

REPÚBLICA DEL PERÚ

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET

INFORME TECNICO

**GEOLOGIA, GEODINAMICA Y ESTABILIDAD DE TALUDES
DE LA QUEBRADA CHINGO GRANDE
SAYLLA - CUSCO**

Por:

Victor Carlotto
Martin Oviedo
Patricio Valderrama
Lionel Fidel
Dana Gutierrez
Ronald Concha
Igor Astete



ENERO, 2008
LIMA - PERÚ



CENTRO QVAMAL
POMA DE AYALA

I. INTRODUCCIÓN

En la quebrada Chingo Grande, en el distrito de Saylla, provincia de Cusco, el día 29 de Noviembre del 2007 ocurrió un fenómeno de movimiento en masa compuesto por deslizamiento y flujo tipo aluvión, pero de movimiento muy lento y algo seco. El fenómeno produjo daños y afectó a unas 8 familias debido a que destruyó sus viviendas que estaban construidas en la quebrada. El flujo que fue muy lento, lo que dio tiempo a que las personas salven sus vidas y sus pertenencias.

El día 30 de Noviembre el INGEMMET se hizo presente y realizó una primera evaluación que desembocó en un informe de inspección donde se dieron las conclusiones y recomendaciones preliminares (Carlotto, 2007). Las semanas del 17 al 31 de diciembre del 2007 se ejecutaron los estudios de geología, geodinámica y estabilidad de taludes mediante el convenio entre el INGEMMET y el Centro Guaman Poma de Ayala institución que dio el apoyo logístico y realizó los pagos de los ensayos de mecánica de suelos.

1.1. Ubicación

El sector de Chingo Grande se localiza en el distrito de de Saylla, provincia y región Cusco. La quebrada de Chingo Grande tiene una dirección noreste-suroeste y norte-sur (Fig. 1) (Foto 1), y en la parte afectada se halla entre los 3250 y 3150 msnm.

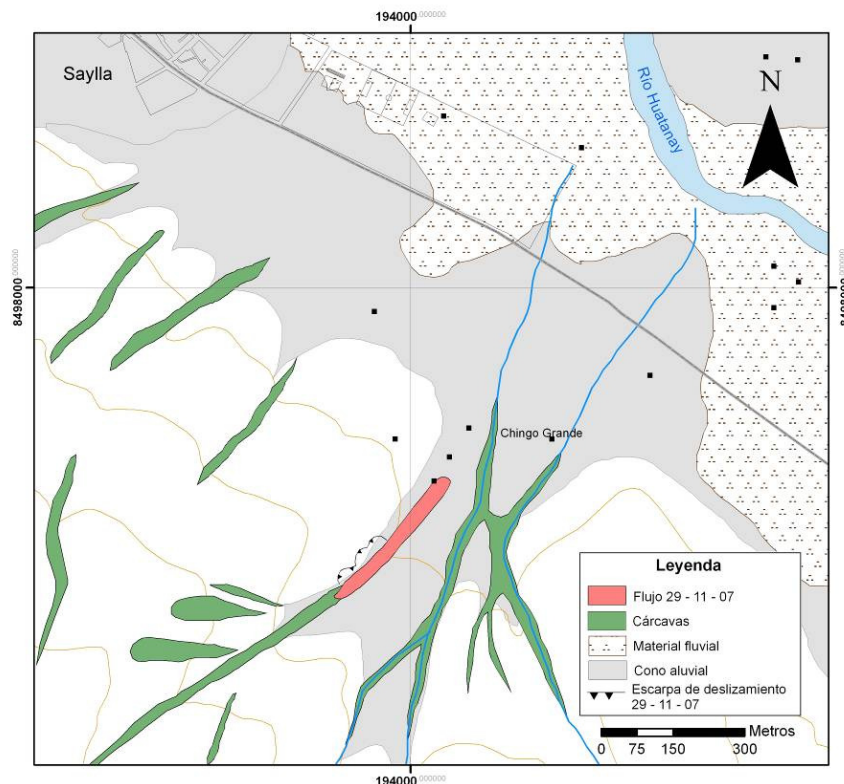


Fig. 1 Mapa mostrando las escarpas de deslizamiento y el flujo producido el 29-11-07

