



Informe Técnico N° A6583

Evaluación Ingeniero - Geológica del Cerro Picol

Distrito San Jerónimo - Región Cusco



POR:
FABRIZIO DELGADO MADERA

NOVIEMBRE 2011



CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO	5
2.1. ZONA INTERMEDIA ALTIPLANO-CORDILLERA ORIENTAL	5
2.2. ALTIPLANO	5
➤ MESETA DE SAQSAYHUAMAN.	5
➤ DEPRESIÓN DE CUSCO.	5
➤ MONTAÑAS DEL CUSCO.	5
3. ASPECTO GEOLÓGICO	7
3.1. GRUPO SAN JERÓNIMO	7
➤ FORMACION KAYRA	7
3.2. DEPÓSITOS ALUVIALES	8
3.3. DEPÓSITOS PROLUVIALES	8
3.4. DEPOSITOS COLUVIALES	8
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	11
4.1. GENERALIDADES	11
➤ DESLIZAMIENTOS	11
➤ CAÍDAS (DERRUMBES)	11
➤ FLUJOS DE DETRITOS	11
4.2. EROSIÓN HÍDRICA	11
➤ CÁRCAVAS	11
4.3. ZONAS EVALUADAS	13
➤ ZONA 1 (Deslizamiento Pícol)	13
➤ ZONA 2 (Quebrada Thuniyoq)	17
➤ ZONA 3 (Disipadores 1 y 2)	21
5. NEOTECTÓNICA	25
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	29
REFERENCIAS	31
ANEXOS	32
Listado de fotos y mapas	

EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA DEL CERRO PICOL

Distrito de San Jerónimo – región Cusco

1. INTRODUCCIÓN

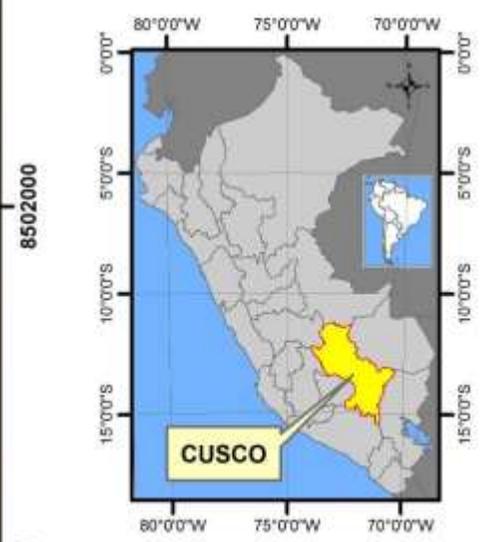
El cerro Pícol y la quebrada Thuniyoq se ubican al sureste de la ciudad del Cusco, marcando el límite entre los distritos de San Sebastián y San Jerónimo, en la provincia y región Cusco (Mapa 01).

En la desembocadura de esta quebrada se observan los depósitos que descendieron en forma de flujos de lodo y/o detritos que se depositan año a año en los disipadores 1 y 2. Al rellenarse el disipador 1, el año 2010, empezó a desbordarse. Caso similar se dio aguas abajo en el disipador 2, el cual se colmató. Este hecho provocó alarma general en las urbanizaciones de Santa María y Larapa que se encuentran en este sector.

La microcuenca es muy propensa a la erosión hídrica, evidenciándose erosión por cárcavas o barrancos; que se manifiestan, aguas abajo, como flujos de lodo y/o detritos.

Con oficio N°280-A-2011-MDSJ, la municipalidad distrital de San Jerónimo solicitó un estudio del deslizamiento en el cerro Pícol, al cual sumaron su interés la Municipalidad Distrital de San Sebastián y la Municipalidad Provincial del Cusco. El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – DGAR, comisionó al profesional Fabrizio Delgado, especialista en movimientos en masa, para realizar la evaluación ingeniero – geológica del área. Los trabajos se realizaron del 23 al 26 de setiembre del presente año previa coordinación con la oficina de Defensa Civil del Gobierno Regional del Cusco. Los trabajos de reconocimiento en campo contaron con el apoyo de Verónica Tito García y Boris Del Castillo Herrera, estudiantes de la Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

El presente informe contiene documentación obtenida en campo y revisión de información geológica y cartográfica (boletines técnicos, topografía e imágenes satelitales) que permitieron la adecuada evaluación del cerro Pícol, y su influencia en la población en la parte baja. Se emiten conclusiones y recomendaciones que el municipio provincial y local, deberán tener en cuenta para la prevención de futuros eventos geodinámicos en el área.



EVALUACIÓN INGENIERO - GEOLÓGICA DEL CERRO PICOL
 DISTRITO SAN JERÓNIMO - REGIÓN CUSCO

UBICACIÓN

0 0.4 0.8 1.6 Km

2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

En la zona de estudio se reconocen las siguientes unidades geomorfológicas (Mapa 02) tomadas de Carlotto et al (2011).

