

REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET

DIRECCION DE GEOLOGIA REGIONAL

INFORME TECNICO



**GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA EN LA QUEBRADA QENQO:
ALUVIONES QUE AFECTARON ZURITE-CUSCO (2010)**

Por: Victor Carlotto
Ronald Concha
José Cárdenas
Briant Garcia
Chantal Villafuerte

 **INGEMMET**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL CUSCO



Mayo, 2010
LIMA - PERÚ

I. INTRODUCCIÓN

En la quebrada Qenqo del distrito de Zurite, provincia de Anta, el día 28 de enero del 2010 ocurrió un fenómeno geodinámico de movimientos en masa. En la parte alta del cerro Llamacancha la reactivación de un deslizamiento de tipo rotacional, originó una serie de flujos de lodos detritos que descendieron por la quebrada y afectaron al poblado de Zurite.

Los deslizamientos y flujos que se iniciaron el día 28 de enero, continuaron los días 6 y 13 de febrero, pero cada uno de los cuales tuvo distintas intensidades. Estos fenómenos produjeron múltiples daños y afectó a gran parte de la población de Zurite, ya que destruyó viviendas, áreas de cultivo e infraestructura urbana, tales como puentes, vías asfaltadas, postes, canales, etc.

El día 8 de marzo un equipo de geólogos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET y de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco-UNSAAC realizaron el diagnóstico y evaluación de este fenómeno, logrando identificar las causas que lo originaron y a partir del cual proponen algunas recomendaciones.

1.1. Ubicación

La quebrada Qenqo se localiza en el distrito de Zurite, provincia de Anta y región Cusco. La quebrada Qenqo tiene una dirección noroeste-sureste (Figs. 1 y 2). Uno de sus tributarios, donde se reactivó el deslizamiento, nace a una altura de 4255 msnm, y su cauce en la parte baja que pasa por el poblado de Zurite, se halla a una altura de 3400 msnm.



Fig 1. Ubicación de la quebrada Qenqo al norte del poblado de Zurite.

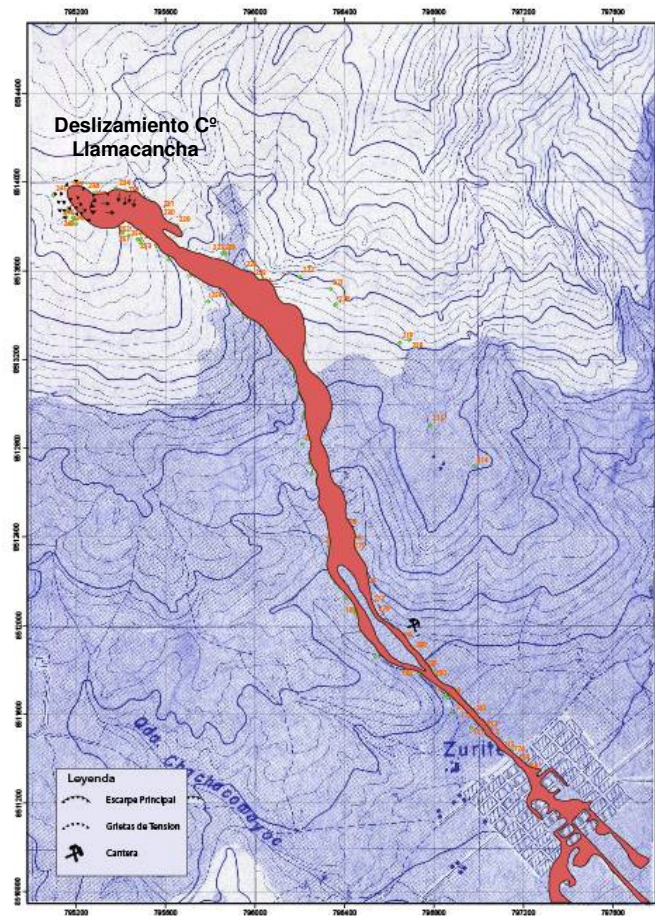


Fig. 2. Mapa mostrando el deslizamiento Llamayoc y el flujo (rojo) producido el 28 de enero y 6 de febrero 2010.

1.2. Clima

Zurite se emplaza en el borde de la Pampa de Anta (3400 msnm), al límite de un relieve montañoso que sobrepasan los 4000 msnm. En este contexto, el clima está caracterizado por la alternancia de una estación seca que va de abril a agosto, y otra con precipitaciones pluviales incipientes entre septiembre y diciembre, y finalmente, tres meses con mucha lluvia, es decir de enero a marzo. La biotemperatura anual media es de 11.3° C y la mínima es de 7.1 °C, el promedio máximo de precipitación anual es de 670 mm y la mínima es de 226 mm. Sin embargo, en enero, febrero y marzo del 2010 las precipitaciones fueron muchos mayores y superaron largamente los 1000 mm. Estas precipitaciones tuvieron mucho que ver con los deslizamientos y huaycos ocurridos en Zurite y en general en la región de Cusco.

1.3 Objetivos

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la geología y la geodinámica externa de los movimientos en masa ocurridos en Zurite los meses de enero y febrero, con la finalidad de evaluar de este fenómeno, lograr identificar las causas que lo originaron proponer las recomendaciones necesarias.

II. GEOMORFOLOGIA

Desde el punto de vista regional Zurite y la zona del deslizamiento y flujo se localizan al límite del Altiplano y la Cordillera Oriental (Fig. 3). La Cordillera Oriental se halla al norte de Zurite y es una zona morfo estructural fuertemente individualizada con relieves que llegan hasta los 5000 msnm. La unidad esta bordeada por el sistema de fallas E-O a NE-SO de Zurite que los separa del Altiplano, esta última caracterizada por la Pampa de Anta. Es en esta zona plana donde está asentado el poblado de Zurite a 3400 msnm. El relieve diferencial entre las montañas y la zona plana se debe al efecto de la falla de Zurite.

