

# DESLIZAMIENTOS DEL CERRO PICOL: IMPLICANCIAS GEODINÁMICAS Y NEOTECTÓNICAS

Delgado F.<sup>1</sup>, Tito V.<sup>2</sup>, Del Castillo B.<sup>1</sup> & Benavente C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima, Perú. [gdelgado@ingemmet.gob.pe](mailto:gdelgado@ingemmet.gob.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco UNSAAC, Av. De la Cultura N° 733, Cusco.

## INTRODUCCION

La zona de estudio se encuentra en el cerro Picol y la quebrada Thuniyoq, ubicados 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 (Figura 01). En la desembocadura de esta quebrada, se encuentran las urbanizaciones Santa María y Larapa, las cuales están expuestas a flujos de detritos y lodo que descienden cada año por esta quebrada y colmatan los dos disipadores, generando desbordes, como los ocurridos el año 2010, producto de las intensas precipitaciones pluviales, provocando alarma general en estas urbanizaciones; además, en la parte superior del cerro Picol, se observan grietas de tensión, que generan gran temor ante un posible derrumbe y posterior flujo de detritos y lodo. Estos eventos podrían ser detonados por fenómenos climáticos o por eventos tectónicos (i.e sismos).



Figura 01: Mapa de ubicación, el elipse demarca la zona de estudio (cerro Picol y quebrada Thuniyoq), también la línea roja muestra el segmento sur de la falla Tambomachay.

La zona de estudio se encuentra ubicada en las montañas del Cusco y la quebrada Thuniyoq (al Noreste de la ciudad del Cusco) que desemboca en la base de la cuenca del Cusco. En esta zona aflora la Formación Kayra, la cual está constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas, su orientación es N150° y 48°NE. Las rocas del Grupo San Jerónimo se encuentran alteradas deformadas, fracturadas y diaclasadas, producto de la tectónica regional (Carlotto et al., 2011); y los depósitos cuaternarios compuestos por depósitos aluviales, proluviales y coluviales están afectados por la falla Tambomachay. Asimismo, tomando como base la clasificación de Varnes (1978) y Cruden y Varnes (1996) y la terminología sobre movimientos en masa en la región andina preparado por el Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007), se observaron deslizamientos, derrumbes, flujos de detritos y procesos de erosión hídrica como las cárcavas (Figura 02).

## Descripción de los movimientos en masa

La cuenca media y la cabecera de la quebrada Thuniyoq constituyen una cárcava que tiene su desarrollo principal en el cerro Picol. 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 los derrumbes y deslizamientos pequeños. Estos procesos aceleran el avance de la cárcava. Hacia la quebrada, se observa, en ambos flancos, pequeños deslizamientos, caídas de rocas y derrumbes, que se encuentran activos. Es importante resaltar que la quebrada está cortada perpendicularmente por la falla activa Tambomachay, discontinuidad que incide en el comportamiento geomecánico de los materiales que conforman las laderas de la quebrada (Delgado, 2011). Para analizar a detalle, el área de estudio se dividió en tres zonas: Zona 1 (Deslizamiento Picol), Zona 2 (Quebrada Thuniyoq), Zona 3 (Disipadores 1 y 2).

## Zona 1 (Cabecera de la cárcava – cerro Picol)

La Zona 1 corresponde a la cabecera de la cárcava de la quebrada Thuniyoq, cuyo avance retrogresivo es evidente en forma de deslizamientos y/o derrumbes (Figura 03). El deslizamiento de gran magnitud, que profundizó la cárcava, presenta las siguientes dimensiones:

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

En la cabecera, se observan grietas tensionales con desniveles de hasta de 7,5 m y cuya abertura de grieta llega a medir hasta 12 m (Figura 04). Las grietas principales se encuentran a una distancia de 30 m y 65m con respecto al escarpe de la cárcava (deslizamiento) y tienen longitudes de 235 m, y 110m, respectivamente. En ambos flancos de la cárcava, cerca de la cabecera, se presenta deslizamientos secundarios 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 (manantiales).

En el flanco derecho de la cárcava se observa escarpes con un desnivel de 4 m, y grietas con una apertura de 1m, evidenciando la presencia de un deslizamiento rotacional. También se observa en la parte baja deslizamientos y derrumbes. En el flanco izquierdo se observa grietas con desniveles de 1m y 1,80m en una longitud de 100m, evidenciando la presencia de deslizamientos con posibilidad a colapsar. En esta ladera, también se presentan pequeños deslizamientos, derrumbes y procesos de erosión en surcos.

