

Informe Técnico Nº A6445

Evaluación del Deslizamiento de Huamancharpa

Distrito de Santiago - Región Cusco

POR:

FABRIZIO DELGADO MADERA
CARLOS BENAVENTE ESCÓBAR
LIONEL FIDEL SMOLL

FEBRERO 2011

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Lista de Figuras | 2 |
| 1. Introducción | 4 |
| 2. Aspectos geomorfológicos | 4 |
| 3. Aspectos geológicos | 6 |
| 3.1. Formación Kayra | 6 |
| 3.2. Depósitos coluviales y fluviales | 8 |
| 4. Movimientos en masa | 8 |
| 4.1. Generalidades | 8 |
| 4.2. Deslizamiento de Huamancharpa | 9 |
| 4.3. Zonas críticas del Deslizamiento de Huamancharpa | 9 |
| a) Zona o Cabecera del Deslizamiento | 11 |
| b) Zona Media del Deslizamiento de Huamancharpa | 14 |
| c) Zona Baja o Base del Deslizamiento | 16 |
| 5. Peligro sísmico | 20 |
| 6. Conclusiones | 25 |
| 7. Recomendaciones | 27 |
| Anexos | 28 |

Lista de Figuras:

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

Figura: Mapa Geológico.

Figura 3: Plano de estratificación de la Formación Kayra.

Figura 4: Mapa del deslizamiento de Huamancharpa.

Figura 5: En las fotografías se aprecian los escarpes del deslizamiento D-1 (a la izquierda) y D-2 (a la derecha), también se puede apreciar el plano de estratificación de los estratos de la Fm. Kayra.

Figura 6: En la fotografía se muestra los escarpes de los deslizamientos y el plano de estratificación (N15°-55°E), esta inclinación de las rocas son aprovechadas por los deslizamientos.

Figura 7: Se observa la escarpa principal del deslizamiento de Huamancharpa y en el flanco izquierdo el deslizamiento D-5.

Figura 8: Grietas tensionales ubicadas en la cabecera del deslizamiento D-5 del flanco izquierdo de Huamancharpa.

Figura 9. Cuerpo del deslizamiento de Huamancharpa, en líneas negras; en líneas rojas se delimita el límite superior de la masa deslizada.

Figura 10. Se observa en líneas punteadas los deslizamientos D-6, D-7, D-8 y D-9 ubicados en el flanco izquierdo del deslizamiento de Huamancharpa, y en líneas continuas de color negro las grietas que existen en la cabecera de cada uno de los deslizamientos.

Figura 11: Se observa en línea negra el escarpe del deslizamiento D-10 con reactivaciones en la base en color rojo y en líneas negras punteadas se observa los procesos de carcavamiento generados por la erosión superficial.

Figura 12. En línea punteada se observa la corona del deslizamiento D-11, en líneas rojas continuas las grietas en la cabecera y en medio de la masa deslizada se aprecia la surgencia de agua (Círculo azul), lo que evidencia la circulación del agua dentro del material deslizado.

Figura 13. Escarpa del deslizamiento D-12, ubicado en la base del deslizamiento de Huamancharpa, la reactivación de este deslizamiento el año 2010 genero un pequeño represamiento del río Huancaro en la zona circular.

Figura 14: Se observan grietas de hasta 25 cm de desnivel sobre la escarpa del deslizamiento D-12

Figura 15: Se observa en línea punteada negra la escarpa del deslizamiento D-13 y en líneas rojas las grietas y desniveles en la cabecera del deslizamiento.

Figura 16: Cárcava producto de la erosión superficial y consecuente origen de derrumbes en ambos flancos.

I

Figura 17: Se observan las terrazas aluviales T-1 y T-2, en la base en flechas rojas se observa el socavamiento producido por el río Huancaro.

Figura 18: Mapa de ubicación de las fallas geológicas activas en la región del Cusco, las líneas rojas gruesas indican las fallas potencialmente activas. Tomado de Benavente et al., 2010.

Figura 19: Falla Tambochay, vista al norte. En la fotografía se puede observar el escarpe de falla y como la dirección de los drenajes son alterados por la actividad de rumbo de la falla.

Figura 20: Falla activa Qoricocha, ubicada al norte de la ciudad del Cusco.

Figura 21: Segmento de falla del Sistema Pachatusan, esta falla afecta morrenas glaciares y a los volcánicos cuaternarios Rumicolca.

Figura 22: Curvas de intensidades máximas de Escala de Mercalli modificada.

Figura 23: Mapa de Zonificación Sísmica del Perú.

1. INTRODUCCIÓN

El Deslizamiento de Huamancharpa se ubica en la margen izquierda de la microcuenca del río Huancaro, a 2 km al suroeste de la ciudad del Cusco, en el sector de Huamancharpa, que políticamente pertenece al distrito de Santiago de la provincia del Cusco.

La microcuenca del río Huancaro es calificada como "geodinámicamente activa", el Deslizamiento Huamancharpa es el movimiento de masa más grande y activo; llegando a represar el río Huancaro con su última reactivación el viernes 22 de enero de 1982. Involucrando un volumen considerable de rocas (areniscas y lutitas) que se desplazaron rápidamente represando el río. El volumen de agua embalsado se aproximó a los 2'000,000 m³ (Carlotto et al., 2003). Siendo este desembalsado por medio de un canal, que permitió un desembalse semi – controlado que previno daños mayores aguas abajo.

En la actualidad el deslizamiento muestra grietas de hasta 100 m de longitud en su flanco izquierdo. Además, la masa deslizada en 1982, continúa moviéndose hacia el valle generando grietas en en la cabecera del deslizamiento y pequeños deslizamientos debido a la socavación lateral del río Huancaro (Figura 1).

Con Oficio N°810-2010-A/MDS, la Municipalidad Distrital de Santiago, de la provincia y región Cusco, solicita la evaluación del "Deslizamiento de Huamancharpa". Atendiendo a esta, el INGEMMET por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, comisiona a los profesionales Carlos Benavente y Fabrizio Delgado a realizar la evaluación solicitada. Los trabajos de campo se realizaron entre los días 2 y 3 de diciembre, previa coordinación con el Arquitecto Wilbert Masías de la Municipalidad Distrital de Santiago y el Sr. Paúl Méndez de INDECI – Cusco.

El presente informe contiene documentación obtenida de campo y evaluada en gabinete.

2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El río Huancaro es parte de la red fluvial de la sub cuenca del río Huatanay, siendo este uno de sus principales afluentes. El Deslizamiento de Huamancharpa se ubica en la margen izquierda del río Huancaro, a 2 km al suroeste de la ciudad del Cusco, que se emplaza en el piso de valle de la sub cuenca del río Huatanay.

En los alrededores del Deslizamiento de Huamancharpa, se presentan las siguientes geoformas: Las *montañas de Vilcacongá* ubicadas al sur de la ciudad del Cusco y que constituyen las divisorias entre el valle del río Huatanay y la subcuenca de Paruro; las *montañas de Pachatusan* ubicadas al NE de la ciudad del Cusco, estas constituyen las divisorias entre las cuencas de los ríos Vilcanota hacia el NE y Huatanay hacia el SO; y las *montañas de Picchu* que se ubican al NO de la ciudad del Cusco, limitan las cuencas de los ríos Izcuchaca y Huatanay.

Además se reconocen *mesetas*, que son superficies ubicadas entre las montañas y la sub-cuenca del Huatanay, entre las que destacan la *meseta de Sacsayhuaman* ubicada al NO de la ciudad del Cusco y la *meseta de Huacoto* ubicada al NE de la ciudad del Cusco.