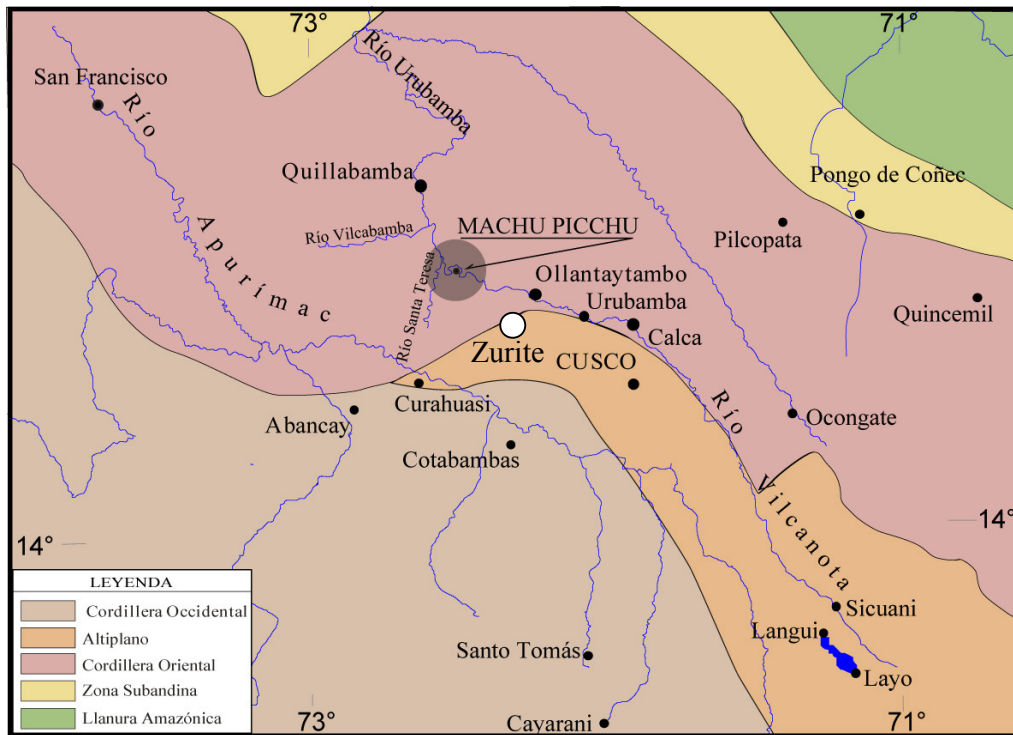


Fig. 3. Mapa Geomorfológico Regional

La Pampa de Anta

Es una amplia planicie alargada de aproximada 30 km x 10 km situada entre los 3300 y 3400 msnm. El material de relleno es principalmente lacustre y la planicie es el resultado de la existencia de una antigua laguna desarrollada en el Pleistoceno medio al Holoceno, es decir entre 3 millones de años y 10,000 años (Cabrera, 1988). Sin embargo, hasta la actualidad y más recientemente hasta los años 70, esta planicie mostraba restos de la laguna y se comportaba como un gran humedal que fue progresivamente secado para utilizar los terrenos en la agricultura. Debido a las lluvias de este año, muchos sectores de la Pampa de Anta recuperaron sus espejos de aguas formando humedales. Zurite se localiza en el borde NO de la Pampa de Anta y cerca de una ladera algo empinada, sobre un cono aluvial antiguo (Fig. 4).

Ladera

Corresponde a la Ladera entre la Pampa de Anta (3400 msnm) y las Montañas Norte que sobrepasan los 4000 msnm. Esta geofoma tiene pendientes que van desde el 15 hasta el 50%, es bastante escarpada (Fig. 4) ya que es el resultado de la actividad tectónica cuaternaria

debido al sistema de fallas de Zurite. La pendiente y las rocas altamente fracturadas favorecen a la formación de cárcavas y deslizamientos, y un ejemplo es el recientemente ocurrido a principios de año y que es motivo del presente estudio.

Las Montañas Norte

Se encuentran al norte de la Pampa de Anta. Es una zona prominente que domina el paisaje. Tiene elevaciones que alcanzan los 4800 msnm, con relieves abruptos donde la pendiente varía entre 40 y más de 50%. Domina la presencia de rocas sedimentarias del Grupo San Jerónimo conformadas por areniscas, los que son buenos acuíferos, de allí la presencia de muchos manantiales.

Conos aluviales

Son geformas en forma de abanicos que resultan por la depositación de los aluviones cuando estos desembocan en zonas planas, como es el caso entre las Montañas Norte y la Pampa de Anta. Zurite está edificada sobre un cono aluvial (Fig. 4). Estos conos o abanicos se han originado en periodos lluviosos, siendo alguno de ellos todavía activos como el de la quebrada Qenqo que afectó Zurite. Estos conos están formados por depósitos de aluviones o huaycos, los que están compuestos por fragmentos y bloques de rocas, en una matriz arcillosa. La pendiente de estos terrenos fluctúa entre 4 y 15%. Desde el punto de vista de la agricultura los suelos desarrollados en los conos son de alta productividad como los terrenos agrícolas de la zona estudiada.

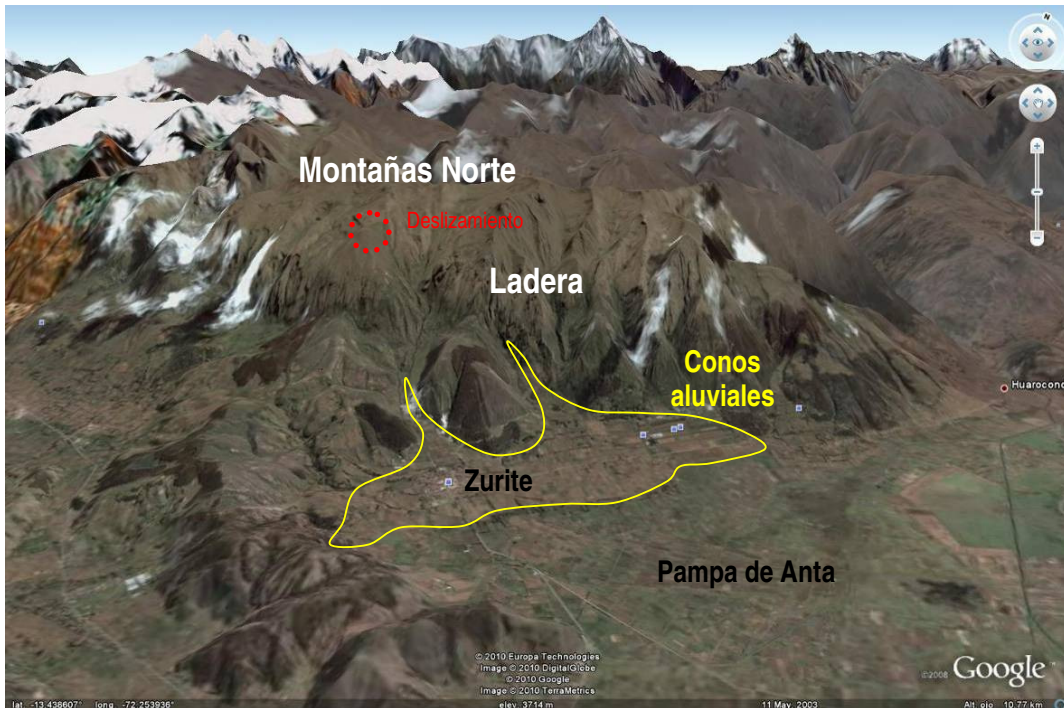


Fig. 4. Unidades geomorfológicas locales de Zurite y alrededores

III. GEOLOGÍA

La geología de la zona de Zurite está caracterizada por presentar afloramientos de rocas sedimentarias y en menor proporción rocas intrusivas (Carlotto et al., 1995; Carlotto et al., 2005). La edad de estas varía desde el Cretácico hasta el Cuaternario (Fig. 5).