### **ZONA 2 (Quebrada Thuniyoq)**

En esta zona se identificó y cartografió derrumbes y deslizamientos en ambas márgenes de la quebrada. Estos fenómenos se producen, mayormente, en época de lluvias y algunos bloquean la quebrada, generando pequeños represamientos, que originan flujos de detritos y lodo. Los derrumbes y deslizamientos se producen por el socavamiento que generan los flujos al descender 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. En el cauce de la quebrada, se observan depósitos de flujos antiguos que provienen de la cabecera de la cárcava (deslizamiento) (Figura 05).

Se ha realizado obras (presas de troncos y estacas) en varios tramos de la quebrada para la acumulación de material y así poder controlar el arrastre y minimizar la velocidad del flujo en su descenso. En la actualidad, estas obras se encuentran colmatadas y en algunos casos destruidas. Los habitantes de la APV. Santa María vienen realizando algunas obras (muros de contención) sin tomar en cuenta ningún estudio de diseño para el control de cárcavas y quebradas, por ende, no reúne las condiciones para su funcionamiento.

### **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 (Figura 02). Estructuras que se colmataron el año 2011, llegando a rebalsar parte del flujo.

El *disipador 1*, de 50 m x 45m de lado y 20m de profundidad, se ubica en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq (Figura 02), su función es la de recepcionar el material que descende por la quebrada en forma de flujos de lodo y/o detritos. Este disipador ha funcionado adecuadamente, pero en la actualidad se encuentra colmatado. Esto genera una alarma en la población, ya que futuros flujos de detritos y/o lodo o flujos torrenciales en período de lluvias podrían generar desbordes. Como medida de prevención, el presente año se colocaron cercos de troncos para aumentar su altura y controlar el desborde de material arrastrado. Cada año, la municipalidad provincial del Cusco viene extrayendo el material depositado y en la actualidad se está profundizando el disipador para futuros eventos. Los materiales que se depositan en este disipador descenden con un gran contenido de agua, parte de este líquido y los materiales arrastrados se derivan por el canal de desfogue natural hacia el siguiente disipador.

El *disipador 2* se encuentra a 650 m del disipador 1, es mucho más grande que el primero, y por ende tiene la capacidad para acumular mayor volumen de material. Se ubica en una antigua cantera de agregados, quedando una depresión de 240m x 150m de lado y 25m de profundidad. El año 2011 este



Foto 03: Cabecera de la cárcava. La flecha roja muestra un derrumbe suscitado el año 2010, que determina el avance retrogresivo por derrumbes y deslizamientos.



Figura 06: 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).