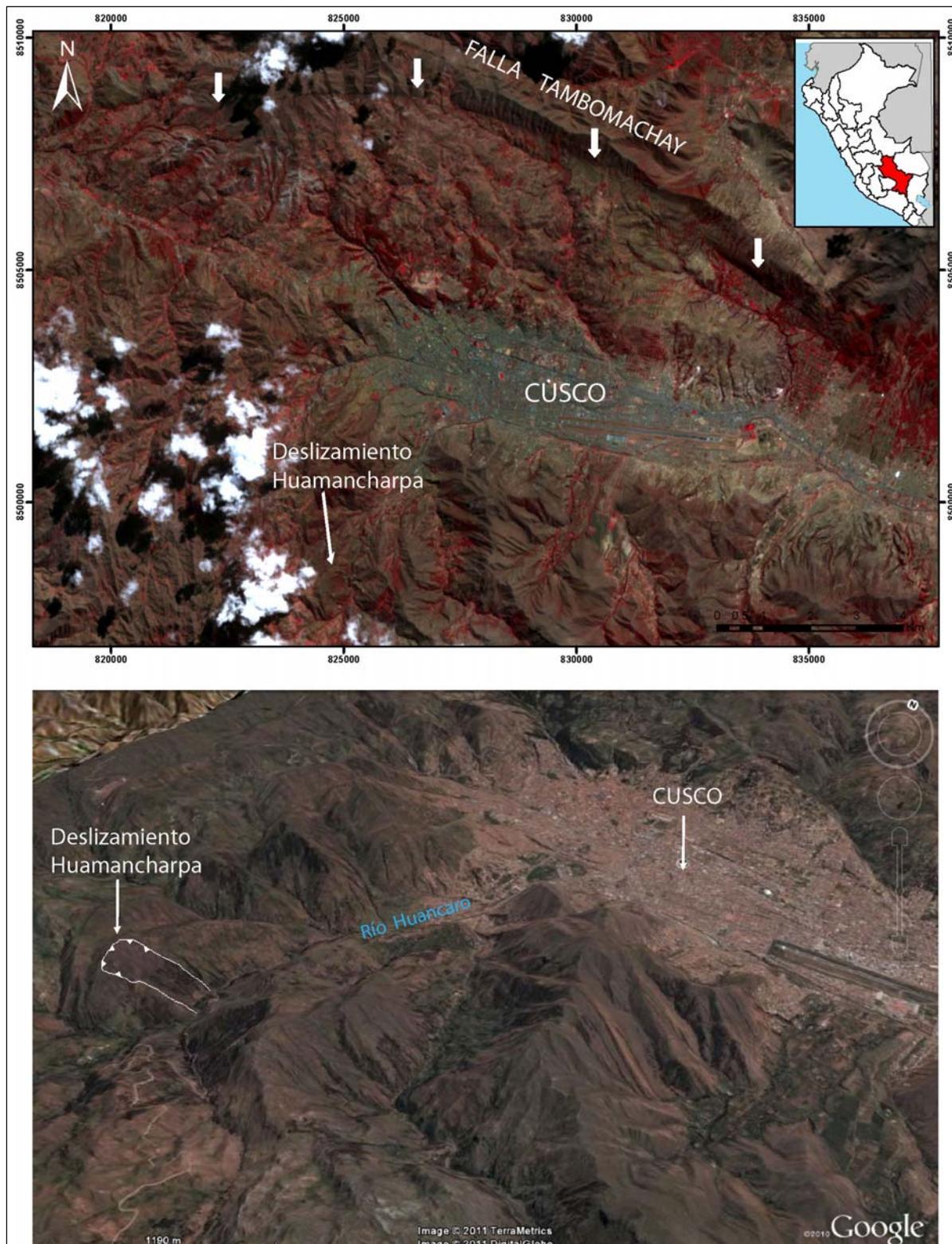


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

El río Huancaro es un valle interandino cuyas aguas fluyen de sur a norte. En su recorrido, sufre modificaciones en su dirección, debido al control estructural, adoptando una dirección NE-SO. Las laderas del valle presentan pendientes entre 45° - 63° y están constituidas mayormente por depósitos coluviales producto de deslizamientos antiguos, a excepción del área evaluada donde afloran rocas correspondiente al grupo San Jerónimo.

La pendiente del piso de valle en el tramo del deslizamiento es de 7.2%, llegando a ser condicionante para la infiltración de las aguas y posterior debilitamiento de la ladera de los cerros y de la base del deslizamiento.

En el fondo de valle del río Huancaro y a la altura del deslizamiento, se observan dos terrazas encajonadas. La primera, asociada a una reactivación con represamiento del deslizamiento y, la segunda localizada en ambas laderas del valle, correspondiente a los primeros depósitos del deslizamiento.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

En el área de Huamancharpa aflora la Formación Kayra del grupo San Jerónimo (Cenozoico) y depósitos cuaternarios que describiremos a continuación (Figura 2).

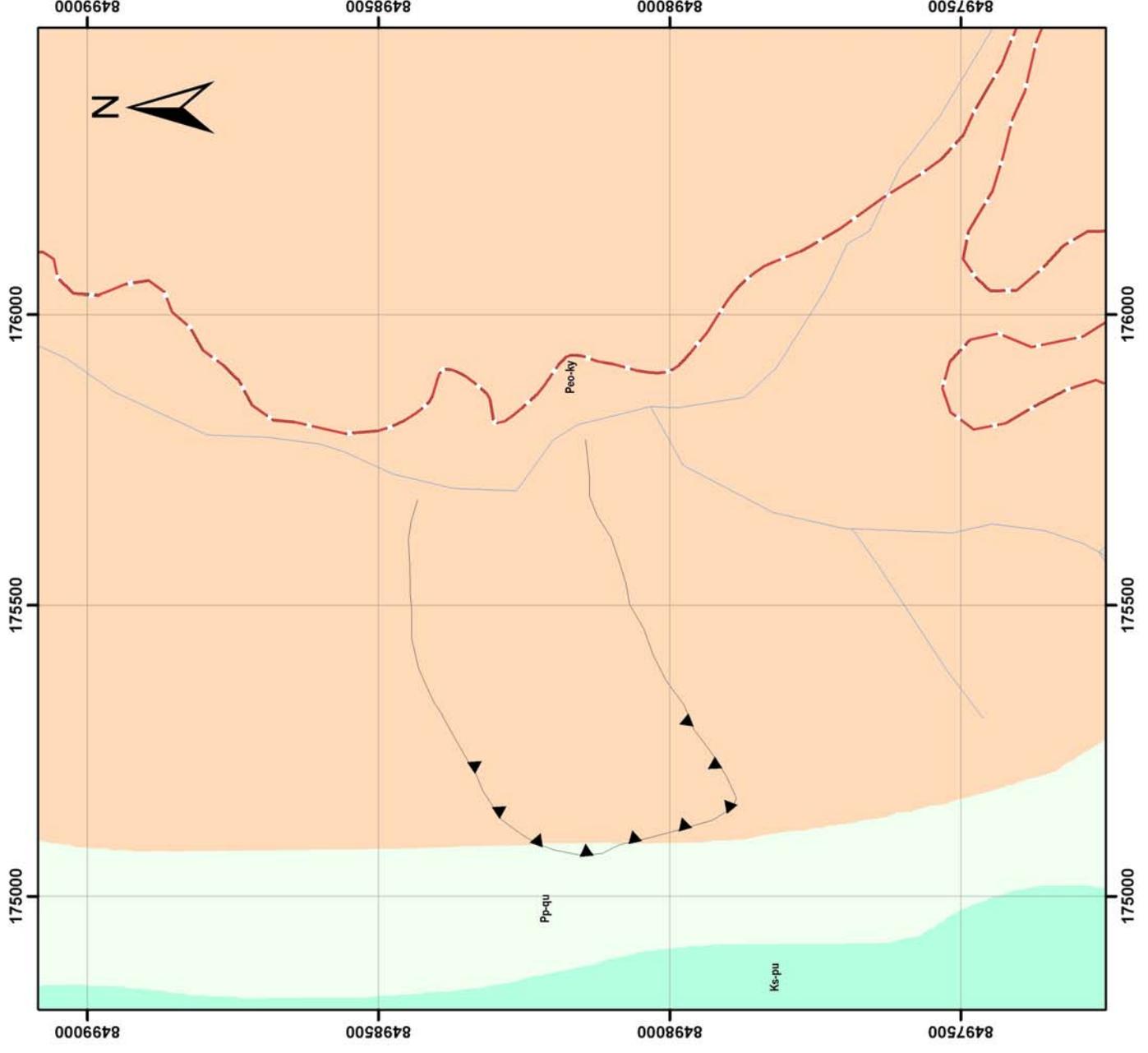
3.1. FORMACIÓN KAYRA

Esta formación constituye el basamento rocoso del área de evaluación, que dado su competencia, se han producido una serie de deslizamientos como el de Huamancharpa. Litológicamente están constituidas por intercalaciones de 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, la formación acaba con facies arenosas.

La orientación de la estratificación de las secuencias sedimentarias de la formación Kayra en este lugar es N15° - 55° SE (Figura 3).



Figura 3: Plano de estratificación de la Formación Kayra.

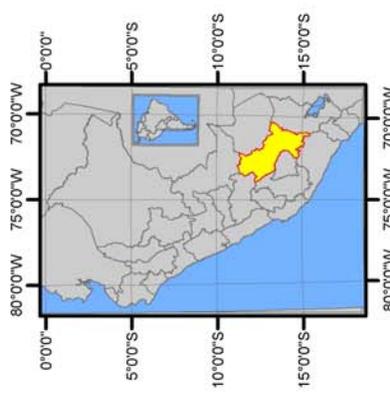


LEYENDA

| | |
|--------|-------------------|
| Peo-ky | Formación Kayra |
| Pp-qu | Formación Quilque |
| Ks-pu | Formación Puquin |

SIMBOLOGÍA

| | |
|--|-------------------------------|
| | Deslizamiento de Huamancharpa |
| | Drenaje |
| | Vía Afirmada |



EVALUACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE HUAMANCHARPA
SANTIAGO - CUSCO

1:10,000

0 0.125 0.25 0.5 Km

| | | |
|--------------|-------------|----------|
| WGS_1984_UTM | Zona 19 Sur | Figura 2 |
|--------------|-------------|----------|

Figura 2: Mapa geológico del área evaluada

Las areniscas feldespáticas y cuarzo feldespáticas por su estructura interna se les considera que tienen porosidad primaria alta, debido a que sus granos son de medio a gruesos, bastante homogéneas y con mayor selección. Además se suma la porosidad secundaria debido a que esta secuencia se encuentra fuertemente fracturada y plegada.

Estas características de las rocas son importantes para la acumulación y descarga de las aguas subterráneas. La porosidad secundaria (fracturas) es un factor importante que está aunado a la porosidad primaria, la cual incrementa la permeabilidad. Todas estas características; así como la litología y su grado de fracturamiento y alteración, son causa de los procesos de movimientos en masa presentes en el área.