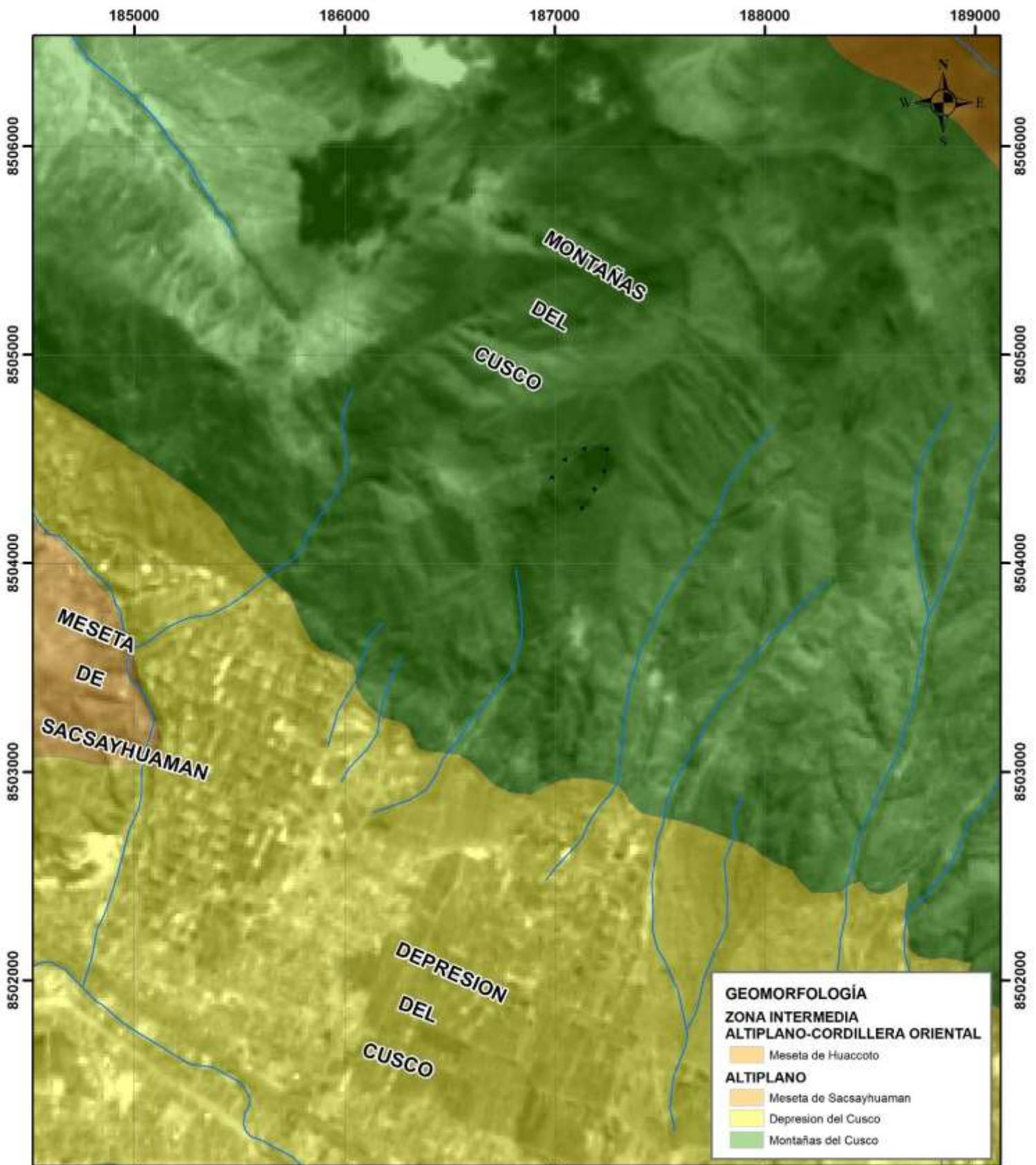
2.1. ZONA INTERMEDIA ALTIPLANO-CORDILLERA ORIENTAL

Es una faja alargada en dirección NO-SE que separa el Altiplano de la Cordillera Oriental, las alturas máximas alcanzadas en esta zona sobrepasan los 4800 msnm y destacan particularmente las montañas de Pachatusan, cuyas laderas al norte son bastante abruptas por el desnivel en relación al río Vilcanota, en esta zona también se tienen la presencia de mesetas como la de Huaccoto que se halla a una altura de 4000 msnm.

2.2. ALTIPLANO

Se distinguen las siguientes unidades locales: Depresión Cusco-Huacarpay, Meseta de Saqsayhuaman, Montañas del Cusco.

- **MESETA DE SAQSAYHUAMAN:** Se localiza al Norte de la depresión de Cusco, tiene un relieve relativamente plano y su altitud varía de 3600 a 3700 msnm. El talud entre la meseta y la depresión es algo suave al Oeste y más abrupto al Este, y corresponde a depósitos de conos aluviales pliocenos de la Formación Chinchero (Cabrera, 1988).
- **DEPRESIÓN DE CUSCO:** Alargada, con dirección NO-SE. El material de relleno es aluvial, lacustre y fluvial de edad pliocuaternaria, en realidad corresponde a una cuenca de origen tectónico, ya que está controlada por fallas activas.
- **MONTAÑAS DEL CUSCO:** Se ubican al Norte de la meseta de Saqsayhuaman, aquí afloran areniscas de la Formación Kayra que constituyen relieves prominentes; en el cerro Pícol alcanzan los 4000 msnm.



EVALUACIÓN INGENIERO - GEOLÓGICA DEL CERRO PICOL
 DISTRITO SAN JERÓNIMO - REGIÓN CUSCO

INGEMMET

GEOMORFOLOGÍA

0 0.25 0.5 1 Km

1:25.000

WGS_1984_UTM Zona 19 Sur Mapa 02

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

En el área evaluada aflora la Formación Kayra del Grupo San Jerónimo y depósitos cuaternarios que describiremos a continuación (Carlotto, et al, 2011):

3.1. GRUPO SAN JERÓNIMO

Aflora ampliamente en la región de Cusco y Sicuani. El Grupo San Jerónimo originalmente ha sido dividido en tres formaciones (Córdova, 1986): Kayra (3000 m), Soncco (1600 m) y Punacancha (1700 m). Actualmente solo las formaciones Kayra y Soncco se han redefinido como parte del Grupo San Jerónimo. En la zona de estudio aflora la Formación Kayra.

- **FORMACIÓN KAYRA:** Constituye el basamento rocoso del áreas de evaluación, y dado que estas se encuentran alteradas, deformadas, falladas, fracturadas y diaclasadas, producto de la tectónica regional. Litológicamente presenta areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas; siendo la parte media a superior más gruesa y compuesta por areniscas, microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcitas. Hacia el tope la formación acaba con facies arenosas. Dadas las características litológicas y a sus condiciones geomecánicas. Esta formación presenta, en algunos sectores, intensa erosión por cárcavas.

Localmente la orientación de la estratificación en la Formación Kayra es N150°, 48°NE (Foto 01); esta se encuentra en contra de la pendiente del terreno.



Foto 01: Se observa la estratificación de la Formación Kayra

3.2. DEPÓSITOS ALUVIALES

Estos depósitos se encuentran encima de los depósitos lacustres de la formación San Sebastián, están formados por bloques redondeados a subredondeados de areniscas rojas de diferentes tamaños, la matriz está constituida de arenas y limos arcillosos, dando lugar a una llanura aluvial, sobre las que se emplazaron las urbanizaciones de Larapa, Santa María y parte del distrito de san Jerónimo.

3.3. DEPÓSITOS PROLUVIALES

Se observan a lo largo de la quebrada Thuniyoq y en la desembocadura de ésta. Estos depósitos son producto de los flujos de lodo y/o detritos que descendieron por la quebrada y se depositaron formando su cono deyeectivo. En la actualidad, las urbanizaciones de Larapa y Santa María, ocupan esta área. Están compuestos por gravas areno – arcillosas, con clastos de tamaño medio (5 cm.) como se observan en las paredes de los disipadores 1 y 2 (Foto 02).