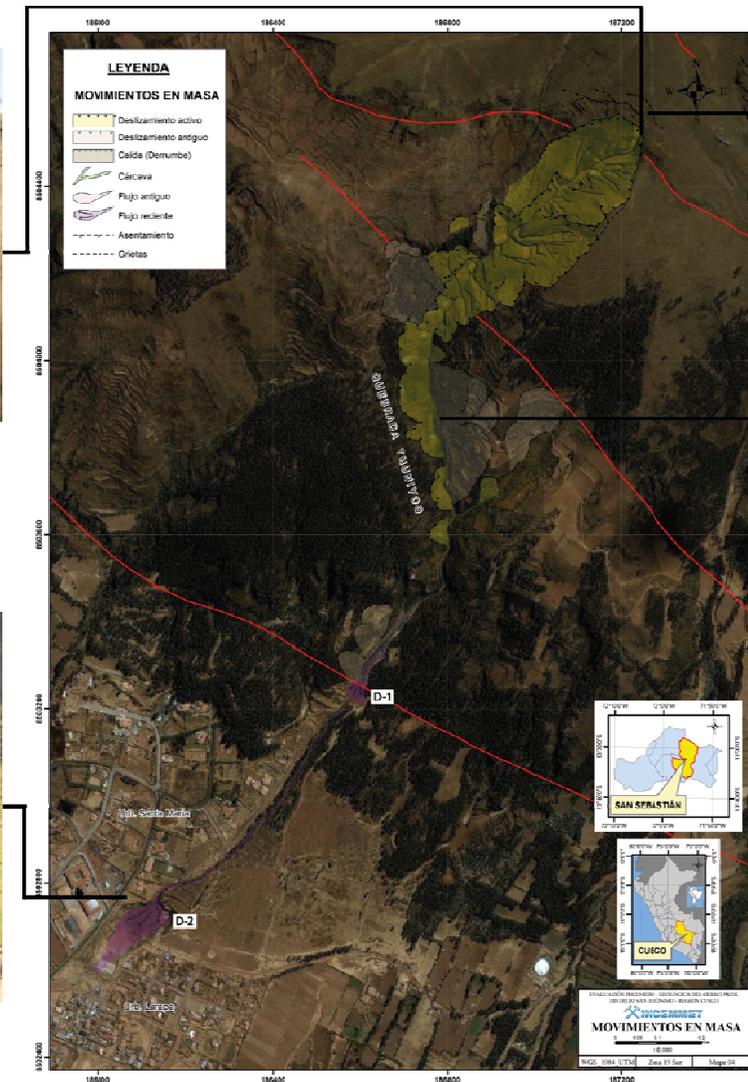


Figura 02: Mapa de inventario de movimientos en masa. En líneas de color rojo se muestra los segmentos de las trazas del Sistema de Fallas Tambomachay. D1 y D2 vienen a ser los disipadores de energía.



Foto 04: Escarpe menor de 7.5 m ubicada a 30 m del escarpe de la cárcava.



Foto 05: Base de la quebrada Thuniyoc, donde se observan terrazas aluviales, que indican la evidencia de flujos que descendieron por esta quebrada.

disipador se colmató, llegando a desbordar parte del material arrastrado. Este disipador al no presentar ningún desfogue natural, condiciona que el agua se infiltre en el subsuelo, debido a que los materiales que conforman este disipador son depósitos aluviales (materiales 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 aledañas (rajaduras, hundimientos). En la actualidad, este disipador 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 el disipador y cauce, afectando todo lo que se encuentre delante.

Se observa gran cantidad de material de desmonte en el flanco izquierdo del disipador, y en el flanco derecho un muro de contención de una vivienda. Estos factores reducen la capacidad del disipador. Es importante mencionar, que debido al aumento de viviendas en las urbanizaciones, se ha cerrado el desfogue natural que movilizaba las aguas que descendían por la quebrada Thuniyoq, desembocando estas en el río Huatanay. Este hecho 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, detonados por sismos y/o lluvias excepcionales.

### **NEOTECTÓNICA- FALLA DE TAMBOMACHAY**

En el área de estudio se observa cuatro segmentos paralelos con direcciones NO-SE del Sistema de Fallas activas Tambomachay. El primer segmento está ubicado en la parte alta de la corona del deslizamiento Pícol, aproximadamente a 4220 msnm, y formando un desnivel en la superficie de 3.5m producto del movimiento de la falla. Un análisis microtectónico realizado recientemente en la falla indica que el último movimiento de ésta fue de tipo normal (Delgado, 2010).

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 m y 15 m afectando depósitos coluviales recientes (Figura 07). El análisis microtectónico de la falla indica un movimiento de tipo normal con componente de rumbo sinistral. Además, se puede observar que el plano propiamente dicho del deslizamiento es afectado por este segmento de falla (Delgado, 2011).



Figura 07: Las flechas rojas indican el segundo segmento del sistema de fallas Tambomachay, cruzando la cabecera de la cárcava.

En la quebrada Thuniyoq se observó un tercer segmento, el cual afecta depósitos recientes. Se observa que la roca del basamento se encuentra fracturada y estas fracturas están asociadas a la actividad de la falla. La falla se extiende a lo largo de 2,7 km y el análisis microtectónico indica que su último movimiento fue de tipo normal (Delgado, 2011).

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 m. Este segmento de falla afecta depósitos cuaternarios.

Estudios sobre el Sistema de Fallas Tambomachay indican que se trata de una estructura activa desde el último millón de años (Cabrera, 1988 & Benavente y Taype, 2010) hasta la actualidad, tal como indican los sismos superficiales, registrados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), que ocurrieron entre los meses de agosto-octubre del 2011 y enero-marzo del presente año, Según estudios de paleosismología realizados por Cabrera (1988) y Benavente y Taype, (2010), esta falla sería capaz de generar sismos de magnitud  $>$  a 6,5 Mw.