3.2. DEPÓSITOS COLUVIALES Y FLUVIALES

Dentro de estos depósitos, hemos considerado los conos de deyección y los depósitos coluviales que conforman las terrazas del río. Los conos de deyección se localizan principalmente en la desembocadura de las quebradas adyacentes a los valles y están constituidos por bancos de gravas con clastos subredondeados y arenas de grano medio a fino.

Las terrazas coluviales han sido reconocidos en el fondo de los valles, la primera se encuentra restringida y tiene una altitud de 1.5 m con respecto al piso de valle, constituidos por gravas de matriz arenosa con clastos angulosos a subangulosos de hasta 0.40 m de diámetro, estos depósitos están asociados a una reactivación con represamiento del deslizamiento de Huamancharpa, que posteriormente fueron incisados por el río, llegando a formar las terrazas. La segunda terraza, se localiza en ambas laderas del valle, con una altitud de 5 m con respecto al piso de valle y compuesta por depósitos coluviales correspondiendo a los primeros depósitos del deslizamiento.

4. MOVIMIENTOS EN MASA

a) GENERALIDADES

Para la descripción y evaluación del Deslizamiento de Huamancharpa, se ha tomando como base la Clasificación de Varnes (1978, 1996) y Hungr et,al. (2001), y la terminología sobre Movimientos en Masa en la Región Andina preparado por el Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007).

El cartografiado geomorfológico y geodinámico ha permitido diferenciar, en el área de Huamancharpa, procesos de movimientos en masa, que a continuación describiremos.

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 (PMA: GCA, 2007). Los deslizamientos cartografiados en el área son del tipo traslacional y rotacional; en su mayoría las reactivaciones se encuentran en los flancos y cabecera del deslizamiento principal, presentando escarpas activas semicirculares a rectas.

CAIDAS (DERRUMBES): Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consiste 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 áreas costeras 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 sobre la masa desprendida, se asocian generalmente a erosión en surcos, cárcavas, así como material de flujos recientes. Un evento de estos se puede apreciar en el flanco izquierdo ubicado en la base del deslizamiento.

FLUJOS DE DETRITOS: Se trata de flujos de material detrítico y fino, que se activan con precipitaciones estacionales, debido a la escorrentía superficial, estos depósitos transcurren principalmente a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada, en el caso de Huamancharpa las cárcavas son los medios de transporte del material.

b) DESLIZAMIENTO DE HUAMANCHARPA

El deslizamiento de Huamancharpa, es de tipo traslacional ya que se desplaza a lo largo de la estratificación. Presenta forma semicircular, con grietas tensionales en ambos flancos del deslizamiento. En la parte media se localiza el material desplazado y al borde de este se observan pequeños deslizamientos activos debido al socavamiento del río Huancaro y a la filtración de agua. De igual forma, en el cuerpo del deslizamiento se han identificado procesos de erosión en cárcavas, debido a la filtración de aguas subterráneas y a las fuertes precipitaciones pluviales.

Las dimensiones del deslizamiento de Huamancharpa son:

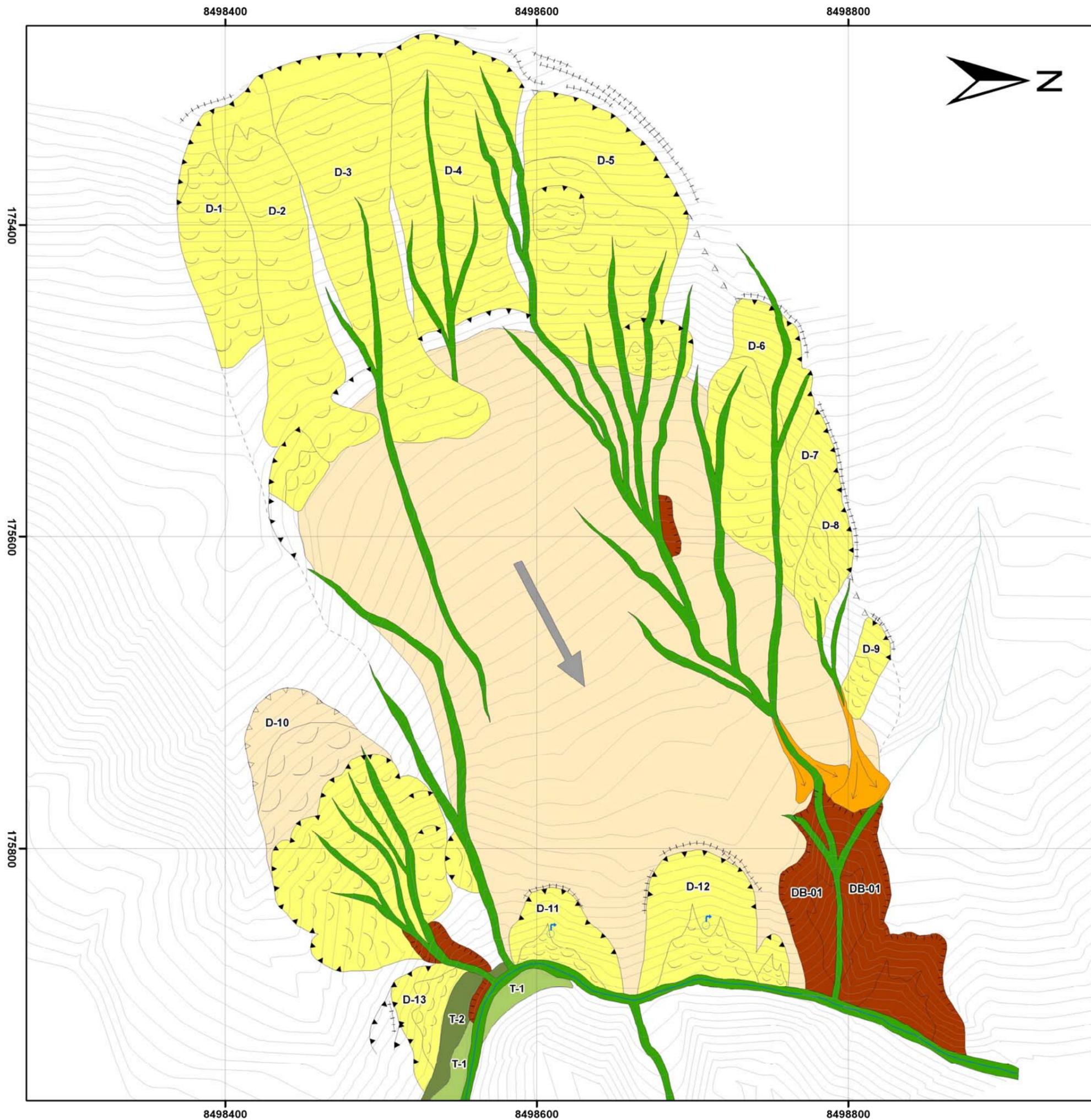
- El escarpe de deslizamiento : 300 m
- Longitud : 650 m
- Ancho promedio : 350 m
- En las altitudes : 3535 msnm – 3860 msnm

Para una descripción detallada del deslizamiento, el área se ha dividido en tres zonas críticas.

- a) Zona alta o cabecera del deslizamiento.
- b) Zona media o cuerpo del deslizamiento.
- c) Zona inferior o base del deslizamiento.

c) ZONAS CRÍTICAS DEL DESLIZAMIENTO DE HUAMANCHARPA

Dentro del deslizamiento de Huamancharpa se ha diferenciado varias zonas con presencia de movimientos en masa (Figura 4), que por sus características geodinámicas constituyen zonas potenciales de riesgo geológico.



MOVIMIENTOS EN MASA

-  DESLIZAMIENTO ACTIVO
-  DESLIZAMIENTO ANTIGUO
-  DERRUMBE
-  FLUJO DE DETRITOS
-  CÁRCAVAS

SIMBOLOGÍA

-  T - 1 TERRAZA 1
-  T - 2 TERRAZA 2
-  DIRECCIÓN DE MOVIMIENTO
-  GRIETAS
-  DRENAJE
-  AFLORAMIENTO DE AGUA
-  CURVA TOPOGRÁFICA

EVALUACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE HUAMANCHARPA
SANTIAGO - CUSCO



DESILIZAMIENTO DE HUAMANCHARPA

0 0.05 0.1 0.2 Km

1:2,500

| | | |
|-------------|-------------|----------|
| PSAD_56_UTM | Zona 19 Sur | Figura 4 |
|-------------|-------------|----------|

a) ZONA O CABECERA DEL DESLIZAMIENTO

En la cabecera del deslizamiento, se observan reactivaciones de deslizamientos de tipo traslacional (Figura 4), debido a la presencia de estructuras a favor de la pendiente (estratificación de la formación Kayra con buzamiento de 55°E) y a la presencia de agua superficial y subterránea, éstas últimas formadas por las infiltraciones de las precipitaciones en los planos de estratificación.

Deslizamiento D-1, ubicado en el flanco derecho, tiene una longitud de 50 m de corona, un ancho promedio de 30 m y una longitud de 150 m entre la corona y la punta del material depositado; la roca se presenta muy intemperizada y diaclasada, presentando los planos de diaclasamiento perpendiculares a la estratificación. En este deslizamiento se pudo observar el plano de estratificación por el cual se viene desprendiendo el material, mostrando un proceso retrogresivo (Figura 5). La masa deslizada evidencia procesos de erosión superficial debido a la escorrentía superficial producto de las precipitaciones pluviales.