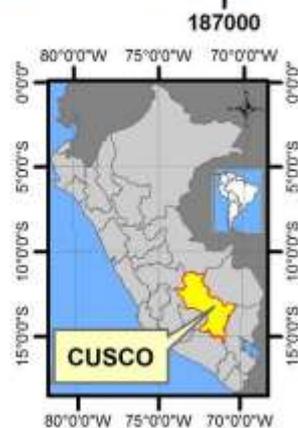
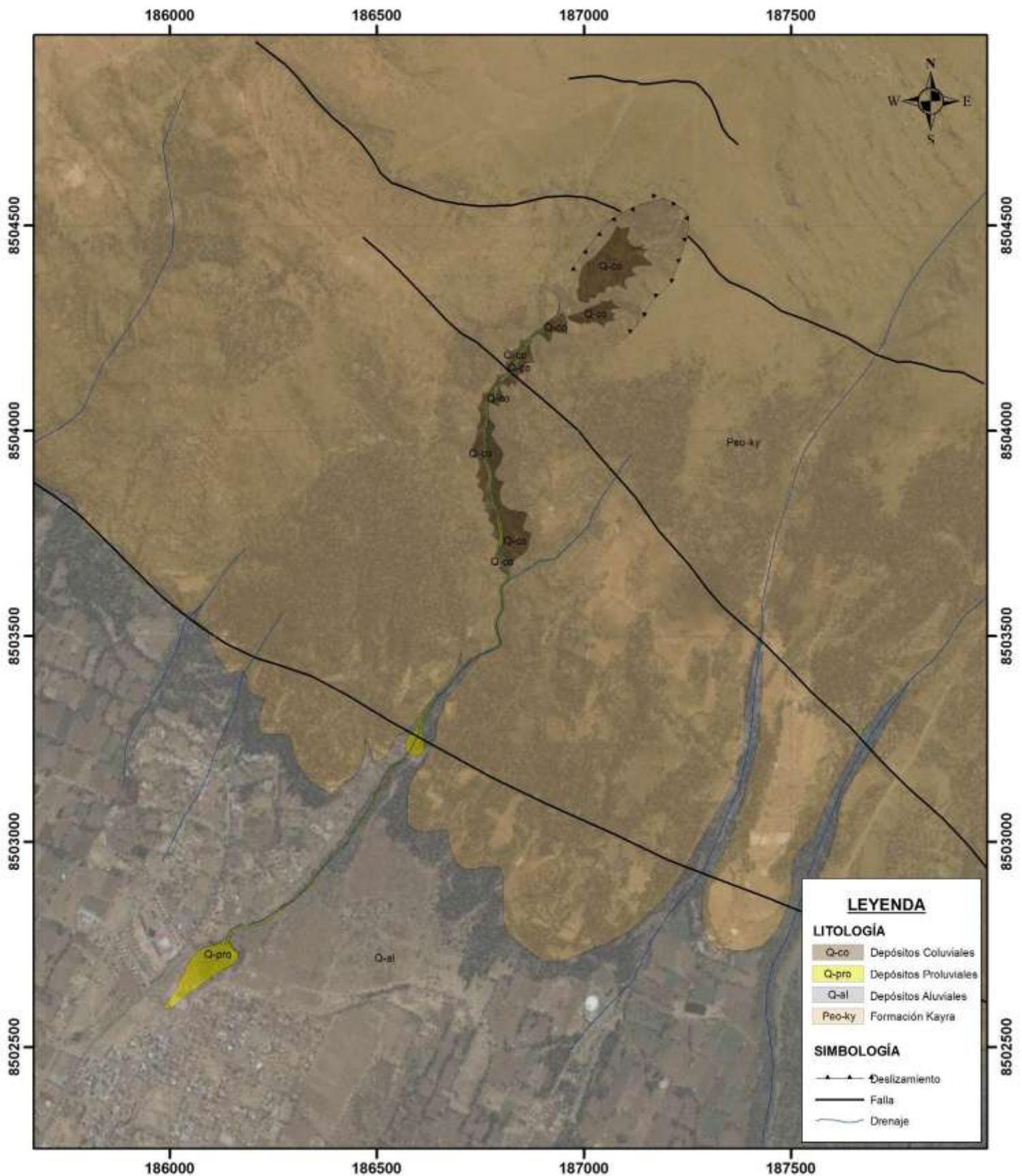
Foto 02: Depósitos proluviales en el Disipador 1, en la imagen se observan también las terrazas proluviales T-1 y T-2

3.4. DEPÓSITOS COLUVIALES

Formados por acción de la gravedad, se localizan en las laderas de las montañas. En la zona de estudio están conformados por una mezcla de lutitas (desintegradas) y gravas que se acumulan en la base y laderas de la quebrada (Foto 03). Estos depósitos en tiempo de lluvias son arrastrados generando flujos de detritos que descenden por toda la quebrada rellenando los disipadores 1 y 2.



Foto 03: Depósitos coluviales en la base del deslizamiento.



4. PELIGROS GEOLÓGICOS

4.1. GENERALIDADES

Para la descripción del Deslizamiento del cerro Pícol se ha tomado como base la clasificación de Varnes (1978, 1996) y la terminología sobre Movimientos en Masa en la región Andina preparado por el Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007):

- **DESLIZAMIENTOS:** Son movimientos de ladera debajo de una masa de suelo y 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. Los deslizamientos cartografiados en el área son del tipo rotacional y/o traslacional; en su mayoría las reactivaciones se encuentran en las márgenes de la quebrada y hacia la cabecera de la quebrada principal (cárcava), presentando escarpas activas semicirculares a rectas.
- **CAÍDAS (DERRUMBES):** Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consisten en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad. Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes) y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas. En la zona de estudio estos fenómenos se dan a lo largo y cabeceras de la quebrada Thuniyoq. Asociadas generalmente a erosión en surcos y cárcavas.
- **FLUJOS DE DETRITOS:** Se trata de flujos de material detrítico y fino, que se activan con precipitaciones estacionales y/o excepcionales, debido a la escorrentía superficial. Estos depósitos transcurren principalmente a lo largo del cauce de la quebrada y desembocan en su cono deyeectivo, donde se ubican los disipadores 1 y 2.

4.2 EROSIÓN HÍDRICA

- **CÁRCAVAS:** Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas. La presencia de cárcavas en el terreno, indica un grado avanzado de degradación, ya que si las pequeñas incisiones por las que circula el agua en la ladera no se eliminan, estas irán progresando en el sentido aguas arriba captando desprendimientos y derrumbes de materiales de mayor tamaño debido a la falta de cohesión por exceso de humedad, llegando a producir profundas incisiones, de más de 30 cm a varios metros de profundidad, con secciones en forma de “V”, de “U”, o una combinación de ambas. En la zona de estudio, estos procesos están profundizando la quebrada Thuniyoq, provocando la inestabilidad de sus laderas.

186000

186400

186800

187200

LEYENDA

MOVIMIENTOS EN MASA

-  Deslizamiento activo
-  Deslizamiento antiguo
-  Caída (Derrumbe)
-  Cárcava
-  Flujo antiguo
-  Flujo reciente
-  Asentamiento
-  Grietas



8504400
8504000
8503600
8503200
8502800
8502400

8504400
8504000
8503600
8503200
8502800
8502400

QUEBRADA THUNIYOG

D-1

D-2

Urb. Santa María

Urb. Larapa



EVALUACIÓN INGENIERO - GEOLÓGICA DEL CERRO PICOL
DISTRITO SAN JERÓNIMO - REGIÓN CUSCO

INGENMET

MOVIMIENTOS EN MASA

0 0.05 0.1 0.2 Km

1:6,000

WGS_1984_UTM Zona 19 Sur Mapa 04

186000

186400

186800

187200

4.3 ZONAS EVALUADAS

La cuenca media y cabecera de la quebrada Thuniyoq, constituyen una cárcava que tiene su desarrollo principal en el cerro Pícol. En este sector la cárcava se presenta de forma semicircular, con grietas tensionales en la cabecera. En la base se observa la acumulación de material coluvial producto de las caídas, derrumbes y deslizamientos pequeños; procesos que aceleran el avance de la cárcava. Hacia la quebrada se observan, en ambos flancos, pequeños deslizamientos, caídas de rocas y derrumbes, los que se encuentran activos. Es importante resaltar que la quebrada está cortada perpendicularmente por la falla activa de Tambomachay, discontinuidad que incide en el comportamiento geomecánico de los materiales que conforman las laderas de la quebrada.

