaciones pluviales.	Erosión de laderas; deslizamientos y caídas.
Factor geomorfológico	La morfología de colinas y laderas, tiene gran influencia en la ocurrencia de procesos por movimientos en masa, como deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y principalmente la formación de cárcavas.	Deslizamientos, caída de rocas y cárcavas.
Pendiente del terreno	Laderas con pendientes superiores a 25°, los cuales favorecen la ocurrencia de procesos por movimientos en masa. Pendientes subverticales a verticales en laderas de zonas de carcavamiento.	Deslizamientos, caídas de rocas, en laderas de moderada a fuerte pendiente.

Factores naturales del entorno geográfico		
Climáticos e Hidrológicos		
Factor climático-precipitaciones	Precipitaciones excepcionales e intensas ocurridas entre los meses de diciembre a marzo del presente año, con registros críticos umbrales de 470 mm en promedio, consideradas intensas y frecuentes (<i>según Koppen y Geiger</i>).	Deslizamientos y movimientos complejos, caídas, y erosión de laderas.
Sismicidad y fallas Activas		
Sismos	Existencia e incidencia de fallas geológicas activas, de reactivaciones históricas, con capacidad de generar sismos de hasta 7° de magnitud.	Deslizamientos, caída de rocas, desprendimientos, y movimientos complejos
Actividad biológica y presencia de vegetación		
Presencia o ausencia de vegetación o cubierta vegetal, para mantener la estabilidad de taludes y laderas; contribuyen al drenaje absorbiendo parte del agua contenida en el suelo, evitan la erosión pluvial. Bosques de reforestación con uso adecuado sostenible.		Erosión de laderas, deslizamientos y caída de rocas.

Factores Humanos (antrópicos)		
Excavaciones	La modificación de laderas naturales, influye en su estabilidad y variación de su estado de equilibrio, producto de los cortes artificiales, carreteras, canales, etc.	Caídas de rocas y suelo, desprendimientos en taludes
Sobrecarga	Incremento del peso debido a diferentes tipos de construcciones sobre terrenos naturales (rellenos y terraplenes) inestables.	Deslizamientos
Uso inadecuado del terreno	-Rellenos en áreas inadecuadas, sin previos estudios geotécnicos, ocupando zonas delimitadas como fajas marginales. -Vertimiento de material de desmonte en zonas susceptibles a movimientos en masa. -Presencia de canales de drenaje sin revestir, que en periodo lluvioso (noviembre a marzo) llegan discurrir agua, la cual se infiltra en el suelo.	Deslizamientos y derrumbes.

6. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

La susceptibilidad a los movimientos en masa está definida como la propensión que tiene determinada zona a ser afectada por un proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno).

En la figura 25, se presenta en mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de Alto Qosqo, representado por cinco niveles, Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo. Las zonas de carcavamiento, considerados dentro del área de estudio, son zonas de susceptibilidad Muy alta a generar procesos por movimientos en masa (Vílchez, 2020).