Figura 5: En las fotografías se aprecian los escarpes del deslizamiento D-1 (a la izquierda) y D-2 (a la derecha), también se puede apreciar el plano de estratificación de los estratos de la Fm. Kayra.

Deslizamiento D-2, se ubica en la corona del deslizamiento de Huamancharpa tiene una longitud de 40 m de corona, 35 m de ancho promedio y 230 m entre la escarpa y la punta (Figura 4). Este deslizamiento presenta un movimiento retrogresivo, teniendo como plano de deslizamiento la estratificación. Además, sobre el material deslizado se observa erosión en surcos debido a la escorrentía superficial.

Deslizamiento D-3, está ubicado en la parte central de la corona del deslizamiento, con una longitud de 80 m de corona, 60 m de ancho promedio y 260 m entre la corona y la punta del material depositado, este deslizamiento tiene de igual forma como plano de deslizamiento la estratificación de la Formación Kayra (Figura 4), que se encuentra a favor de la pendiente y tiene un rumbo N 15° y buzamiento 55°E, la escorrentía superficial ejerce sobre el material deslizado erosión en surcos y se evidencia procesos de carcavamiento.

Deslizamiento D-4, ubicado también en la parte central de la corona del deslizamiento (Figura 4), presenta una longitud de 90 m de corona, 75 m de ancho promedio y 150 m de longitud desde la corona hasta la punta de la masa desplazada, sobre la cabecera de este deslizamiento se pueden apreciar evidencias de agrietamientos en el flanco derecho; este deslizamiento presenta

movimiento retrogresivo utilizando como plano de desplazamiento a la estratificación.

La infiltración de las aguas pluviales es el principal causante de las reactivaciones de estos dos últimos deslizamientos, al infiltrarse por las grietas, originando debilitamiento del material y posterior deslizamiento. En el material deslizado se presentan evidencias de erosión superficial (carcavas) debido a la escorrentía superficial (Figura 6).

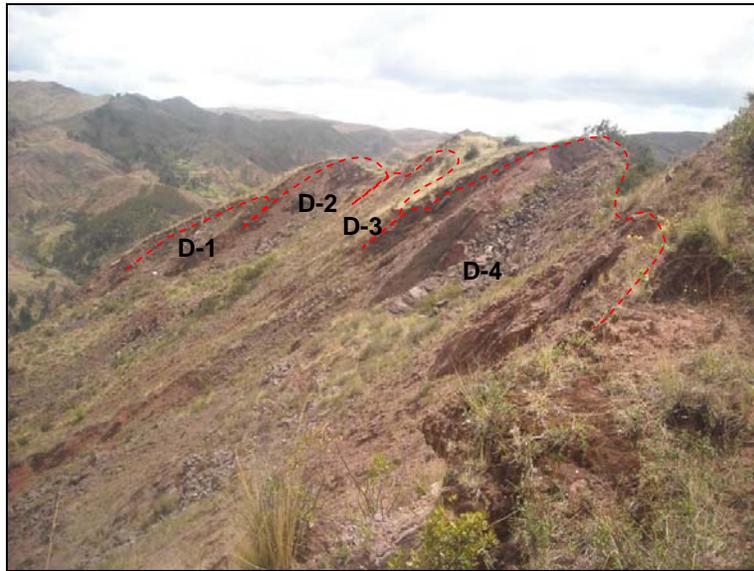


Figura 6: En la fotografía se muestra los escarpes de los deslizamientos y el plano de estratificación (N15°-55°E), esta inclinación de las rocas son aprovechadas por los deslizamientos.

Deslizamiento D-5, es activo y se encuentra ubicado en el flanco izquierdo del deslizamiento de Huamancharpa. Presenta una longitud de 120 m en la corona, 100 m de ancho promedio y una longitud de 160 m desde la corona hasta la punta de la masa desplazada. En su cabecera, se ubican varios segmentos de grietas tensionales con longitudes que varían entre 10 m y 100 m., con 0.30 a 0.40 m de apertura y hasta 0.40 m de salto (Figura 8). Mostrando así la actividad de este y su movimiento retrogresivo. Además se puede observar sobre el cuerpo del deslizamiento erosión superficial en surcos y procesos de carcavamiento, producto de la escorrentía superficial. Finalmente, dentro de la masa desplazada de este deslizamiento, se pueden observar dos reactivaciones locales en la parte central y hacia la base del deslizamiento (Figuras 4 y 7).



Figura 7: Se observa la escarpa principal del deslizamiento de Huamancharpa y en el flanco izquierdo el deslizamiento D-5.

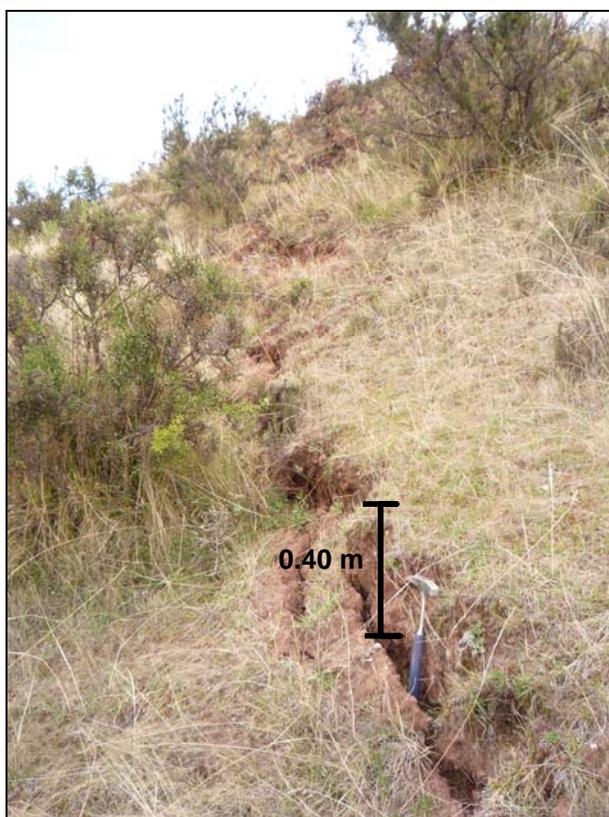


Figura 8: Grietas tensionales ubicadas en la cabecera del deslizamiento D-5 del flanco izquierdo de Huamancharpa.

b) ZONA MEDIA DEL DESLIZAMIENTO DE HUAMANCHARPA

La parte media del deslizamiento de Huamancharpa está constituida principalmente por la masa desplazada del deslizamiento (cuerpo del deslizamiento), encontrándose limitada, en su extremo superior, por un desnivel de 10 m de alto, siendo evidencia, juntamente con las grietas tensionales, de la actividad del deslizamiento. Que hace que la masa desplazada continúe moviéndose en dirección del río Huancaro (Figura 9).



Figura 9. Cuerpo del deslizamiento de Huamancharpa, en líneas negras; en líneas rojas se delimita el límite superior de la masa desplazada.

Además en el flanco izquierdo se observan deslizamientos retrogresivos, que para una mejor descripción les denominaremos D-6, D-7, D-8 y D-9. Estos provocan una expansión y ensanchamiento del flanco izquierdo del deslizamiento (Figura 10). A continuación una breve descripción de cada uno de ellos.

Deslizamiento D-6, es un deslizamiento activo de tipo rotacional, presenta grietas entre 20 y 30 cm en la cabecera, la escarpa tiene una longitud de 80 m en la corona, 60 m de ancho promedio y 170 m de distancia entre la escarpa y la punta del material depositado (Figura 10). El agua de las precipitaciones constituye un factor importante para la actividad de este deslizamiento, ya que el ingreso de ésta por las grietas incrementa la presión de poros (debilitamiento de la masa) y posterior deslizamiento.

Deslizamiento D-7, es de tipo rotacional, con un ancho de corona de 40 m., 30 m de ancho promedio y 100 m de distancia entre la corona y base del deslizamiento. En su cabecera se presentan grietas con 0.30 m de separación, que permiten la infiltración de las aguas de escorrentía, debilitando el material y ocasionan el posterior deslizamiento de este (Figura 10).

Deslizamiento D-8, es también del tipo rotacional, su escarpe tiene una longitud de 60 m, un ancho promedio de 50 y 70 m de distancia entre la corona y la base

del material depositado. Sobre el material deslizado se observan procesos de erosión por cárcavas producto de la escorrentía superficial (Figura 10).

Deslizamiento D-9, tiene una longitud de 30 m de escarpa, 25 m de ancho promedio y 60 m de distancia entre la escarpa y la punta del material deslizado. Se observan grietas en la cabecera, que tienen entre 0.30 a 0.40 m de separación. La infiltración de agua por las grietas, más la escorrentía superficial genera el debilitamiento y reactivación del deslizamiento (Figura 10).