Para una mejor descripción, la zona de estudio se dividió en tres zonas: Zona 1 (Deslizamiento Pícol), Zona 2 (Quebrada Thuniyoq), Zona 3 (Disipadores 1 y 2).

➤ **ZONA 1 (Cabecera de la cárcava – Cerro Pícol)**

La zona 1 corresponde a la cabecera de la cárcava de la quebrada Thuniyoq, cuyo avance retrogresivo es evidente, en forma de deslizamientos rotacionales y/o derrumbes. Ver Foto 04.

El deslizamiento de gran magnitud que profundizó la cárcava presenta las siguientes dimensiones:

Corona del deslizamiento	:	400 m
Ancho del deslizamiento	:	200 m
Longitud del deslizamiento	:	600 m aprox.
Pendiente del plano de deslizamiento	:	70°

En la cabecera se observan grietas tensionales con desniveles hasta de 7,5 m y cuya abertura de grieta llega a medir hasta 12 m (Foto 05). Las grietas principales se encuentran a una distancia de 30 y 65 m con respecto al escarpe de la cárcava (deslizamiento) y tienen longitudes de 235 y 110 m.

En ambos flancos de la cárcava, cercanas a la cabecera, se presentan deslizamientos secundarios, caídas y derrumbes, los cuales vienen depositando su material en la base de la quebrada.

Es importante mencionar que en la base del deslizamiento afloran aguas subterráneas (manantes).

*“Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol”
Distrito San Jerónimo – Región Cusco*



Foto 04: Imágenes que muestran el avance de la cárcava por derrumbes y deslizamientos: a) año 2009 y b) derrumbe en el flanco izquierdo suscitado el año 2010. Si estos pequeños derrumbes se producen en épocas de lluvia, se generaran flujos de detritos o lodo aguas abajo.



Foto 05: Escarpe menor de 7.5 m, ubicada en la cabecera de la cárcava.

En el flanco derecho de la cárcava se observan escarpes con un desnivel de 4 m, y grietas con una apertura de hasta 1 m (Foto 06); evidenciando la presencia de un deslizamiento rotacional. También se observa en la parte baja deslizamientos y desprendimientos.



Foto 06: Las flechas rojas indican los escarpes que se encuentran en el flanco derecho de la cabecera del deslizamiento.

En el flanco izquierdo se observan grietas con desniveles de 1m y 1,80 m en una longitud de 100 m, evidenciando la presencia de deslizamientos con riesgo a colapsar (Foto 07). En esta ladera también se presentan pequeños deslizamientos, caídas y procesos de erosión en surcos.



Foto 07: Flanco izquierdo con grietas y desniveles en el terreno.

En la escarpa y cuerpo del deslizamiento se observan procesos de erosión superficial, en forma de surcos y pequeñas cárcavas. Estos son causados por el escurrimiento de las aguas de precipitación pluvial sobre el material coluvial acumulado en la base del deslizamiento (Foto 08). Estos generan posteriores flujos de lodo que descienden por la quebrada Thuniyoq.

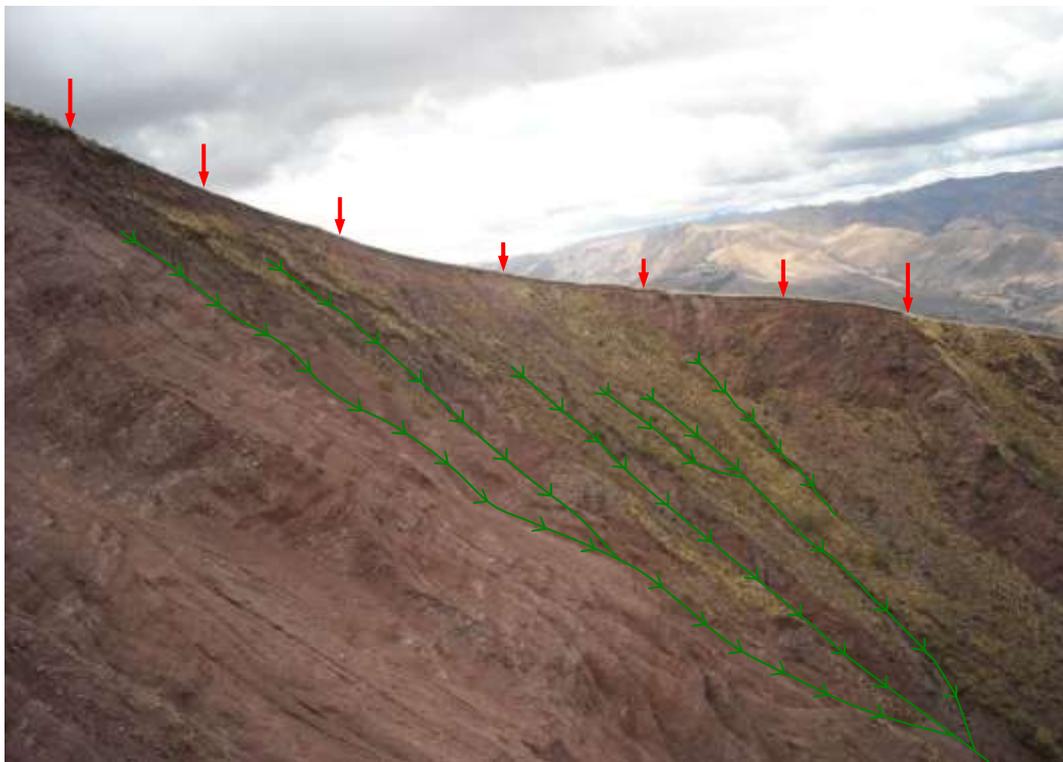


Figura 08: Erosión en surcos debido a la escorrentía superficial

➤ **ZONA 2 (Quebrada Thuniyoq)**

Esta zona tiene una longitud aproximada de 1 km, va desde la base de la cabecera de la cárcava (deslizamiento) hasta su desembocadura a la altura del dissipador 1. El ancho en la base de la quebrada varía entre 2,5 m y 7 m.

En esta zona se identificaron y cartografiaron derrumbes y deslizamientos en ambos márgenes de la quebrada, estos se producen mayormente en época de lluvias y algunos bloquean la base de la quebrada generando pequeños represamientos, que al colapsar generan pequeños flujos (Foto 09).