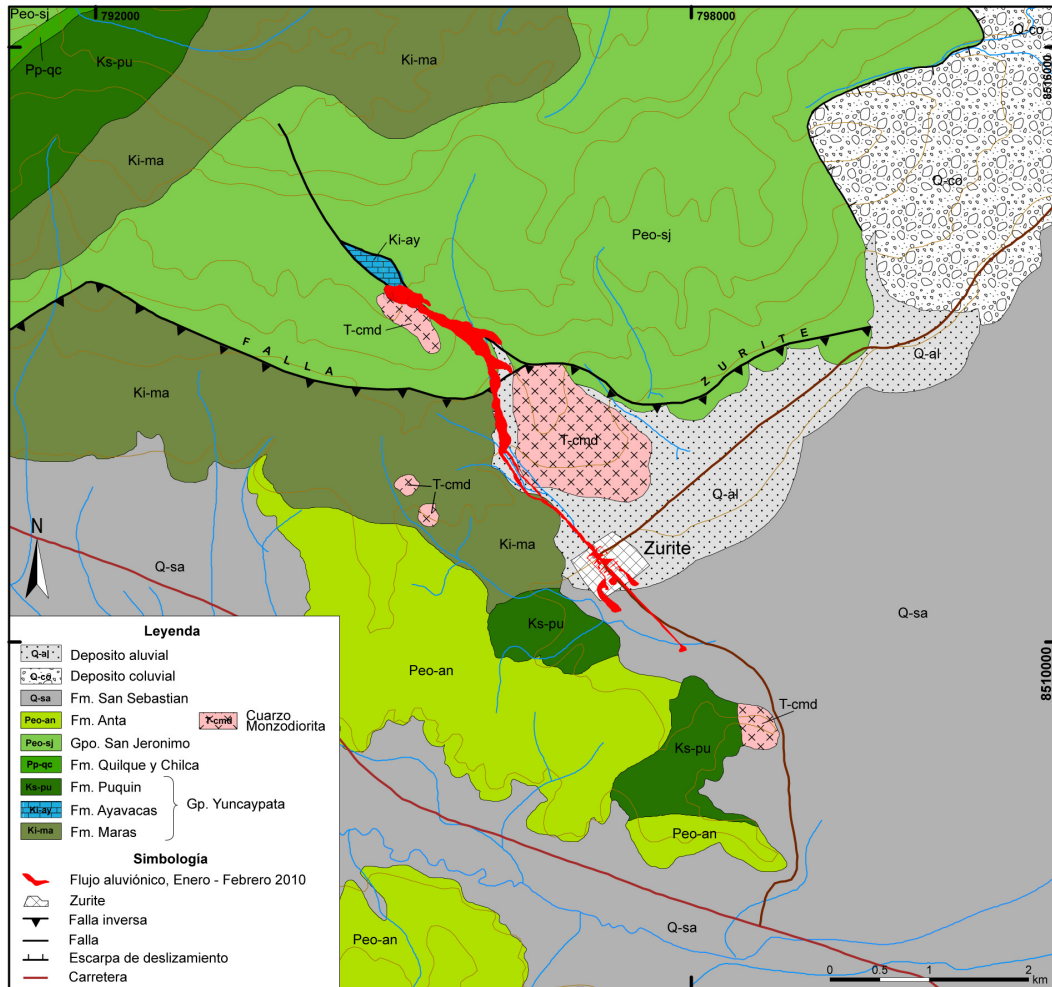


Fig. 5: Mapa Geológico del área en estudio (Tomado y modificado de Carlotto et al., 1995)

El Grupo Yuncaypata (Cretácico medio-superior)

Se presenta en las Montañas Norte, y en el borde de la Pampa de Anta, en los alrededores de Zurite. Este grupo ha sido dividido en 4 formaciones: Formación Paucarbamba, Formación Maras, Formación Ayavacas y Formación Puquín (Carlotto et al., 1992). Solo los tres últimos afloran en la zona de estudio. La Formación Paucarbamba aflora mucho más al norte, cerca de Ollantaytambo donde está constituida por lutitas y areniscas rojas.

La Formación Maras está conformada por lutitas, limolitas, yesos y lentes de calizas que se presentan de una manera caótica. Aflora ampliamente al oeste de Zurite y en las montañas, incluso en la ladera cerca a la cabecera del deslizamiento. Las calizas pertenecen a la Formación Ayavacas o Calizas Yuncaypata, que se presentan en afloramientos aislados dentro la masa de lutitas y yesos de la Formación Maras.

Al noroeste de la zona de estudio (Fig. 5) aflora la Formación Puquín. Se trata esencialmente de lutitas negras y rojas, intercaladas con capas de yesos y localmente por capas de areniscas de origen fluvial.

Las formaciones Quilque y Chilca (Paleoceno inferior y superior) Forman un solo conjunto compuesto de lutitas, areniscas, microconglomerados y conglomerados de color rojo, con un espesor medio entre 100 y de 200 m. Afloran al noroeste de la zona de estudio.

El Grupo San Jerónimo (Eoceno medio-Oligoceno inferior) Está conformado por las formaciones Kayra y Soncco. La Formación Kayra tiene un espesor de 3000 m, mientras que la Formación Soncco tiene 1500 m de espesor. En la zona de estudio estas dos unidades están cartografiadas como una sola. Estas formaciones se presentan ampliamente al norte de Zurite. Donde están compuestas por intercalaciones de areniscas y lutitas, aunque también se observan capas de conglomerados. Esta unidad es una de las más importantes, no solamente por la extensión de los afloramientos y el espesor de sedimentos, sino también por que constituyen el principal acuífero de la cuenca, es por ello que en toda la ladera norte existen muchos manantiales que alimentan de agua a las quebradas durante todo el año. Yacimientos de Cu y Ag en mantos y fracturas son conocidos al NE del poblado de Zurite, las que han sido explotadas artesanalmente.

La Formación Anta (Eoceno superior-Oligoceno inferior) Se presenta en unas lomadas al oeste y sur de Zurite. Se trata de conglomerados con clastos de rocas volcánicas y sedimentarias, en una matriz limosa. Su espesor en la zona de estudio es de 300 m

La Formación San Sebastián (Pleistoceno) Corresponde a los depósitos del subsuelo de la Pampa de Anta. Se trata de arcillas y arenas, de origen lacustre lo que evidencia la existencia de una antigua laguna.