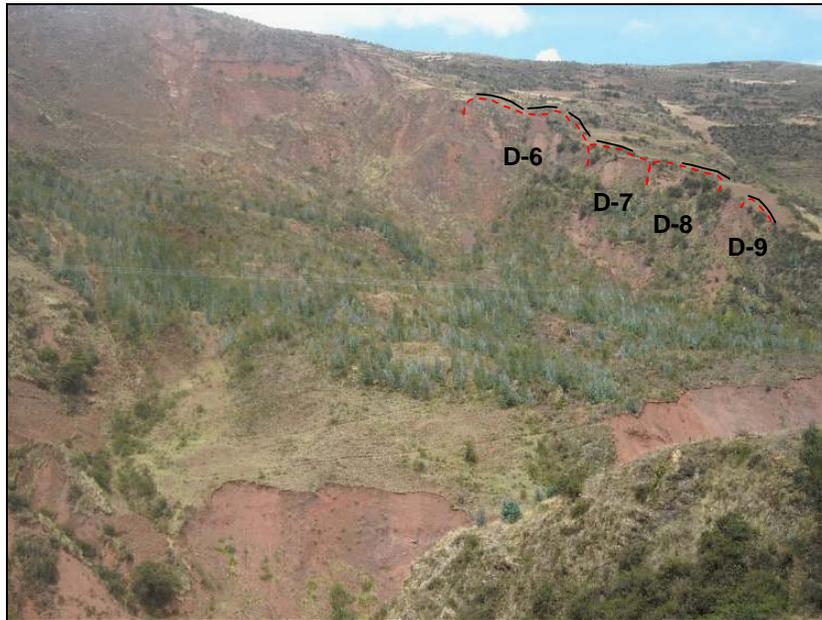


Figura 10. Se observa en líneas punteadas los deslizamientos D-6, D-7, D-8 y D-9 ubicados en el flanco izquierdo del deslizamiento de Huamancharpa, y en líneas continuas de color negro las grietas que existen en la cabecera de cada uno de los deslizamientos.

En la parte media de la masa deslizada se observan procesos de erosión superficial, presentándose en forma de surcos y cárcavas. Estos son causados por el escurrimiento de las aguas de precipitación pluvial sobre la masa deslizada.

Hacia la parte baja, en el lado izquierdo, se evidencian pequeños flujos de detritos (huaycos) que se forman por el arrastre del material suelto, producto de la erosión y con consecuente formación de cárcavas, el agente erosivo principal es el agua de escorrentía (lluvias).

Además identificamos un evento adyacente (D-10) al flanco derecho del deslizamiento de Huamancharpa, este deslizamiento tiene una corona de 50 m de longitud, ancho promedio de 100 m y 220 m de la corona hasta la punta del deslizamiento (Figura 11). En la parte media de este deslizamiento se aprecian desniveles de hasta 10 m en la masa deslizada producto de las reactivaciones con movimiento retrogresivo, donde el agente detonante principal es el agua, es así que en su parte media se aprecian un sistema de cárcavas, los cuales se encuentran debilitando la base del talud.

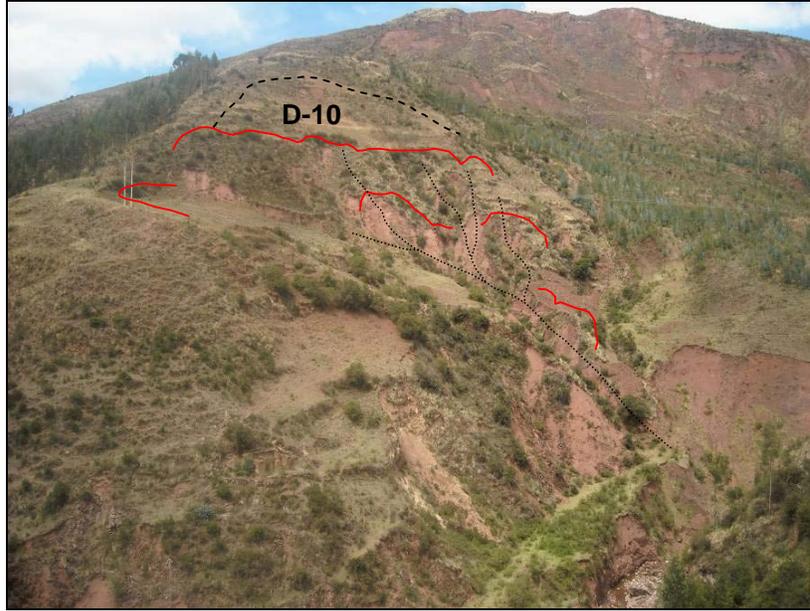


Figura 11: Se observa en línea negra el escarpe del deslizamiento D-10 con reactivaciones en la base en color rojo y en líneas negras punteadas se observa los procesos de carcavamiento generados por la erosión superficial.

c) ZONA BAJA O BASE DEL DESLIZAMIENTO

Esta zona está constituida por un grupo de deslizamientos activos, lo que hace que sea la zona más crítica, conjuntamente con los deslizamientos D5, D6, D7, D8 y D9. A continuación describimos los procesos de movimientos en masa.

Deslizamiento D-11, se ubica en la parte inferior derecha del deslizamiento, tiene una longitud de 30 m en la parte alta de la corona, 50 m de ancho promedio y 67 m de longitud de la corona al pie del deslizamiento, este es del tipo rotacional y retrogresivo. El material comprometido en el deslizamiento está compuesto por arenas, limos y gravas, las cuales presentan una distribución caótica. El deslizamiento presenta grietas en la cabecera que permiten la infiltración de las aguas de lluvia; llegando a aflorar estas por el cuerpo del deslizamiento (Figura 12), generando incremento de la presión de poros, incremento de peso, saturando y modificando las propiedades y resistencia de los materiales, provocando reactivaciones del deslizamiento. De la misma manera un factor fundamental por el cual es activo el deslizamiento es el socavamiento que producen las aguas del río Huancaro (Figura 12).

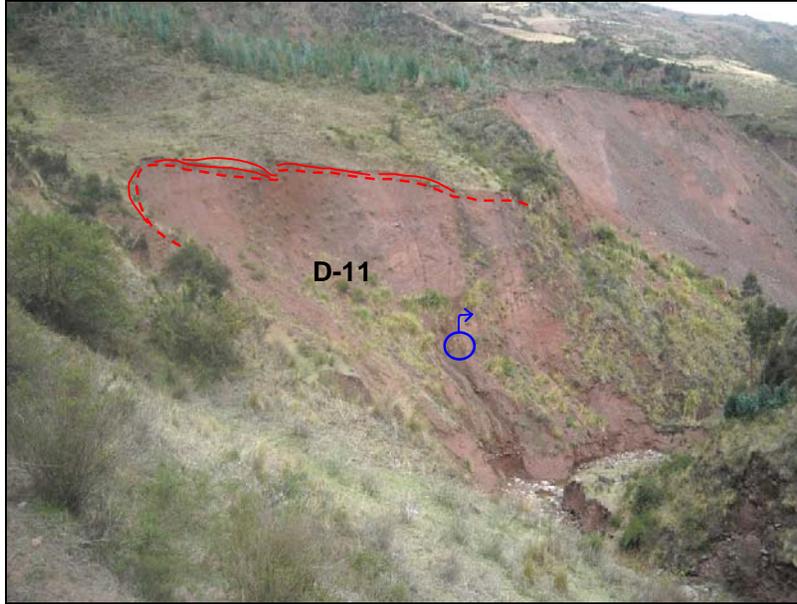


Figura 12. En línea punteada se observa la corona del deslizamiento D-11, en líneas rojas continuas las grietas en la cabecera y en medio de la masa deslizada se aprecia la surgencia de agua (Círculo azul), lo que evidencia la circulación del agua dentro del material deslizado.

Deslizamiento D-12, ubicado en la parte inferior-central del Deslizamiento Huamancharpa, sus dimensiones tenemos 60 m de corona, un ancho promedio de 70 m y 103 m desde la cabecera hasta el piso de valle. Este deslizamiento es del tipo rotacional - retrogresivo, que compromete arenas, limos y gravas, las cuales tiene una distribución caótica. Este deslizamiento presenta en la cabecera grietas de 60 m de longitud, entre 0.15 a 0.20 m de apertura y 0.25 m de desnivel. Sobre la masa desplazada se observan afloramientos de agua, siendo este un condicionante importante para que se reactive el deslizamiento, además del socavamiento causado por el río Huancaro que viene debilitando la base del talud (Figuras 13 y 14).



Figura 13. Escarpa del deslizamiento D-12, ubicado en la base del deslizamiento de Huamancharpa, la reactivación de este deslizamiento el año 2010 generó un pequeño represamiento del río Huancaro en la zona circular.



Figura 14: Se observan grietas de hasta 0.25 m de desnivel sobre la escarpa del deslizamiento D-12

Hacia el lado derecho fuera del límite del deslizamiento de Huamancharpa, se observa el deslizamiento activo D-13, que en su cabecera presenta grietas de 20 m de longitud. En la parte superior de este deslizamiento se observa un desnivel del terreno el cual representa la formación de un nuevo deslizamiento (Figura 15).



Figura 15: Se observa en línea punteada negra la escarpa del deslizamiento D-13 y en líneas rojas las grietas y desniveles en la cabecera del deslizamiento.

Finalmente en el sector izquierdo del deslizamiento se observa intensa erosión causada por la escorrentía superficial, generando la formación de cárcavas que se observa en toda la masa desplazada y consecuentes derrumbes (DB-01). Ver Figura 16.