Los derrumbes y deslizamientos se producen por el socavamiento que generan los flujos que descienden por la quebrada y las aguas de escorrentía que se infiltran en las grietas laterales de la misma; aprovechando la mala calidad de las lutitas y areniscas de la Formación Kayra.



Foto 09: Deslizamientos en la margen derecha de la quebrada Thuniyoq, con procesos de socavamiento y surgencias de agua.

En el cauce de la quebrada se observan depósitos de flujos antiguos que provienen de la cabecera de la cárcava (deslizamiento). Estos forman terrazas en ambos márgenes de la quebrada (Foto 10), lo que indica que estos son procesos estacionarios que se presentan en época de precipitaciones pluviales (Noviembre a Abril).



Foto 10: Se observa en ambos flancos la evidencia de flujos que descendieron por la quebrada cuya altura de los depósitos y el ancho de la quebrada se observan en la imagen.

Se han realizado obras en varios tramos (presas de tabla estacas) para la acumulación de material y así poder controlar el arrastre y minimizar la velocidad del flujo: En la actualidad estas se encuentran colmatadas y destruidas como se muestra en la Foto 11.



a)



b)

Foto 11: En **a)** las flechas negras indican el dique de troncos original, las flechas rojas muestran los restos de los troncos que quedaron de la presa destruida y la línea verde marca la base de la presa y la incisión producida después de la destrucción de la presa de troncos; en **b)** se observa una presa de troncos colmatada y cuyos troncos se encuentran descompuestos a punto de destruirse. El estado de estas estructuras demuestra que estas funcionan, sólo hay que mantenerlas.

Actualmente se vienen realizando algunas obras por parte de la APV. Santa María, las que se encuentran mal diseñadas como el dique de concreto de medidas 3,8 m x 3,0 m x 0,4 m (Foto 12), que se ejecutó sin tomar en cuenta ningún estudio de diseño para el control de cárcavas y quebradas. El dique no reúne las condiciones para su funcionamiento.



Foto 12: Se observa en línea roja la longitud del muro de contención y en color azul la longitud de la base de la quebrada, vista tomada hacia aguas abajo.

En la base de la quebrada se construyó una caja de captación de agua, para consumo, la que es llevada por la quebrada Thuniyoq hacia la APV. Santa María (Foto 13). Esta puede ser destruida por un flujo.



Figura 13: Caja reservorio, recepciona las aguas que descienden de la quebrada Thuniyoq.

➤ **ZONA 3 (Disipadores 1 y 2)**

Este sector se ubica en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq. En este tramo se evaluó las condiciones en las que se encuentran los disipadores 1 y 2. Estructuras que colmataron el presente año, llegando a rebalsar parte del flujo.

El disipador 1, de 50 x 45 m de lado y 20 m de profundidad, se ubica en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq (Foto 14), su función es la de recepcionar todo el material que desciende por la quebrada en forma de flujos de lodo y/o detritos.

Hasta la fecha este disipador ha funcionado adecuadamente, encontrándose colmatado. Esto ha generado una alarma en la población ya que futuros flujos de material en período de lluvias podrían sobrellenar y generar desbordes. Como medida de prevención, el presente año se colocaron cercos de troncos para aumentar su altura y controlar a atenuar el desborde de material arrastrado, ya que el disipador 1 se rellenó. Actualmente se viene extrayendo material y profundizando el hueco por la municipalidad provincial (Foto 15). Es importante mencionar que estos diques funcionan, siempre y cuando se limpien después de cada temporada de lluvias.



Foto 14: Vista del disipador 1, ubicado en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq.



Foto 15: Vista del disipador 1 donde se viene extrayendo el material por las municipalidades.

Los flujos que se depositan en este disipador descienden con un gran contenido de agua, parte de este líquido se deriva por el canal de desfogue natural hacia el disipador 2.

El disipador 2 se encuentra a 650 m del disipador 1, es mucho más grande que el primero, y tiene capacidad para acumular mayor volumen de material (Foto 16). Se ubica en una antigua cantera de agregados, quedando una depresión de 240 m x 150 m de lado y 25 m de profundidad. Como este disipador no tiene desfogue, el agua se infiltra en el subsuelo, debido a que los materiales que forman este, son porosos y permeables. La infiltración puede ocasionar problemas de tubificación y/o sifonamiento interno por lavado, arrastre y erosión subsuperficial; procesos que pueden provocar problemas en las viviendas (rajaduras, hundimientos). Estos mismos problemas se presentan en el Disipador 1.



Foto 16: Vista aérea del disipador 2, las flechas negras demarcan el canal que proviene del disipador 1, la línea punteada demarca el límite del disipador colmatado y las flechas rojas marcan la zona de desborde (Marzo 2011).

*“Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol”
Distrito San Jerónimo – Región Cusco*

En la actualidad, el Disipador 2 se encuentra colmatado, poniendo en alerta a las viviendas que se encuentran aguas abajo. De producirse nuevos flujos, no tendrían una zona de contención adecuada y los materiales desbordarían, afectando todo lo que se encuentre delante (Foto 17).

Se observa en el flanco izquierdo del disipador, gran cantidad de material de desmonte y en el flanco derecho el muro de contención de una vivienda, los que vienen reduciendo las medidas del disipador (Foto 18).



a)



b)



c)

Foto 17: Disipador 2. **a)** Vista de perfil del disipador **b)** Aguas arriba, desembocadura y **c)** Zona de acumulación y parte baja del disipador.

Es importante mencionar, que en el avance de las urbanizaciones, se ha cerrado (ocupado por viviendas) el desfogue natural de la quebrada Thuniyoq. Hecho que puede ocasionar problemas graves, en las viviendas ubicadas en el cono de deyección de la quebrada, en caso de derrumbes y/o deslizamientos de gran magnitud en el cerro Pícol. Estos pueden ser detonados por sismos y/o lluvias excepcionales.

*“Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol”
Distrito San Jerónimo – Región Cusco*



Foto 18: Se observa en el flanco izquierdo arrojado de material de desmonte y en el flanco derecho el muro de contención de una vivienda, estos vienen reduciendo las dimensiones del disipador.

5. NEOTECTÓNICA

En el área de estudio se observa cuatro segmentos paralelos con direcciones NO-SE del Sistema de Fallas activas Tambomachay, dos de ellos cruzan en forma transversal el deslizamiento Pícol. El primer segmento ubicado en la parte alta de la corona del deslizamiento Pícol, aproximadamente a 4220 msnm, y formando un desnivel en la superficie de 3.5 m producto del movimiento de la falla (Foto 19). Un análisis microtectónico realizado recientemente en la falla nos indica que el último movimiento de esta fue de tipo normal.



Foto 19: Segmento ubicado a 4220 msnm, con un desnivel de 3.5 m, los análisis microtectónicos indican que esta falla es del tipo normal.