Los Depósitos Coluviales Se forman en zonas de ladera, resaltan los existentes al norte de de Zurite. Están conformados por una mezcla de limos y gravas. Estos depósitos incluyen a los deslizamientos como los de Huarcocondo, al este de Zurite.

Los Depósitos Aluviales Corresponden a los conos o abanicos aluviales, las que se hallan en la desembocadura de las quebradas principales, adyacentes a la Pampa de Anta. Están constituidos por gravas y bloques envueltos por una matriz areno-arcillosa. Estos abanicos muestran la actividad geodinámica pasada y presente de las quebradas, como lo ocurrido en enero y febrero del presente año.

Rocas Intrusivas

Cerca al límite con la Ladera norte aflora un cuerpo intrusivo formando una lomada prominente denominada cerro San Cristobal. Otros cuerpos pequeños también se presentan, siendo uno de estos el que aflora en el Cerro Llamacancha Se trata de cuarzo monzodioritas. Estas rocas se hallan fuertemente fracturadas y alteradas, los que condicionan su comportamiento geotécnico. En efecto, en el cerro Llamacancha este cuerpo está fuertemente fracturado y alterado, por eso muestra colores verdosos a grises. Las rocas de estos intrusivos, tienen una textura granular de grano fino, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, en una matriz microgranuda de plagioclasa, ortoclasa y cuarzo.

Las rocas fracturadas y alteradas del cerro Llamacancha han sido un factor condicionante para que se desarrolle los deslizamientos antiguos y recientes, debido a que estas tienen un comportamiento geotécnico mediocre.

IV. GEODINÁMICA EXTERNA

El día 28 de enero del 2010 a las 11:00 ocurrió un fenómeno de movimiento en masa compuesto, es decir, un deslizamiento mayor que se originó en la parte alta de la quebrada Qenqo. Gran parte del material deslizado se transformó en flujo de detritos que descendieron al poblado de Zurite. El deslizamiento principal se reactivó en la parte alta de la cerro Llamacancha a una altitud aproximada entre 4255 y 4200 msnm. Posteriormente, los días 6 de febrero a las 23:00 horas y el 13 de febrero a las 08:00 horas, nuevas reactivaciones del deslizamiento principal originaron nuevos aluviones; donde el ocurrido el 6 de febrero tuvo consecuencias más destructoras en el poblado de Zurite.

Las escarpas del deslizamiento principal se hallan en la margen derecha de la quebrada Qenqo, en la cabecera del Cerro Llamacancha. Este lugar corresponde a un antiguo deslizamiento que afectó principalmente rocas intrusivas muy fracturadas y alteradas, así como a depósitos coluviales que favorecieron el movimiento. Adicionalmente, en la parte alta se reconocieron algunos manantes y humedales que fueron destruidos por el deslizamiento. Los materiales deslizados se transformaron en flujos que descendieron por la quebrada en distintos lapsos de tiempo y con intensidades variadas, afectando principalmente el poblado de Zurite.

Los estudios realizados comprenden la cartografía y descripción de los fenómenos. Se ha realizado una evaluación geodinámica de la parte alta (zona de arranque), media (zona de transporte) y baja (zona de acumulación) de la quebrada Qenqo, para determinar el grado de peligrosidad a nuevos aluviones. Todos estos datos nos llevan a interpretar sobre las causas de los fenómenos, y por lo tanto, sirven para plantear las recomendaciones necesarias.

4.1. Descripción del fenómeno ocurrido entre los días 28/01/2010 y 13/02/2010

Los movimientos en masa ocurridos los días 28 de enero y 13 de febrero del 2010, fueron fenómenos de naturaleza compleja, formados primeramente por una serie de deslizamientos que se originaron en la parte alta de la quebrada Qenqo y más específicamente en el cerro Llamacancha a 4275 msnm. La masa deslizada se transformó en flujos las cuales llegaron hasta Zurite (Fig. 6 y Foto 1).

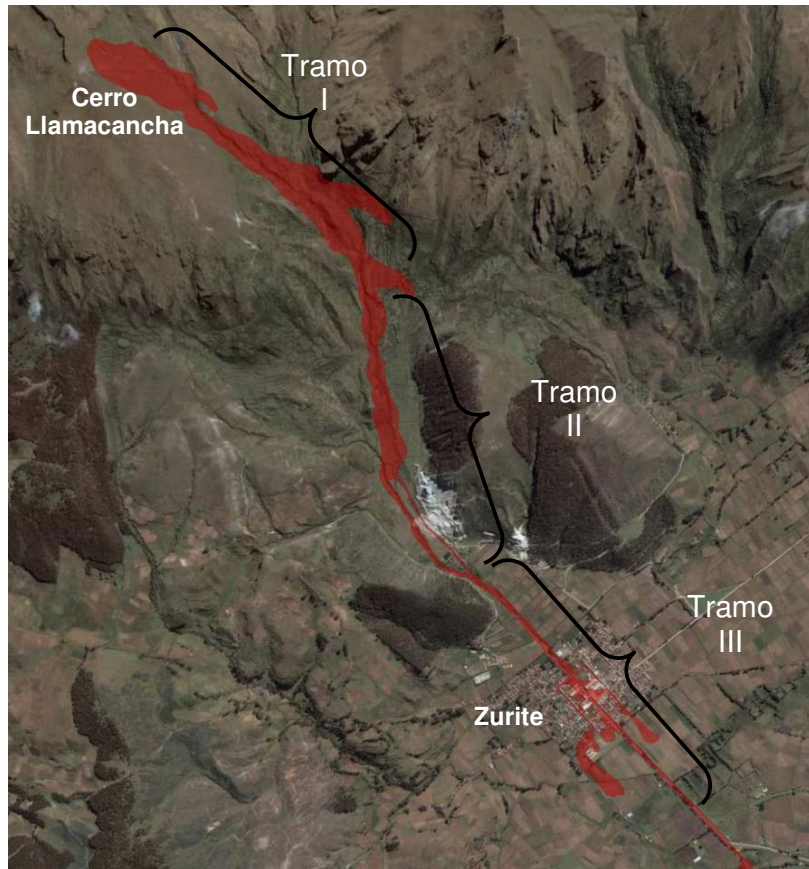


Fig. 6. Reconstrucción del deslizamiento y flujo dividido en 3 tramos



Foto 1: Vista de la zona de arranque del deslizamiento principal y el material transformado en flujo

4.2. El Deslizamiento

El día 28 de enero del 2010 ocurrió un deslizamiento mayor en el cerro Llamacancha, en la parte alta de la quebrada Qenqo, él que se transformó en una serie de flujos de detritos y rocas. Actualmente se aprecia la escarpa mayor y dentro de la masa de deslizamiento, varias escarpas menores (Fotos 1 y 2).