Figura 16: Cárcava producto de la erosión superficial y consecuente origen de derrumbes en ambos flancos.

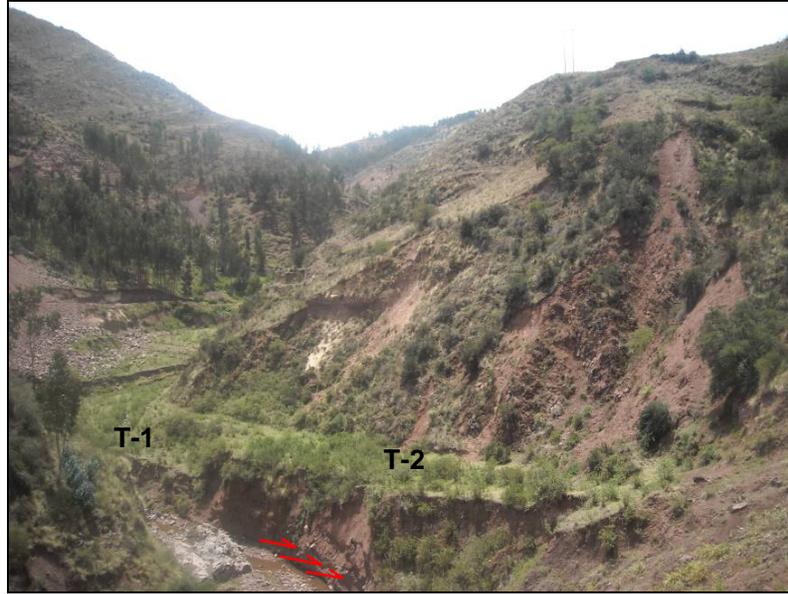


Figura 17: Se observan las terrazas aluviales T-1 y T-2, en la base en flechas rojas se observa el socavamiento producido por el río Huancaro.

Por consiguiente, la ocurrencia de todos los procesos que se presentan dentro del Deslizamiento de Huamancharpa, tienen como causas lo siguiente:

- Litología del substrato, rocas de baja competencia
- El arreglo estructural, que presenta los planos de estratificación a favor de la pendiente, esto condiciona la inestabilidad de toda la masa desplazada.
- Formaciones superficiales o suelos de escaso espesor (suelos residuales y residuo- coluviales), con poca cobertura vegetal (arbustos y espinos).
- Pendiente natural del terreno.
- Lluvias de gran intensidad que ocasionan erosión por escorrentía superficial y la infiltración que ayuda al incremento de la presión de poros, incremento del peso de la masa y incrementando el esfuerzo cortante.
- Presencia de manantiales en la base de la masa desplazada (buena permeabilidad y porosidad de los materiales). El movimiento de las aguas sobre esta masa desplazada, saturan el material, incrementan el peso de la masa y condicionan los deslizamientos en la base.
- La presencia de escarpas de deslizamientos y derrumbes, reactivados por erosión fluvial, infiltración de las precipitaciones y socavamiento del valle.

5. PELIGRO SÍSMICO

La amenaza producida por los terremotos constituye un factor de riesgo sísmico al cual se encuentra sometido un territorio; de ahí que los años que provoquen dependerán de su magnitud y la capacidad de respuesta de las estructuras a la

aceleración a la cual son sometidas. La correcta equivalencia entre estos dos factores permitirá reducir los daños causados por este tipo de desastres.

En el Perú se producen sismos interplaca e intraplaca, los primeros son producto del contacto de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, estos puede tener magnitudes >7 , mientras que los sismos intraplaca se originan por los esfuerzos que produce la subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Placa continental Sudamericana.

Del mismo modo, a lo largo de todos los Andes peruanos se observan fallas activas, uno de los sistemas de fallas más importantes del Perú se encuentra en la Cordillera Oriental, exactamente en la región del Cusco (Figura 18), ubicado en el sur del Perú, entre las fallas más importantes y cercanas al área evaluada tenemos:

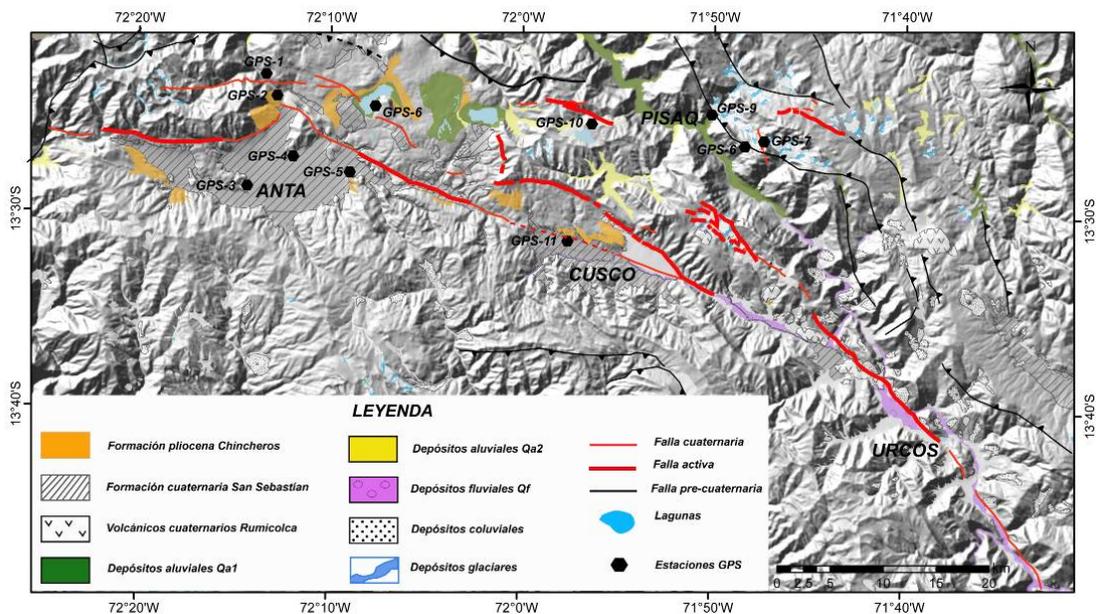


Figura 18: Mapa de ubicación de las fallas geológicas activas en la región del Cusco, las líneas rojas gruesas indican las fallas potencialmente activas. Tomado de Benavente et al., 2010.

La falla Zurite; se ubica al NO del Cusco, tiene 24 km de longitud y está compuesta por pequeños segmentos con rumbos entre $N100^{\circ}E$ y $N115^{\circ}E$ es una falla de tipo normal y afecta depósitos aluviales y morrénicos de edad cuaternaria.

La falla de Tambomachay; ubicada en el borde norte de la ciudad del Cusco, ocupando una longitud aproximada de 17,5 kilómetros. La falla tiene una tendencia E-O, pero hacia el este cambia a rumbo a NO-SE, estando su buzamiento comprendido entre 60° y 70° al sur. La cinemática de esta falla es normal con un salto vertical máximo de 8 m (Figura 19).



Figura 19: Falla Tambochay, vista al norte. En la fotografía se puede observar el escarpe de falla y como la dirección de los drenajes son alterados por la actividad de rumbo de la falla.

La falla Tambomachay es una estructura geológica con una amplia actividad a lo largo del tiempo geológico, su escarpe de falla se encuentra bien conservado a lo largo de 8 km aproximadamente, este posiblemente constituye la última reactivación de la falla.

La falla Qoricocha; ubicada en la Meseta de Chincheros al este de la laguna de Qoricocha, de ahí su nombre. Tiene una longitud de 10 km y una orientación NO-SE e inclinación hacia el sur. (Figura 20).

El sismo de 1986 estuvo asociado a la reactivación de esta falla con un desplazamiento de 40 cm (Cabrera, 1988). La falla corta depósitos palustres, volcánicos y aluviales de edad cuaternaria.



Figura 20: Falla activa Qoricocha, ubicada al norte de la ciudad del Cusco.

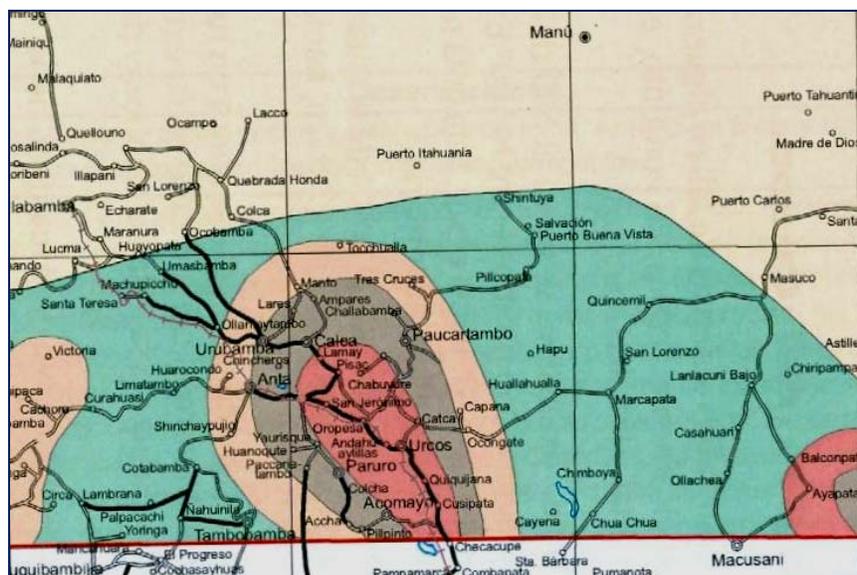
El sistema de fallas Pachatusan ubicadas en la Meseta del Pachatusan al norte de la ciudad del Cusco, esta meseta se encuentra entre el valle del Cusco y el valle del Vilcanota. Este sistema consiste en una estructura principal de 10 km de longitud con una orientación NO-SE y de segmentos más pequeños hacia los extremos entre 3 km a 4 km de longitud con orientaciones E-O y NE-SO (Figura 21).