El segundo segmento de la falla, se extiende a lo largo de 2,5 km aproximadamente, cruzando el deslizamiento de la cabecera del Cerro Pícol. Su escarpe de falla mide entre 10 y 15 metros afectando depósitos coluviales recientes (Foto 20), el análisis microtectónico de la falla nos indica un movimiento de tipo normal con componente de rumbo sinestral. Además se puede observar que el plano propiamente dicho del deslizamiento es afectado por este segmento de falla (Foto 21).



Foto 20: Las flechas rojas indican el trazo de la falla en el flanco derecho del deslizamiento del cerro Pícol, que tiene un escarpe de aproximadamente 15 m, en la figura también se observa la corona del deslizamiento y las grietas tensionales ubicadas en la cabecera.



Foto 21: Las flechas rojas indican el segmento de la falla que afecta el plano del deslizamiento.

Asimismo, en la quebrada Thuniyoq se observó un tercer segmento, el cual afecta las rocas de la Formación Kayra hasta depósitos recientes, observamos que la roca del basamento se encuentra fracturada y estas están asociadas a la actividad de la falla. La falla se extiende a lo largo de 2,7 km y el análisis microtectónico nos indica que su último movimiento fue de tipo normal.

Finalmente, a 3580 msnm se observa el último segmento del Sistema de Falla Tambomachay, siendo esta la estructura mayor que bordea el flanco noreste de la cuenca del Cusco, y que se extiende a lo largo de 20 km, con escarpes de hasta 500 metros. Este segmento de falla afecta depósitos cuaternarios (Foto 22).



Foto 22: Las flechas rojas indican el escarpe de la Falla Tambomachay, vista tomada hacia el norte de la ciudad del Cusco.

*“Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol”
Distrito San Jerónimo – Región Cusco*

Trabajos sobre el Sistema de Fallas Tambomachay indican que se trata de una estructura activa desde el último millón de años (Cabrera, 1988 & Benavente et al., 2010) hasta la actualidad, tal como indican los sismos superficiales que ocurrieron en el mes de agosto del presente año y que fueron registrados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Según estudios de paleosismología realizados por Cabrera (1988) y Benavente et al., (2010) esta falla sería capaz de generar un sismo > a 6,5 grados de magnitud.

CONCLUSIONES

1. En el área de estudio afloran rocas de la Formación Kayra (Grupo San Jerónimo), compuestas por intercalaciones de areniscas feldespáticas y lutitas rojas; la orientación de la estratificación en este lugar es N150°, 48°NE. Estas rocas se encuentran alteradas, deformadas, falladas, fracturadas y diaclasadas producto de la tectónica regional. Lo que facilita el origen y/o reactivación de procesos de erosión hídrica (cárcavas) y movimientos en masa asociados a este (derrumbes, deslizamientos, caída de rocas y flujos de detritos).
2. Uno de los principales factores de desestabilización es el agua, producto de las precipitaciones pluviales que ocurren en la región y filtraciones (manantes).
3. El deslizamiento, que aceleró la cárcava en la cabecera del Cerro Pícol, es de tipo rotacional retrogresivo, de forma semicircular y con escarpas tensionales en la cabecera. En la base de este deslizamiento se observan depósitos coluviales inconsolidados.
4. En ambos flancos de la quebrada Thuniyoq se observan derrumbes y deslizamientos, así como procesos de erosión en cárcavas; en la base de la quebrada se encuentran depósitos de flujos de detritos.
5. Para una mejor descripción del área de estudio, se dividió en tres zonas críticas: **ZONA 1**, que corresponde a la cabecera de la quebrada Thuniyoq (Cerro Pícol), afectada por cárcavas aceleradas por un deslizamiento rotacional retrogresivo; **ZONA 2**, que corresponde al canal de la quebrada (flujos de detritos, erosión por cárcavas, derrumbes y deslizamientos); **ZONA 3**, zona que corresponde a los disipadores que se ubican en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq (flujos de detritos y asentamientos).
6. El Sistema de Fallas Tambomachay viene a ser una estructura activa desde el último millón de años. Esta falla sería capaz de generar un sismo > a 6,5 grados de magnitud (peligro sísmico alto).
7. Los eventos dentro de la quebrada Thuniyoq, tienen como origen la erosión hídrica formándose cárcavas profundas e inestabilizando las laderas de la quebrada. Los principales factores que condicionan la erosión hídrica son: son: 1) Litología del substrato (rocas de mala calidad, falladas, muy fracturadas, diaclasadas y alteradas); 2) laderas sin cobertura vegetal; 3) pendiente pronunciada de la ladera (60-70%). Las cárcavas de la quebrada Thuniyoq pueden ser aceleradas por 1) lluvias de gran intensidad (erosión superficial); 2) presencia de manantes en la quebrada; 3) sismos (falla activa de Tambomachay); 4) acción antrópica (mano del hombre).
8. El avance de las urbanizaciones, ha cerrado (ocupado por viviendas) el desfogue natural de la quebrada Thuniyoq. Hecho que puede ocasionar problemas graves, en las viviendas ubicadas en el cono de deyección de la quebrada.
9. Por lo expresado líneas arriba, el deslizamiento del cerro Pícol y la quebrada Thuniyoq constituyen **Peligro Inminente** para las urbanizaciones Santa María y Larapa.

RECOMENDACIONES

1. Construir zanjas de coronación (impermeabilizadas) sobre la cabecera del deslizamiento en el cerro Pícol, con la finalidad de coleccionar las aguas de las lluvias y drenarlas hacia una quebrada alterna o por canales de derivación, evitando que se infiltren en las grietas y escarpes (Ver anexo).
2. Construcción de zanjas de desvíos de aguas en los flancos del deslizamiento con la finalidad de coleccionar las aguas de las lluvias y las transporte hacia la parte externa del deslizamiento, de manera que no se vea afectado el deslizamiento propiamente dicho.
3. Se deberá construir diques escalonados de madera en las cabeceras de las cárcavas. Ya colmatados estos diques se procederá a repoblar con árboles y/o arbustos como medida de estabilización (Ver anexo).
4. En las zonas de erosión de laderas y derrumbes se deben colocar mallas de alambre tejidas a doble torsión. Estas zonas de erosión de laderas y derrumbes comprenden áreas de grandes dimensiones por lo que su tratamiento será sumamente oneroso, debiendo aplicarse en zonas prioritarias (Ver anexo).
5. En zonas donde los taludes presentan pendiente moderada a fuerte se deberán colocar biotrampas de madera, luego de llenada (sedimentadas) las trampas se forestaran con plantas nativas (chachacomo, queuña, etc) y/o arbustos (Ver anexo).
6. En la quebrada Thuniyoq se deberá construir presas escalonadas de retención de sedimentos, estas pueden ser presas abiertas o presas cerradas (Ver anexo). Para su construcción se deberá tomar en cuenta la forma y dimensión de la quebrada. Estas presas pueden ser presas de gaviones o ser presas de cimentación ciclópea.
7. Colocar mallas de doble torsión, que viene a ser un sistema complejo de paneles en cable y red metálica de doble torsión para la contención de bloques que sean arrastrados por los flujos (Ver anexo).
8. Extraer periódicamente el material de los disipadores 1 y 2, ya que se encuentran colmatados.
9. Prohibir el arrojado de material de desmonte en el disipador 2.
10. En los disipadores 1 y 2 se deberá construir grandes infraestructuras que servirán para recepcionar los flujos provenientes de la quebrada Thuniyoq, con un sistema para evacuar el agua del fluido y evitar que estos se infiltren.
11. Profundizar e impermeabilizar los bordes y la base de los disipadores con geotextil para evitar la infiltración de las aguas.
12. Realizar estudios geofísicos para determinar profundidad del nivel freático en las Urbanizaciones de Santa María y Larapa.