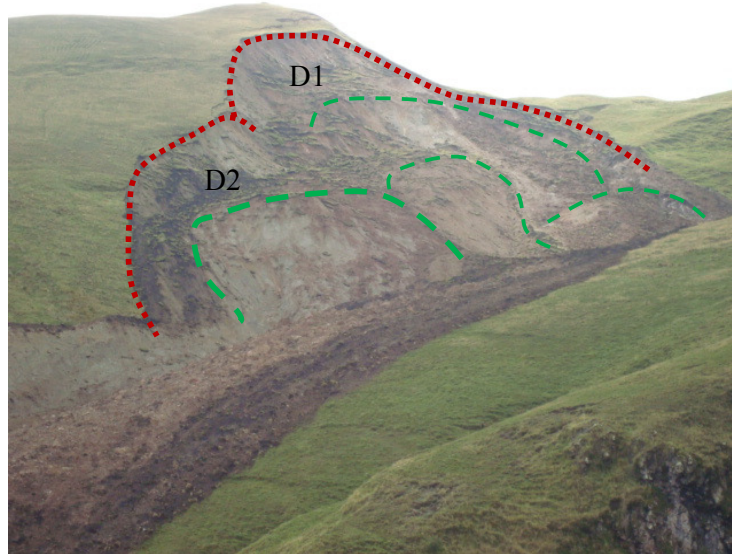


Foto 2: Cabecera del deslizamiento ocurrido el 28 de enero del 2010.

La escarpa de la cabecera mayor es de forma semicircular, tiene un punto máximo a 4255 msnm y está constituida, además de la escarpa principal ya deslizada por una serie de grietas tensionales que indican que este deslizamiento, del tipo rotacional, aun sigue activo (Fotos 3 y 4). Esto también nos indica un movimiento retrogradacional (Foto 5). El ancho de la escarpa medida paralelamente a las curvas de nivel, es mayor a los 200 m con un desnivel entre 50 y 100 m. La pendiente actual es de aproximadamente 45° ; pero menor al que existía antes del deslizamiento, lo que indica cierta estabilización del material. Las grietas de tensión, al menos 3 sistemas, tienen aperturas que varían desde unos pocos centímetros hasta los 30 cm.

La geología observada en la zona corresponde, por un lado a rocas intrusivas del tipo cuarzo-dioritas, bastante fracturadas y alteradas, y por otro lado a depósitos cuaternarios de deslizamientos antiguos.



Fotos 3 y 04: Grietas tensionales en la parte alta y en los flancos del deslizamiento principal.



Foto 5: Bloques basculados en la escarpa principal del deslizamiento

Un estudio de las imágenes de Google Earth muestra el cerro Llamacancha y tres quebraditas que les denominamos Q-1, Q-2, Q-3 que servirán como referencia para la descripción. En el cerro Llamacancha se aprecian una pendiente empinada con escarpas de deslizamientos en vías de reactivación (negro) y una cicatriz muy antigua que rodea la Q-2 (en rojo, Fig. 7).

La quebrada Q-1 tiene signos de erosión, posiblemente corresponda al contacto entre el intrusivo y las rocas sedimentarias del Grupo Yuncaypata. Estos aspectos pueden ayudar a explicar el mecanismo del deslizamiento ocurrido este año. Mas al noreste y a una distancia de 100 m aproximadamente, la otra quebradita Q-2 se ha desarrollado sobre suelos coluviales y humedales, en un substrato de lutitas y calizas del Grupo Yuncaypata; esta no muestra signos de erosión, es decir que era relativamente estable antes de los fenómenos ocurridos. Finalmente más al norte, la quebradita Q-3 se ha desarrollado sobre areniscas y aparentemente era también estable.

Las comparación de las fotos tomadas durante el trabajo de campo y las imágenes de Google Earth, lo primero que muestran es que antes de la reactivación del deslizamiento principal, en enero y febrero del 2010, la ladera noreste del cerro Llamacancha ya presentaban signos de reactivación a través de escarpas que se estaban formando (Fig. 8). Luego se puede interpretar que el deslizamiento sobrepaso la Q-1 y llego hasta Q-2 afectándola parcialmente e incluso llego hasta Q-3 pero cerca a la confluencia entre estas 3 pequeñas quebradas (Foto 6).

Las causas sobre el origen del deslizamiento, se pueden resumir en:

- Ladera con fuerte pendiente y signos de reactivación sobre un deslizamiento antiguo.
- Las rocas de substratos correspondiendo a intrusivos fuertemente fracturados y alterados, por eso la presencia de mucha arcilla.
- Contacto de las rocas intrusivas con rocas sedimentarias y que aparentemente corresponden además a un contacto de falla, de allí que las rocas estén fuertemente fracturadas.

En estas condiciones las intensas lluvias fueron el detonante para la reactivación del deslizamiento, ya que provocaron la sobresaturación de los materiales, es decir las rocas intrusivas y los suelos coluviales de los deslizamientos antiguos.

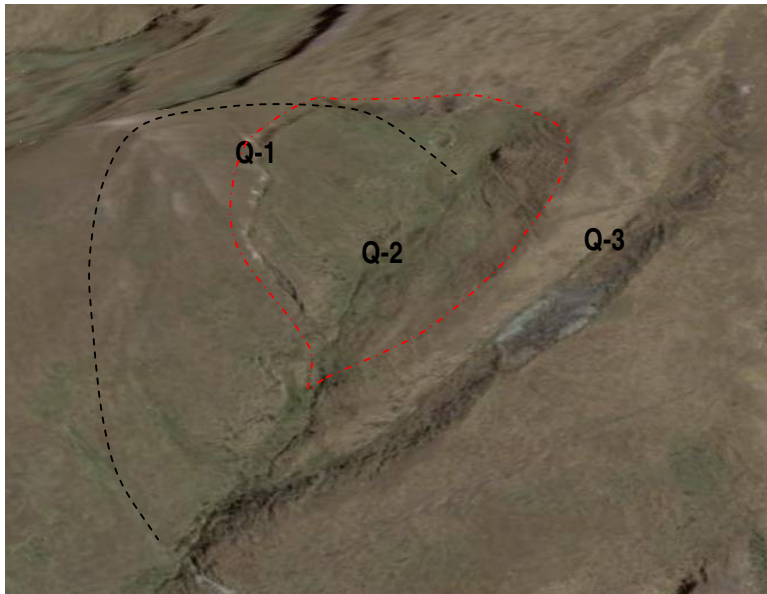


Fig. 7. Cabecera de la quebrada Qenqo antes del deslizamiento de enero 2010, donde se aprecia las 3 pequeñas quebradas Q-1, Q-2, Q-3. Igualmente en rojo se tiene una cicatriz muy antigua y en negro la escarpa reactivada.