Figura 21: Segmento de falla del Sistema Pachatusan, esta falla afecta morrenas glaciares y a los volcánicos cuaternarios Rumicolca.

Existe información sobre sismos con diferentes magnitudes en el Cusco, tal como los que describen en crónicas históricas Esquivel y Navia (1775) y Silgado (1978), ellos mencionan la ocurrencia de sismos muy devastadores en la ciudad del Cusco entre los años 1581, 1590, 1650, 1707, 1744, 1746, 1905, 1928, 1941, 1943, 1950, 1965, 1980 y 1986. Estos sismos estuvieron asociados a las fallas geológicas descritas anteriormente.

En cuanto al peligro sísmico, el área de estudio y alrededores, se ubica en la zona de intensidades máximas de IX a VII MM, según el mapa de intensidades máximas elaborado por Hurtado y Meneses (1984) dentro del proyecto SISRA-CERECIS. (INGEMMET, 2003). Ver Figura 22.



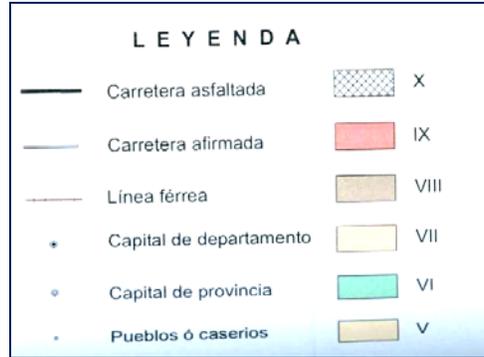


Fig. 22: Curvas de intensidades máximas de Escala de Mercalli modificada.

Según la Norma Técnica de Edificación E.30 DISEÑO SISMORESISTENTE (2003), según la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos, la atenuación de estos con la distancia epicentral y la información neotectónica, el área evaluada corresponde a la Zona 2: Zona de sismicidad media, donde el factor es de 0.3, este factor se interpreta con la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida sus 50 años (Figura 23).

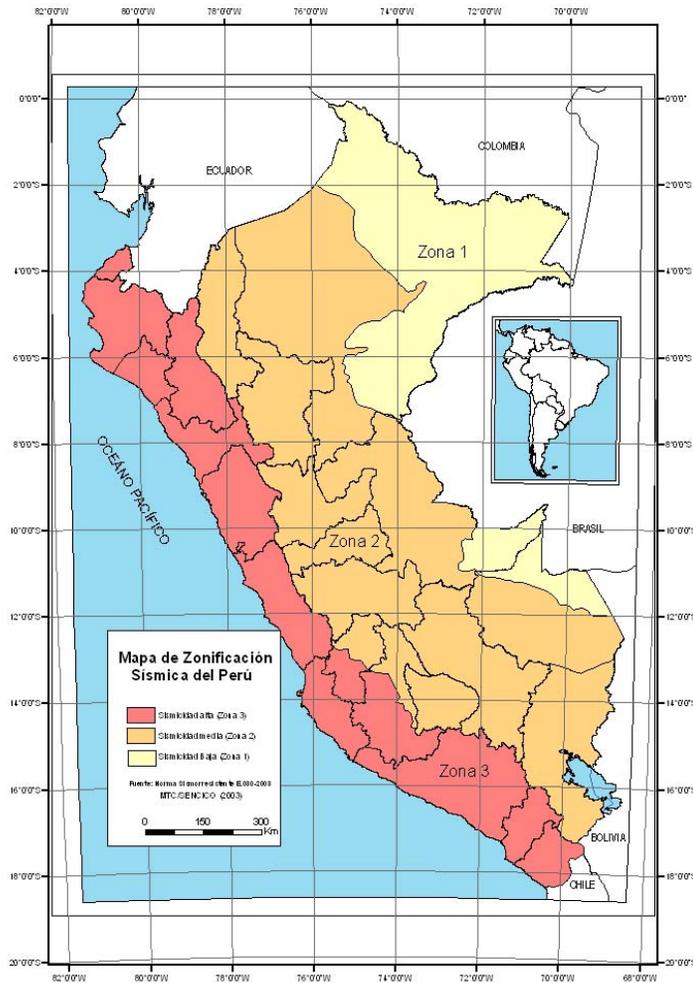


Figura 23: Mapa de Zonificación Sísmica del Perú.

6. CONCLUSIONES

A partir de la información obtenida en los trabajos de campo y de la interpretación de gabinete se puede concluir lo siguiente:

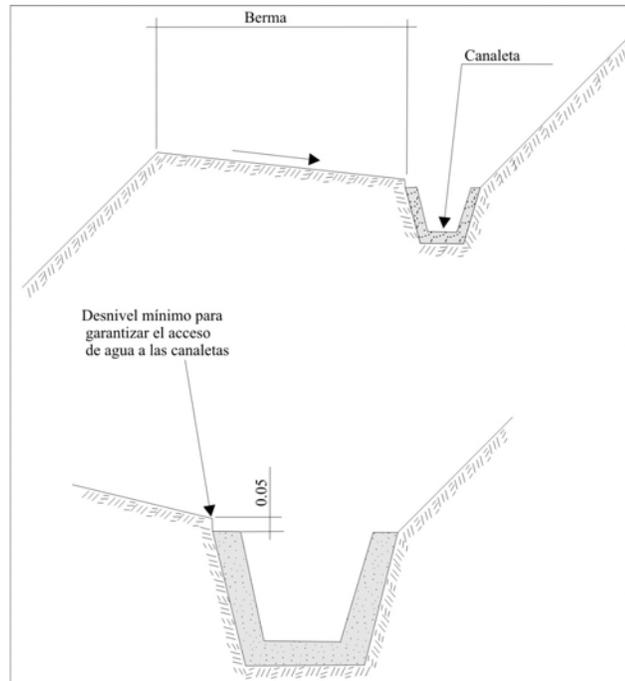
1. En el área de estudio afloran mayormente rocas del grupo San Jerónimo compuestas por intercalaciones de areniscas feldespáticas y limolitas de color rojo. Estas rocas se encuentran alteradas, deformadas, fracturadas y diaclasadas producto de la tectónica, lo que facilita el origen y/o reactivación de procesos de movimientos en masa, como deslizamientos, caída de detritos o derrumbes, flujos de detritos (huaycos), avalanchas; así como también erosión fluvial.
2. El principal factor de desestabilización en el área de estudio es la acción del agua, por un lado la alta permeabilidad del suelo hace que gran parte de la lluvia se infiltre hasta el basamento rocoso iniciando procesos de tubificación que terminan a la larga por desestabilizar el talud.
3. El deslizamiento de Huamancharpa es de tipo trasnacional-retrogresivo, de forma semicircular hacia su cabecera y presenta grietas tensionales en ambos flancos, en la parte media se observa el material desplazado cuyo depósito es de forma alargada producto del movimiento translacional y hacia la parte inferior se observan deslizamientos activos debido a la socavamiento del río Huancaro y a la filtración de agua. De igual forma identificamos en la parte media (cuerpo del deslizamiento) la presencia de cárcavas.
4. Las dimensiones del deslizamiento de Huamancharpa son: 300 m de corona del deslizamiento, 650 m de longitud, 350 m de ancho (promedio) y se ubica entre los 3535 msnm a 3860 msnm.
5. Para una descripción detallada dividimos el deslizamiento en tres zonas críticas:
 - a) Zona alta o cabecera del deslizamiento, donde observa reactivaciones de deslizamientos de tipo trasnacional-retrogresivo en la cabecera del deslizamiento, debido al buzamiento elevado de la estratificación de la Formación Kayra (55°E) y a la presencia de agua superficial y subterránea, éstas últimas formadas por las infiltraciones de las precipitaciones en los planos de estratificación. Además en el flanco izquierdo del deslizamiento se observan varios segmentos de grietas tensionales con longitudes que varían entre 10 m y 100 m aproximadamente, con 30 a 40 cm de apertura y hasta 40 cm de desnivel de la superficie.
 - b) La parte media del deslizamiento de Huamancharpa está constituida principalmente por el cuerpo del deslizamiento (masa desplazada), encontrándose limitada hacia su extremo superior por un desnivel de 10 m de alto, siendo evidencia de la actividad del deslizamiento. Las grietas tensionales, las que hace que la masa deslizada continúe moviéndose en dirección del río Huancaro. Además en el flanco izquierdo de la zona media del deslizamiento de Huamancharpa se observan deslizamientos que provocan la expansión y ensanchamiento del flanco izquierdo del deslizamiento de Huamancharpa.