*“Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol”
Distrito San Jerónimo – Región Cusco*

13. Construir un canal de derivación del agua que desciende de la quebrada y guiar su desembocadura al río Huatanay.
14. Implementar un sistema de alerta temprana para futuros huaycos o flujos de lodo.
15. Demarcar las zonas de seguridad para el caso de huaycos.
16. Capacitar y concientizar a los habitantes de las Urb. Santa María y Larapa sobre los peligros a los que están expuestos.

REFERENCIAS

BENAVENTE, C. & TAPE, E. (2010): Monitoreo de fallas activas en la región del Cusco. Informe interno del INGEMMET, 50 p.

CABRERA, J. (1988). Néotectonique et Sismotectonique su niveau de la Subduction Perou. These Dr. Universidad Paris. XI-Orsay-Francia, 275 p.

CARLOTTO, V.; CARDENAS, J. & CARLIER, G. (2011). Geología del cuadrángulo de Cusco 28-s – 1:50000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258 p.

CÓRDOVA, E. (1986). Un bassin intramontagneux andin peruvien. Les couches rouges du basin de Cusco (Maestrichtien-Paleocene). Docteur du 3ème cycle, Université de Pau et des Pays de L ‘Adour, Laboratoire de Geodynamique des Bassins Sedimentaries, Pau, 272 p.

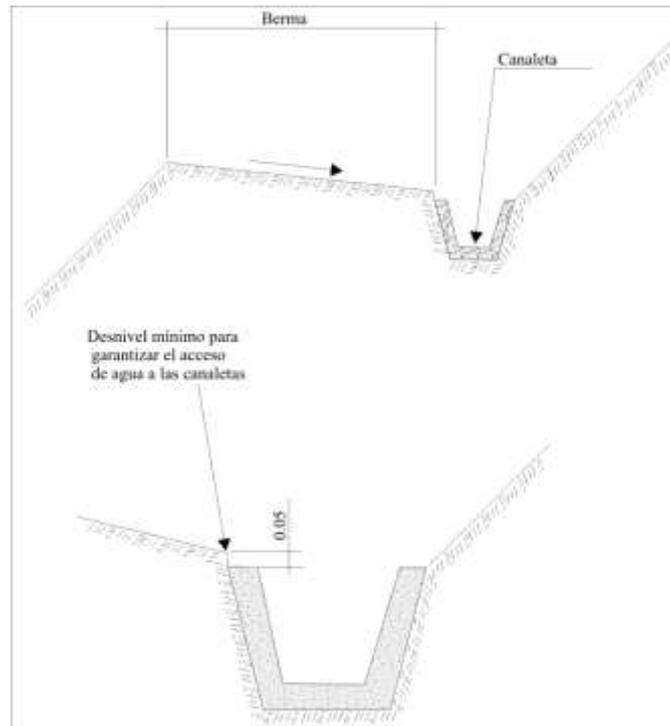
GREGORY, H.E. (1916). A geologic reconnaissance of the Cuzco valley, Perú. American Journal of Science, 37:289-298

Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007), Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas, Canada, 404 p.

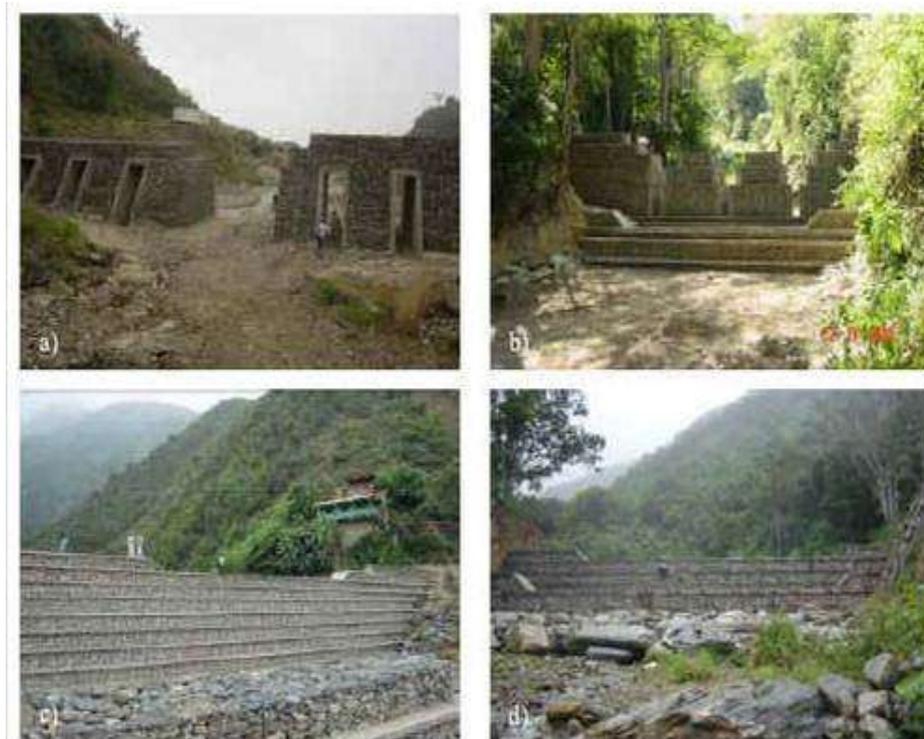
VARNES, D.J. (1978), Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9-33.

ANEXOS

*“Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol”
Distrito San Jerónimo – Región Cusco*



Detalle una canaleta de drenaje superficial (Zanjas de coronación).