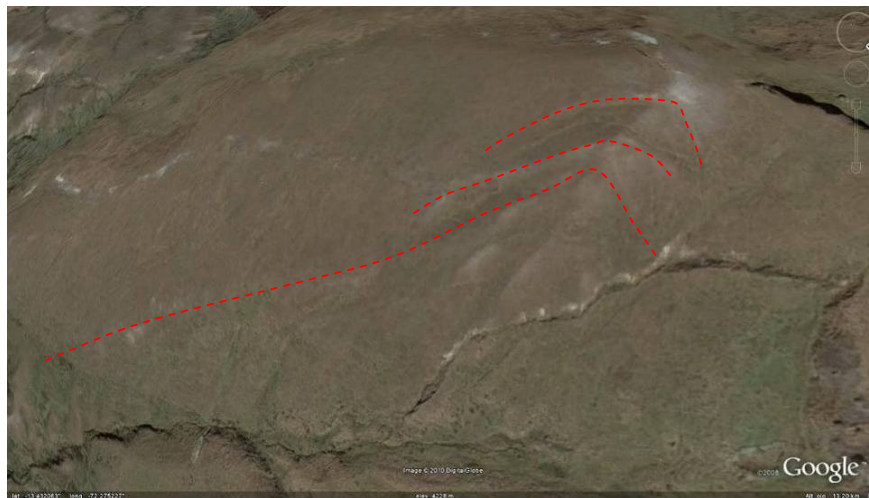


Fig. 8. Escarpas de deslizamiento en vías de reactivación. Imagen del año 2003.



Foto 6: Material deslizado que afectó las quebradas Q-1 y Q-2 y sobrepaso a la quebrada Q-3

4.3. El Flujo

Las observaciones de campo muestran al menos dos eventos mayores de flujos, los que corresponden a los ocurridos los días 28 de Enero y 6 de febrero del 2010. Estos flujos van desde el deslizamiento principal hasta el poblado de Zurite, y han tenido un recorrido mayor a 4 km, siendo el segundo de mayor longitud, mayor material aportado y el que más daño causó a la población (Figs. 6, 9 y 10, Foto 14).

Si consideramos la altura de inicio del flujo (4255 msnm) y la parte baja (3400 msnm) hay un desnivel de más de 800 m, haciendo un pendiente promedio de 13 grados. Sin embargo a lo largo del recorrido se ve diferentes segmentos con pendientes variables, siendo los mayores los que están en la Ladera y de menor pendiente, los segmentos mas cercanos a la población. Así para una mejor descripción se ha dividido en tres tramos

4.3.1. Tramo 1

Va desde el pie del deslizamiento hasta donde termina la Ladera (Fig. 6 y Foto 7). Se caracteriza por tener una pendiente promedio 15° en el cauce del río. En este tramo se observan evidencias de rebalses y desbordes, principalmente a la margen izquierda (Foto 8); esto debido a la dirección del esfuerzo producido por la masa en el momento del deslizamiento y por el cambio de dirección de la quebrada que no pudo conducir todo el flujo. Mas abajo se observan albardones, es decir parte de la masa de flujo depositada, esto en la margen izquierda, en tanto que en los bordes de las márgenes, un intenso socavamiento lateral.



Foto 7: Vista del Tramo 1



Foto 8: Desbordes y rebalses a la margen izquierda de la quebrada, en el tramo 1.

4.3.2. Tramo 2

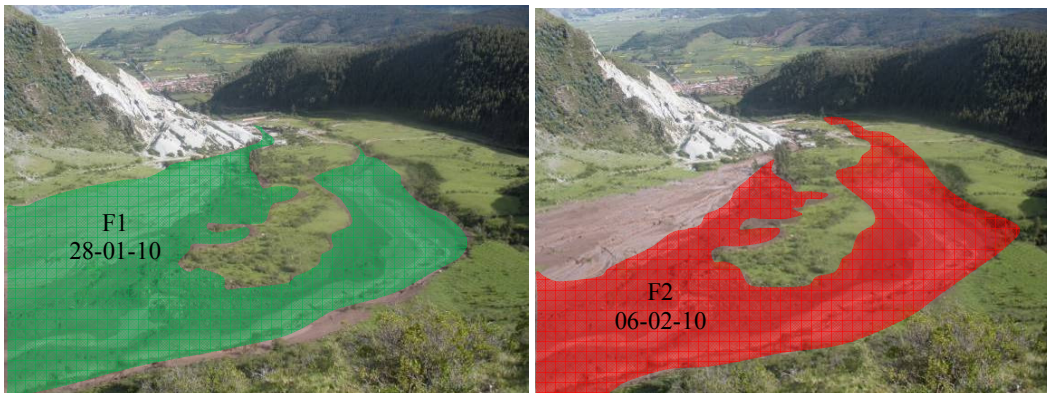
Este tramo corresponde al sector donde termina la Ladera y se encuentra en la parte del cono aluvial antiguo de Zurite, donde el terreno es más plano y tiene una pendiente menor de 13°. En esta planicie se aprecia gran cantidad de material aluviónico en forma de terrazas y albardones (Fotos 9 y 10), las que están fuera del cauce principal.



Fotos 9 y 10: Vista quebrada abajo y arriba respectivamente mostrando depósitos aluviales en ambas márgenes.

Cerca de la cantera, el aluvión se separó en dos, aprovechando el cauce existente en ese momento y otro cauce, más antiguo. Luego aguas abajo, se evidencia que estos dos cauces con material aluviónico, nuevamente se juntaron, pero el situado hacia el este, siempre fue de menor magnitud, aunque logró involucrar al flujo una parte del material suelto de roca intrusiva producto del trabajo de la cantera. En este tramo también se aprecia, que la incisión actual del río, es sobre los depósitos aluviales de los flujos recientes.

La gran cantidad de material depositado en este tramo se explica, por que el cauce no fue capaz de conducir todo el flujo, y por que esta zona casi plana, ha permitido que los flujos puedan depositarse, esto debido el cambio brusco de velocidad (Fotos 11 y 12). De esta manera, esta planicie favoreció de alguna manera, ya que impidió que llegue más material al poblado de Zurite (Fotos 13 y 14).



Fotos 11 y 12: Recorrido de los aluviones en la parte media de la quebrada. Izquierda aluvión del 28 de enero. Derecha aluvión del 6 de febrero.



Fotos 13 y 14: Plaza de Armas de Zurite afectada por el aluvión del 28 de enero (izquierda) y el aluvión del 06 de febrero (derecha).

En esta parte baja del tramo 2 se observa muros incas de una antigua canalización, lo que nos muestra que los incas ya hacían sus trabajos de encauzamiento para avenidas y seguramente también para huaycos (Fotos 15 y 16).