- c) En la zona baja o base del deslizamiento, se observa grupo de deslizamientos activos de tipo rotacional. La presencia de estos hace que esta sea la zona más crítica, conjuntamente con los deslizamientos ubicados en sus cabeceras del deslizamiento. Los deslizamientos presentan grietas en la cabecera que permiten la infiltración de las aguas de lluvia; llegando a aflorar estas por el cuerpo del deslizamiento, las cuales generan presiones intersticiales e incremento del peso, saturando y modificando las propiedades y resistencia de los materiales. Factores que provocan las reactivaciones del deslizamiento. De la misma forma un factor fundamental por el cual es activo el deslizamiento es la erosión fluvial (socavamiento) que producen las aguas del río Huancaro.
6. Por consiguiente la ocurrencia de todos los eventos que se dan dentro del deslizamiento de Huamancharpa, tienen como origen o causas principales las siguientes:
- a) Litología del substrato son rocas de baja competencia.
 - b) El arreglo estructural que presenta planos de estratificación a favor de la pendiente, estos condiciona la inestabilidad de toda la masa desplazada.
 - c) Formaciones superficiales o suelos de escaso espesor (suelos residuales y residuo- coluviales), con poca cobertura vegetal (arbustos y espinos).
 - d) Pendiente natural del terreno.
 - e) Lluvias de gran intensidad que ocasionan erosión por escorrentía superficial e infiltración que ayuda al incremento de la presión de poros, incremento del peso, disminuyendo el esfuerzo cortante.
 - f) Presencia de manantiales en la base de la masa desplazada y el movimiento de las aguas sobre esta masa desplazada saturan los poros y aumentan de peso, y condicionan los deslizamientos en la base.
 - g) La presencia de escarpas de deslizamientos y derrumbes, reactivados por erosión fluvial (socavamiento de los taludes del valle); la infiltración del agua de precipitaciones.
 - h) El peligro sísmico en el área evaluada es alto, debido a la presencia de fallas geológicas activas como son: Zurite, Chincheros-Qoricocha, Tambomachay y Pachatusan.
7. Por lo expresado líneas arriba, el deslizamiento de Huamancharpa, constituye **peligro inminente** para los centros poblados y obras de infraestructura localizados aguas abajo del represamiento.

7. RECOMENDACIONES

- El principal factor de desestabilización de la zona es el agua (precipitaciones pluviales y subterráneas), por un lado la alta permeabilidad del suelo hace que gran parte de la lluvia se infiltre hasta el basamento rocoso iniciando procesos de "tubificación" que terminan a la larga por desestabilizar el talud. Para poder mitigar los efectos erosivos del agua se plantean las siguientes obras de protección:
 - a) Construcción de zanjas de drenaje en los flancos y sobre la cabecera del deslizamiento con la finalidad de coleccionar las aguas de las lluvias y drenarlas fuera del deslizamiento.
 - b) En el cuerpo del deslizamiento se debe construir zanjas de drenajes tipo espina de pez, con canales revestidos con geotextiles y piedra con arcilla. Un primer canal en la parte superior con la finalidad de interceptar el escurrimiento en la zona de mayor pendiente; el segundo canal en la parte media del deslizamiento con la finalidad de evitar la infiltración de las aguas en la masa desplazada del deslizamiento, la que podría generar el avance de los deslizamientos de la base.
 - c) Ambos canales revestidos, deben desembocar a un canal longitudinal con la finalidad de conducir el agua de escorrentía hacia el río Huancaro sin profundizar (erosionar) las cárcavas, utilizando para ellos disipadores de energía tipo escaleras y saltos hidráulicos.
 - d) Se debe construir terrazas de estabilización en la parte media del deslizamiento, con la finalidad de mejorar el ángulo de reposo de los materiales, de manera que no ejerzan esfuerzos sobre los deslizamientos actuales. Además estas obras pueden servir como disipadores si ocurriera un deslizamiento en la zona alta, asimismo evitar de que el material llegue hasta el río.
 - e) Las zonas del actual deslizamiento se encuentra expuestas a la erosión del agua y del viento debido a que no poseen cobertura vegetal, para ello se propone colocar una geomanta o biomanta que tiene la función de servir de soporte a la cobertura vegetal y a la vez protegerlo de los agentes erosivos.
 - f) En la base del deslizamiento es necesario construir obras flexibles que se amolden a la deformación de los deslizamientos activos, estas obras pueden ser gaviones
 - g) Se debe dar mantenimiento periódicamente a los canales o zanjas para evitar la colmatación de estos.

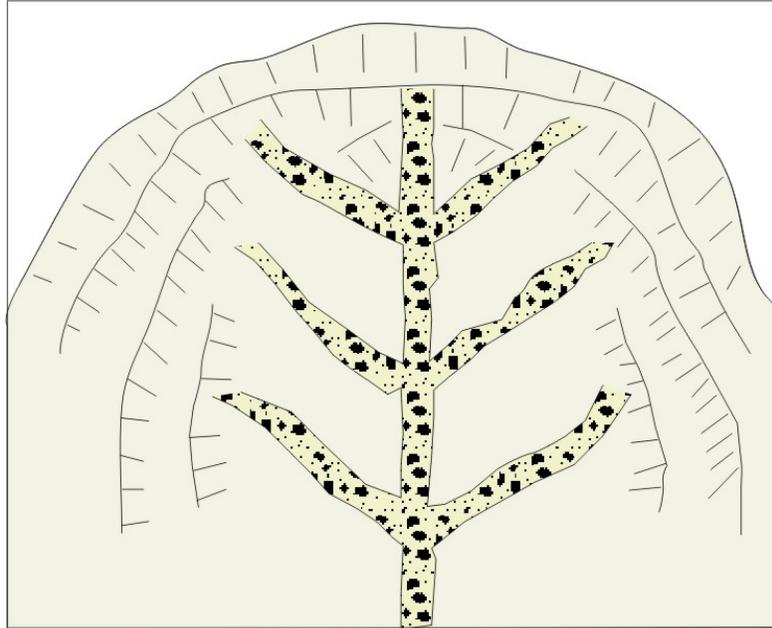
ANEXOS



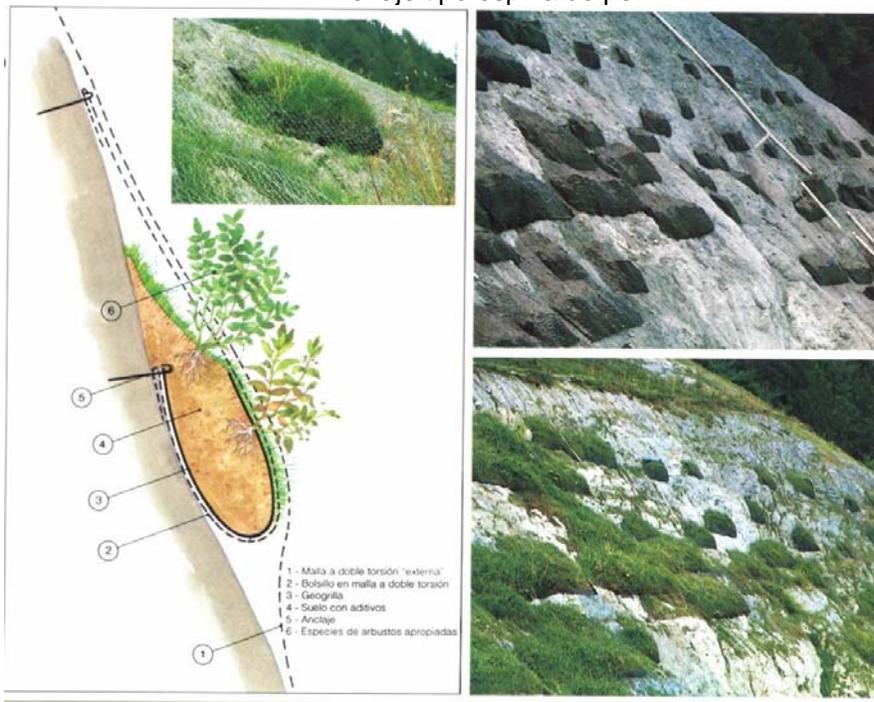
Detalle una canaleta de drenaje superficial.



Combinación de muro de contención o contrafuerte en el pie de deslizamiento activo (con gaviones) y canalización de quebrada en la margen derecha (vista aguas arriba).



Drenaje tipo espina de pez.



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.

1. REFERENCIAS

BENAVENTE C. & TAIBE 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.; FERNANDEZ, C. & CASOS, G. (2003), Estudio Geológico, geodinámico, análisis de estabilidad de taludes, predicción de riesgo del deslizamiento de Huamancharpa, Informe Centro de Educación y Capacitación Guamán Poma de Ayala, Cusco, 44 p.

ESQUIVEL & NAVIA, (1775). Noticias Cronológicas de la gran ciudad del Cusco. Tomo I y II.

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.

HUNGR, O.; EVANS, S.G.; BOVIS, M. & HUTCHINSON, J.N. (2001), Review of the classification of landslides of the flor type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p. 22-238.

HURTADO A. & MENESES J. (1985). Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. CERESIS-Proyecto SISRA, Lima.

SILGADO, F. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). INGEMMET. Bol.. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 3, 130 p.

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