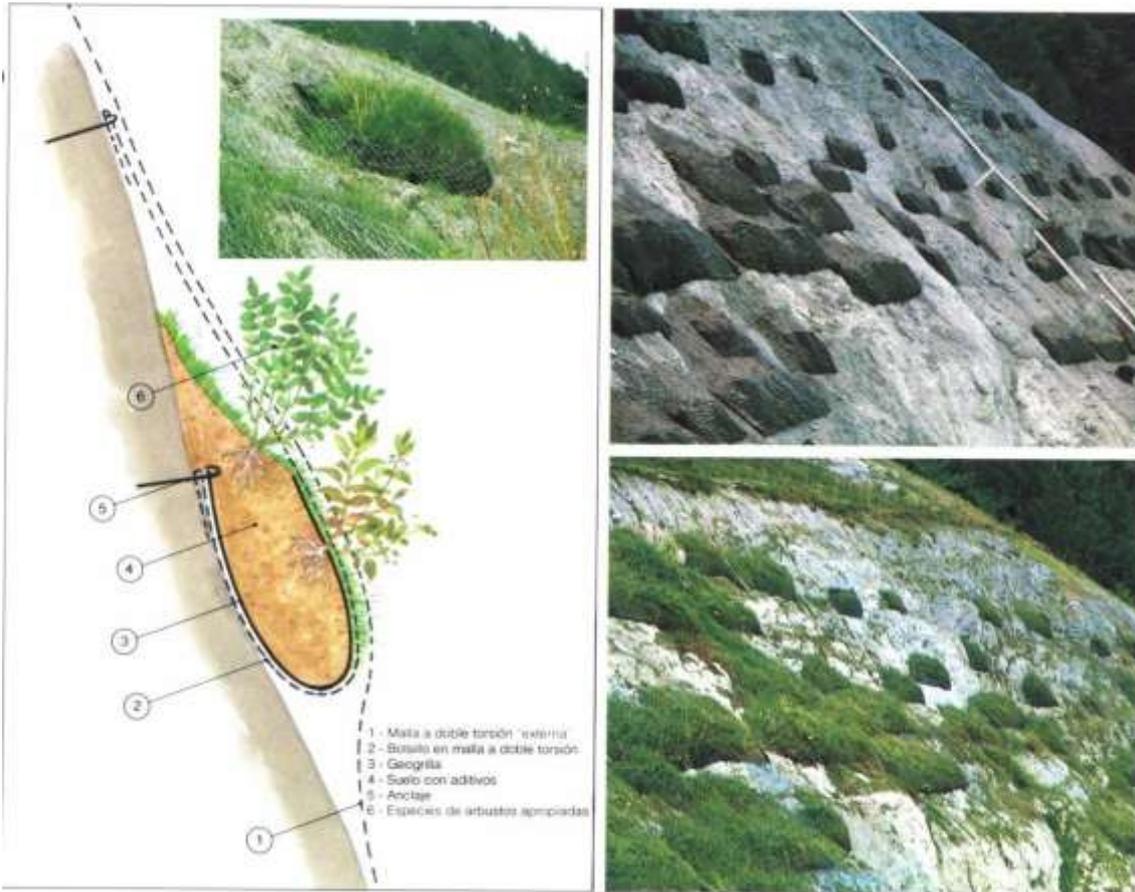
Ejemplos de presas de retención de sedimentos. Las figuras a) y b) son ejemplos de presas abiertas (ranuradas); las figuras c) y d) son ejemplos de presas cerradas.



Modelo de una presa de retención abierta ranurada



Diques de madera en las cabeceras de cárcavas. Después de ser llenado por sedimentos, se plantara arbustos para estabilizar tanto el talud



Mallas tejidas de alambre a doble torsión, con bolsillos llenados con suelo y semillas. En la figura se detalla: 1. Malla a doble torsión externa; 2. Bolsillo en malla a doble torsión; 3. Geo-grilla; 4. Suelo con aditivos; 5. Anclaje; 6. Especies de gramíneas y arbustos de la zona.



Biotrampas de madera, luego de llenada (sedimentada) las trampas se podrá forestar con plantas nativas y así dar mayor estabilidad al terreno

LISTADO DE FOTOS Y MAPAS

FOTOS

- Foto 01: Se observa la estratificación de la Formación Kayra
- Foto 02: Depósitos proluviales en el disipador 1, en la imagen se observan también las terrazas proluviales T-1 y T-2
- Foto 03: Depósitos coluviales en la base del deslizamiento.
- Foto 04: Imágenes que muestran el avance de la cárcava por derrumbes y deslizamientos: a) año 2009 y b) derrumbes en el flanco izquierdo suscitado el año 2010. Si estos pequeños derrumbes se producen en épocas de lluvia, se generaran flujos de detritos o lodo aguas abajo.
- Foto 05: Escarpe menor de 7.5 m, ubicada en la cabecera de la cárcava.
- Foto 06: Las flechas rojas indican los escarpes que se encuentran en el flanco derecho de la cabecera del deslizamiento.
- Foto 07: Flanco izquierdo con grietas y desniveles en el terreno.
- Foto 08: Erosión en surcos debido a la escorrentía superficial
- Foto 09: Deslizamientos en la margen derecha de la quebrada Thuniyoq, con procesos de carcavamiento y surgencias de agua.
- Foto 10: Se observa en ambos flancos la evidencia de flujos que descendieron por la quebrada cuya altura de los depósitos y el ancho de la quebrada se observan en la imagen.
- Foto 11: En **a)** las flechas negras indican el dique de troncos original, las flechas rojas muestran los restos de los troncos que quedaron de la presa destruida y la línea verde marca la base de la presa y la incisión producida después de la destrucción de la presa de troncos; en **b)** se observa una presa de troncos colmatada y cuyos troncos se encuentran descompuestos a punto de destruirse. El estado de estas estructuras demuestran que estas funcionan, solo hay que mantenerlas.
- Foto 12: Se observa en línea roja la longitud del muro de contención y en color azul la longitud de la base de la quebrada, vista tomada hacia aguas abajo.
- Foto 13: Caja reservorio, recepciona las aguas que descienden de la quebrada Thuniyoq
- Foto 14: Vista del disipador 1, ubicado en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq.
- Foto 15: Vista del disipador 1 donde se viene extrayendo el material por las municipalidades.
- Foto 16: Vista aérea del disipador 2, las flechas negras demarcan el canal que proviene del disipador 1, la línea punteada demarca el límite del disipador colmatado y las flechas rojas marcan la zona de desborde (Marzo 2011).
- Foto 17: Disipador 2. **a)** Vista de perfil del disipador **b)** Aguas arriba, desembocadura y **c)** Zona de acumulación y parte baja del disipador.
- Foto 18: Se observa en el flanco izquierdo arrojado de material de desmonte y en el flanco derecho el muro de contención de una vivienda, estos vienen reduciendo las dimensiones del disipador.
- Foto 19: Segmento ubicado a 4220 msnm, con un desnivel de 3.5 m, los análisis microtectónicos indican que esta falla es del tipo normal.
- Foto 20: Las flechas rojas indican el trazo de la falla en el flanco derecho del deslizamiento del cerro Pícol, que tiene un escarpe de aproximadamente 15 m, en la figura también se observa la corona del deslizamiento y las grietas tensionales ubicadas en la cabecera.
- Foto 21: Las flechas rojas indican el segmento de la falla que afecta el plano del deslizamiento.
- Figura 22: Las flechas rojas indican el escarpe de la Falla Tambomachay, vista tomada hacia el norte de la ciudad del Cusco.

*“Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol”
Distrito San Jerónimo – Región Cusco*

MAPAS

- Mapa 01: Ubicación.
- Mapa 02: Geomorfológico.
- Mapa 03: Geológico.
- Mapa 04: Movimientos en Masa.