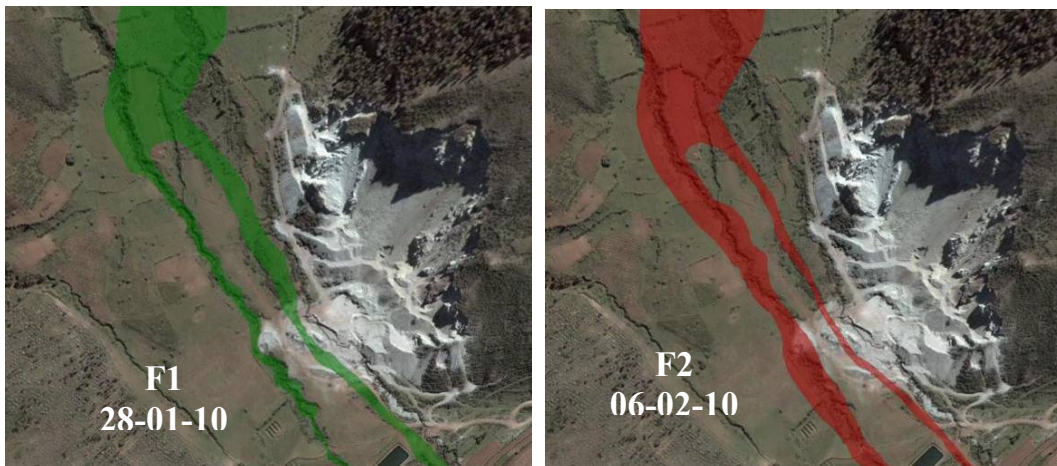
Fotos 15 y 16: Muros incas parcialmente destruidos a la margen derecha de la quebrada.

Interpretación

Luego de ocurrido el deslizamiento principal en el cerro Llamacancha, el material deslizado relleno la quebrada Q-1, y también la quebrada Q-2, incluso salpicando a la quebrada Q-3 (Foto 6). Entonces cabe mencionar dos posibilidades; Primero que el movimiento ha sido muy violento y por tanto la masa saltó incluso a la quebrada Q-3 y que se transformó rápidamente en un flujo. La otra hipótesis, es que hubo un represamiento en las quebradas Q-2 y Q-3 y el desembalse formó el flujo. Para poder explicar estas hipótesis, se requieren mas estudios, pero podemos concluir que las dos propuestas pueden ser validas si consideramos los dos eventos grandes de flujos, del 28 de enero y del 6 de febrero (Figs. 9, 10, 11 y 12).



Figs. 9 y 10. Recorridos en la parte media y baja de la quebrada Qenqo de los aluviones ocurridos el 28 de enero (izq.) y 06 de febrero (der.).



Figs. 11 y 12: Recorrido de los aluviones en la parte media de la quebrada.

4.3.3. Tramo 3: Zurite

Este tramo va desde la zona de Los Andenes, luego de la confluencia de dos cauces de aluviones (Fig. 6), hasta el poblado de Zurite, incluso hasta más al sureste, donde se tiene evidencia de material aluviónico depositado. La pendiente del terreno es menor y va de 8 a 6°.

En la zona de Los Andenes se aprecia principalmente evidencias de erosión lateral del flujo que ha dañado incluso parte de los muros incas, y material de desborde del aluvión depositado en algunas terrazas incas, afectando los terrenos de cultivo que allí existían (Foto 17). El cauce en esta parte, tiene un ancho de entre 15 y 18 m mayor al existente antes del fenómeno (Foto 18).



Fotos 17 y 18: Terrenos de cultivo a la margen izquierda afectados por el aluvión del 06 de febrero (izquierda). Socavamiento lateral en depósitos aluviales antiguos a ambas márgenes (derecha).

En el poblado de Zurite los flujos afectaron las construcciones y en los alrededores algunos campos de cultivos. Los flujos o aluviones ocurridos el 28 de enero y 6 de Febrero, descendieron por la quebrada Qenqo y luego por la calle Kennedy, que es una prolongación de la quebrada que pasa por la ciudad (Foto 19).



Foto 19: Calle Kennedy que es prolongación de la quebrada Qenqo.

El aluvión del 28 de enero, tuvo un comportamiento de flujo de lodo y detritos, es decir que fue más fluida que el del 6 de febrero (Foto 20), ya que esta última fue un flujo de detritos y bloques. Estos flujos y particularmente del 6 de febrero, colmataron el canal existentes de la calle Kennedy, en las zonas donde este no se encontraba cubierto. En las zonas de la calle Kennedy donde la canalización estuvo cubierta con losas de concreto (Foto 21) los desbordes del flujo se vieron incrementados, inundando o destruyendo otras calles inclusive parte de la Plaza de Armas, donde afectó seriamente al local del Municipio y las viviendas aledañas a la Plaza de Armas (Fotos 22 y 23).



Foto 20: Flujo de lodo que ingresó a la Plaza de Armas de Zurite el 28 de enero, 2010.



Foto 21: Canalización cubierta en la calle Kennedy.



Fotos 22 y 23: Plaza de Armas de Zurite tras el aluvión del 28 de enero (izquierda). Templo de Zurite tras el aluvión del 6 de febrero (derecha).

Los aluviones no solo afectaron la calle Kennedy y la Plaza de Armas, sino también una parte de la ciudad (Fig. 13 y 14) y en general a muchas viviendas, inclusive la Unidad Escolar Mixta Nro 118-Zurite; (Foto 24). En este caso, los edificios del colegio funcionaron como un muro de

contención ante los aluviones, evitando de esta manera una mayor destrucción en las viviendas contiguas ubicadas al sur, pero que sin embargo afecto a las viviendas del norte fueron casi sepultadas (Fotos 25 y 26).



Foto 24: Colegio afectado por el aluvión del 6 de febrero, 2010.



Fotos 25 y 26: Unidad Escolar Mixta Nro 118-Zurite y viviendas situadas al norte, afectada el aluvión del 6 de febrero del 2010.