## **DISCUSION**

El análisis morfo-estructural de la Falla Tambomachay indica que el segmento norte tiene evidencias de reactivaciones más recientes. Todo lo contrario con el segmento sur, que aparentemente no hay actividad reciente con ruptura de superficie hacia el pie del deslizamiento. Ello conlleva a generar un escenario mayor con los datos de la falla, la geometría del deslizamiento y la magnitud máxima posible del sismo que podría generar la falla, asimismo, no podemos dejar de lado el factor climático que es también un condicionante importante para la reactivación del deslizamiento.

Los lugares susceptibles a desprendimientos se ubican en dos sectores. El primero se encuentra encima de la cárcava, viene a ser las grietas tensionales ubicadas a 30 m y 65m con respecto a la cabecera de la cárcava y tienen longitudes de 235 m y 110m respectivamente. Estas grietas, al producirse un sismo facilitarían la movilización de un volumen aproximado de 1500000 m<sup>3</sup> de material. El segundo Sector susceptible se encuentra en la margen izquierda de la cárcava, donde se observan escarpes de 1 m y 1.8m, en una longitud de 100m. De producirse la reactivación de los segmentos sur de la Falla Tambomachay, se movilizaría un volumen aproximado de 85000m<sup>3</sup> que bloquearía la base de la quebrada Thuniyoq. Un movimiento telúrico también generaría varios deslizamientos y derrumbes menores a lo largo de la quebrada Thuniyoq.

Sumando las condiciones adecuadas de las precipitaciones pluviales y la sobresaturación del terreno por agua, se generarían movimientos compuestos (deslizamiento y/o derrumbes, flujos de detritos y de lodo), que arrastrarían un volumen aproximado de 1'600,000m<sup>3</sup> que descenderían por la quebrada Thuniyoq hasta su desembocadura, relleno y desbordando los disipador 1 y 2, los disipadores no tienen la suficiente capacidad para contener el material movilizado, afectando a las urbanizaciones emplazadas en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq. Este cálculo, se realiza teniendo como antecedentes el derrumbe del año 2010, cuando una parte de la cabecera de la cárcava se derrumbó y movilizó aproximadamente 10,000m<sup>3</sup>, generando alarma general en las viviendas aledañas a la desembocadura. Este evento sólo relleno el disipador 1 y parte del disipador 2. También, se tomó como dato los constantes flujos de detritos y lodo que descienden cada año por la quebrada Thuniyoq y rellenan los disipadores, llegando algunos años a desbordarlos.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con un sismo de magnitud mayor a 6.5 Mw, superficial y con ruptura del terreno y desplazamiento en superficie, más el grado de alteración, fracturamiento y diaclasamiento de las rocas de la formación Kayra, se generaría un desprendimiento violento de las zonas catalogadas como susceptibles, movilizándose un volumen aproximado de 1'600,000m<sup>3</sup>, los cuales generarían flujos de detritos y lodo que rellenan los disipadores 1 y 2, provocando desbordes que afectarían a las viviendas emplazadas en la desembocadura de la quebrada Thuniyoq.

Para reducir la magnitud del impacto negativo de futuros eventos, se recomienda construir, a lo largo de la quebrada Thuniyoq: presas escalonadas de retención de sedimentos, detritos, etc. Estas pueden ser presas abiertas o presas cerradas, ya sean de gaviones o de cimentación ciclópea; tomando en cuenta la morfología y dimensión de la quebrada, sistemas de drenaje para la captación de aguas de lluvia, obras para el control de cárcavas y trabajar en la sensibilización de los pobladores a los peligros naturales que están expuestos.

## **REFERENCIAS**

- BENAVENTE, C. Y TAIPÉ, 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., CÁRDENAS, J., Y CARLIER, G. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s- 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p.
- CÓRDOVA, E. (1986). Un bassin intramontagneux andin peruvien. Les couches rouges du bassin de Cusco (Maestrichtien-Paleocene). Docteur du 3ème cycle, Université de Pau et des Pays de L'Adour, Laboratoire de Géodynamique des Bassins Sédimentaires, Pau, 272 p.

- CRUDEN DM. Y VARNES DJ (1996). Landslide types and processes. In: Turner AK, Schuster RL (eds) Landslides: investigation and mitigation (Special Report). Washington, DC, USA: National Research Council, Transportation and Research Board Special Report 247, pp 36–75.
- DELGADO, F. (2011). Evaluación Ingeniero-Geológica del Cerro Pícol, Distrito San Jerónimo-Región Cusco. Informe Técnico N° A6583 DGAR-INGEMMET, 38 p.
- 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, 404p.
- 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.