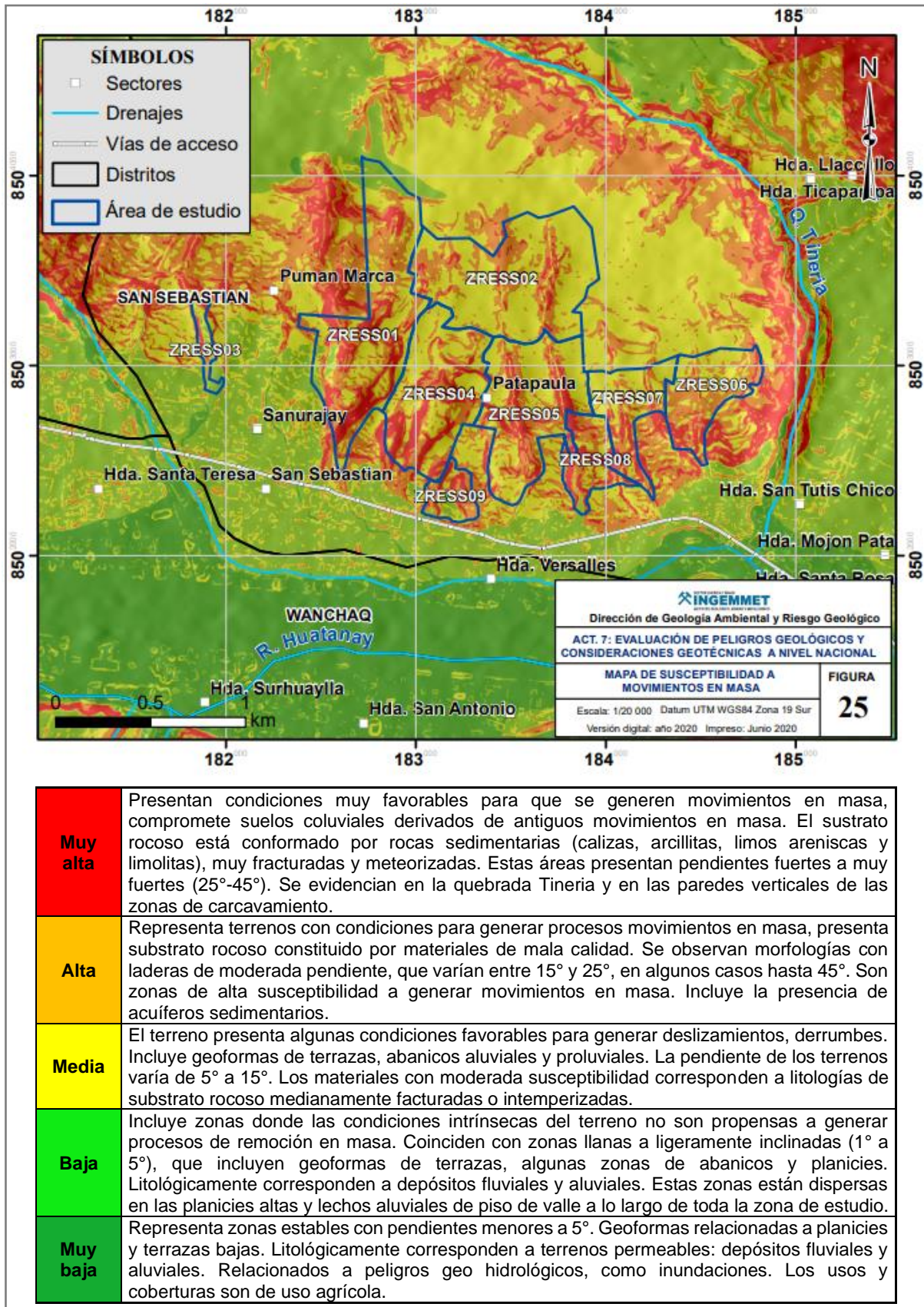


Figura 25. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de Alto Qosqo (Vílchez, 2020).

CONCLUSIONES

1. Por las condiciones actuales, presencia de procesos de movimientos en masa y las actividades antrópicas en la zona de Alto Qosqo, se le considera, como **Zona Crítica, de peligro alto a movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos**, ante la ocurrencia de lluvias excepcionales y/o sismos de gran magnitud.
2. Alto Qosqo se encuentra en un contexto geomorfológico de colina en roca sedimentaria, disectadas por cárcavas, con pendientes superiores a 25°. Litológicamente constituida por secuencias de areniscas, arcillitas y diatomitas de la Formación San Sebastián, de pésimo comportamiento geotécnico para las cimentaciones en laderas. La zona también se encuentra dentro de un contexto de fallas geológicas activas de importante capacidad sismogénica.
3. Las zonas de carcavamiento en Alto Qosqo, representan áreas de susceptibilidad Muy Alta a la ocurrencia de movimientos en masa. Los trabajos de campo permitieron identificar reactivación de derrumbes y deslizamientos dentro de las cárcavas.
4. La formación de cárcavas en la zona de Alto Qosqo de prolongación norte sur está condicionada por su morfología, pendiente, alternancia de rocas de diferente competencia y como factores desencadenantes intervienen las precipitaciones pluviales intensas y la actividad sísmica.
5. El análisis de imágenes multitemporales de los años 1956 y 2018 permitió observar amplias zonas de carcavamiento rellenadas y antropizadas sin estudios geotécnicos previos que garanticen la seguridad física de las personas y sus bienes.
6. Las viviendas de las APV. Villa Real, Villa Mirador, Nueva Fortuna y Santo Tomas, se encuentran asentadas en zonas de fallamiento activo, correspondiente a la falla Tambomachay.

RECOMENDACIONES

1. Definir, respetar y mantener la delimitación por medio de hitos en las cárcavas, realizado por la municipalidad distrital de San Sebastián.
2. Implementar sistemas de control de cárcavas integrales, en las nueve zonas, para evitar el avance de la erosión. Considerar las medidas de mitigación propuestas en Zabala & Rosado 2010 u otro acorde a la zona. Las obras deben ser planeadas y/o llevadas a cabo por profesionales con capacidades probadas sobre el tema.
3. Delimitar y prohibir el uso de los terrenos rellenados para desarrollar urbanizaciones, viviendas u otros usos que aceleren la inestabilidad de los terrenos o expongan la integridad física de las personas.
4. Prohibir el vertimiento de material, en zonas de susceptibilidad Muy Alta a movimientos en masa.
5. Forestar o implementar medidas de estabilidad en las laderas, afectadas por los carcavamientos.
6. Implementar zanjas de coronación o construir canales revestidos en las cabeceras de las cárcavas, para evitar la saturación del suelo por agua y la consecuente ocurrencia de movimientos en masa, durante la temporada lluviosa.
7. Controlar la expansión urbana desordenada y prohibir nuevas construcciones de uso urbano, en sectores con problemas de peligros geológicos activos y antiguos.
8. 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 su 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.
9. Evitar las actividades agrícolas en laderas. 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. Practicar riego por goteo u otras técnicas de riego que no saturen los suelos, propuestas por especialistas con capacidades probadas sobre el tema.



César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y
Riesgo Geológico



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act-07

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- 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.
- Albinez, L & Choquenaira G (2019) - Evaluación de peligros geológicos en la quebrada Apurante Huayco-Ladrilleras. INGEMMET. Informe técnico N° A6938.
- Benavente, C.; Delgado, F.; Taipei, 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 sismotectonica que 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.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- 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.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, 732 p.
- 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.
- Palomino, C. (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.
- 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.

- 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.
- Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.
- 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.
- Vilchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligros geológicos en la region Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 155 p.
- 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.
- Zegarra, L. (1987) - El Terremoto del Cuzco de 1986. PUCP – CISMID. Memorias del Primer Simposio Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres Naturales, 13 p.