Fig. 13 Áreas afectadas en Zurite tras el aluvión del 28 de enero, 2010

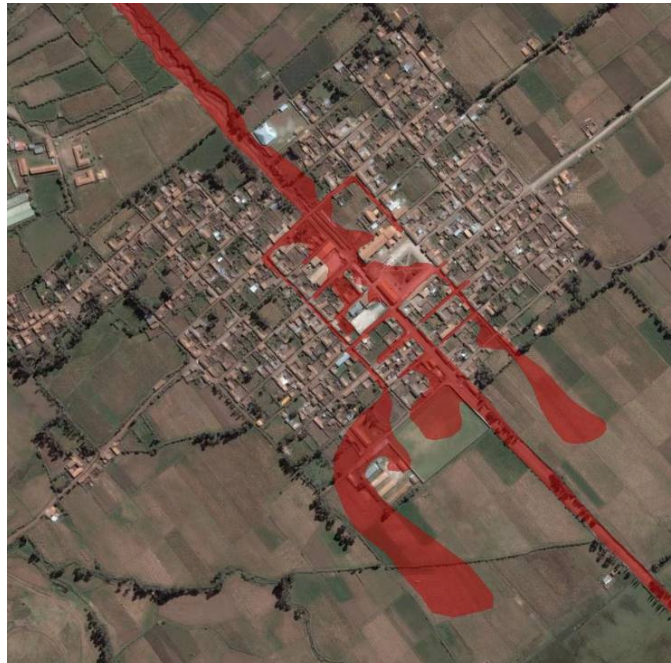


Fig. 14. Áreas afectadas en Zurite por el aluvión del 6 de febrero, 2010.

En la calle Kennedy se apreciaban, luego de los aluviones, evidencias de canalizaciones cerradas realizadas poco antes del fenómeno y que de alguna manera contribuyeron a que los daños sean mayores por el efecto de obstrucción al flujo y por tanto a los desbordes. Otra cosa que se interpreta es que durante la colonia la calle era abierta y aparentemente en la época inca, la calle o canalización era de mayores dimensiones (Fotos 27 y 28).



**Fotos 27 y 28. Canalización afectada por el aluvión del 28 de enero (izquierda).
Destrucción de la canalización tras el aluvión del 6 de febrero (derecha).**

El flujo del 6 de Febrero fue de proporciones mayores al ocurrido el día 28 de enero, ya que traía consigo una gran carga de sedimentos y fragmentos rocosos; por tal motivo su efecto fue más destructivo y produjo múltiples daños en las viviendas y en la infraestructura urbana. Adicionalmente este flujo sobrepaso largamente el poblado y avanzó al sureste por la pista de asfalto hasta más o menos 1.2 km. En este caso dañando la pistas y algunos terrenos de cultivo (Foto 29).



Foto 29: Vía de acceso a la ciudad de Zurite que también fue afectado pero en menor proporción por el flujo

CONCLUSIONES

Los fenómenos ocurridos el 28 de enero y 6 de febrero del 2010 en la quebrada Qenqo, corresponde a un movimiento en masa complejo, constituido por un deslizamiento mayor que se transformó en varios flujos. Las características y grietas tensionales indican que este deslizamiento es del tipo rotacional y que aun sigue activo, sin embargo, gran parte de la masa deslizada ya recuperó cierta estabilidad. La geología observada en la zona corresponde, por un lado a rocas intrusivas del tipo cuarzo-dioritas, bastante fracturadas y alteradas, y por otro lado a depósitos cuaternarios de deslizamientos antiguos.

Mediante el estudio de imágenes de Google Earth, se aprecia que antes de la reactivación del deslizamiento principal, en enero y febrero del 2010, la ladera noreste del cerro Llamacancha ya presentaba signos de reactivación a través de escarpas que se estaban formando.

Dos aluviones mayores afectaron el poblado de Zurite, uno ocurrido el 28 de enero a las 13:00 hrs y el otro el 06 de febrero a las 23:00 hrs, aunque hubo otro menor el día 13 de febrero ocurrido a las 08:00 hrs.

Las causas del deslizamiento y flujo posterior tienen que ver con la fuerte pendiente y signos de reactivación sobre un deslizamiento antiguo, además de las características litológicas, es decir roca muy fracturada y alterada. En estas condiciones las intensas lluvias, mayores a las normales, fueron el detonante para la reactivación del deslizamiento, ya que provocaron la sobresaturación de las rocas y suelos.

Los aluviones descendieron de manera violenta en la parte alta, luego bajaron de velocidad en la parte media donde inclusive gran parte del material se depositó, mientras que otra parte avanzó hasta el poblado, afectando viviendas, calles, terrenos de cultivos, cominos, pistas, etc. Un factor que contribuyó a los daños fue la canalización cerrada en la calle Kennedy que es la continuación de la quebrada Qenqo.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que en la cabecera del deslizamiento se aprecian grietas tensionales, y que la masa deslizada alcanzó algo de estabilidad, se recomienda hacer un tratamiento que consiste en lo siguiente:

Reforestación integral tanto en la parte alta y media de la quebrada Qenqo, esto evitará el desarrollo y activación de nuevos deslizamientos y con ello la ocurrencia de nuevos aluviones. Se recomienda en lo posible que la arborización sea con plantas nativas cuyas raíces ayuden a estabilizar el suelo.

Captación de los manantes en la parte alta del cerro Llamacancha y alrededores, es decir aquellos que tengan influencia en la cabecera de deslizamiento, las situadas en las quebradas Q-1, Q-2 y Q-3.

Construcción de un sistema de drenajes para poder sacar toda el agua posible de la masa deslizada y evacuar las aguas de lluvias que puedan entrar a la masa y reactivar el deslizamiento.

Se debe controlar el escurrimiento superficial y por tanto la erosión al nivel del cauce, para esto se puede realizar sistemas de diques transversales.

Limpieza del cauce (decolmatación) de la quebrada Qenqo en la parte baja, para recuperar la canalización Inca y realizar nuevas obras de encauzamiento con las medidas adecuadas.

El encauzamiento en la calle Kennedy no debe ser cubierto, para evitar de esta manera la obstrucción, colmatación y desborde del mismo en eventuales aluviones. Así mismo el encauzamiento en la zona entre los Andenes y la ciudad de Zurite debe tener una canalización mayor a los 20 m.

Se debe considerar la posibilidad de construir sistemas de alerta temprana y preparación de población en caso de otros aluviones y también sismos, teniendo en cuenta que la región es sísmicamente activa.

Todos los estudios a realizarse deben estar dentro de Plan de Ordenamiento Territorial del distrito de Zurite.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, J. (1988).- Néotectonique et Sismotectonique au niveau de la subduction Pérou. Thèse Dr. Universidad Paris.XI-Orsay-France, 275.
- Carlotto, v., Jaillard, V., Mascle, G. (1992). Relación entre Sedimentación, Paleogeografía y Tectónica de la Región de Cusco (Sur del Perú) entre el Jurásico superior-Paleoceno. Boletín Sociedad Geológica del Perú, Volumen 83, p. 01-20.
- Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J., & Chávez, R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas 27-r y 27-s. Inst. Geol. Min. Metal. Bol. Ser. A: Carta Geol. Nac., 65, 245 p.
- Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, L., Flores, T., Latorre, O. & Ibarra, I. (2005). Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y la Cordillera Occidental del sur del Perú. In: Arce, J., ed. Alberto Giesecke Matto, Soc. Geol. Perú, Lima, Vol. Especial 6, 103-126.