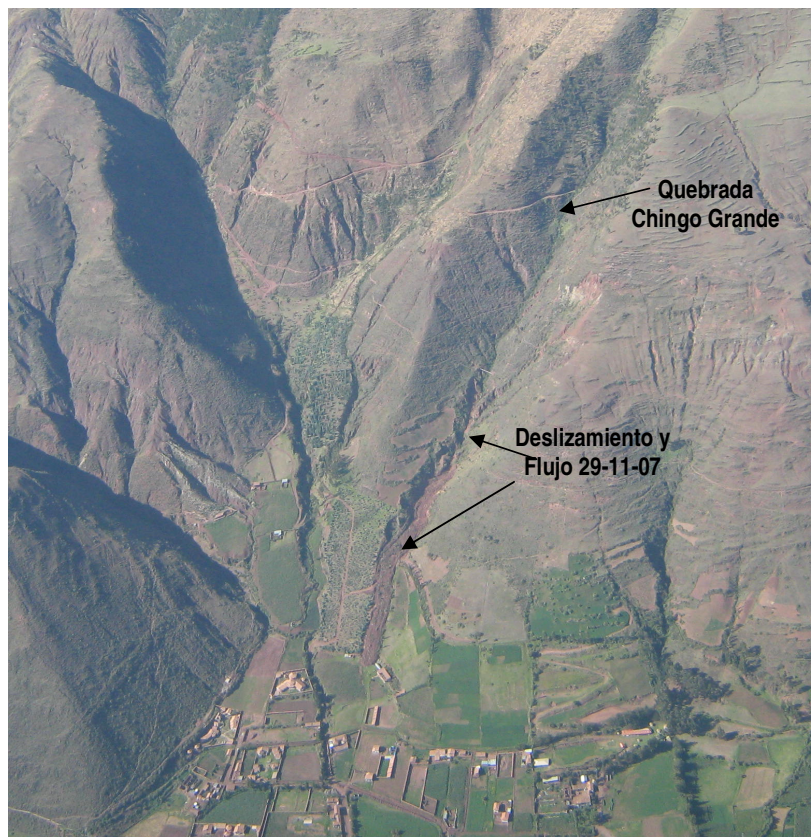


Foto 1. Ubicación de la quebrada Chingo Grande mostrando el flujo que afectó la zona. Vista aérea tomada hacia el sur.

1.2. Clima

En forma general, el clima está caracterizado por la alternancia de una estación seca (abril a agosto), y otra con precipitaciones pluviales incipientes (septiembre a noviembre) y finalmente tres meses con mucha lluvia (enero a marzo).

El clima se caracteriza como templado y seco; durante el día las temperaturas suben, la insolación es fuerte con un cielo limpio y azulado, durante la noche las temperaturas descienden fuertemente, en invierno incluso puede llegar a menos de cero grados centígrados.

1.2.1. Precipitación pluvial y temperatura

Para la zona de estudio se han realizado Evaluación Hidrológica de la microcuenca de Saylla-Chingo Grande (Manrique, 2008) de donde se ha obtenido los valores de precipitación y temperatura. Así la precipitación regionalizada total para la zona de estudio es 876.07 mm, y una temperatura regionalizada promedio de 11.6°.

1.3 Objetivos

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la geología, geodinámica externa y la estabilidad de taludes del deslizamiento y flujo ocurrido el día 29-11-07, con la finalidad de determinar su grado de peligrosidad. El otro objetivo es determinar el comportamiento del flujo de detritos y bloques, y la posibilidad de que pueda sufrir reactivaciones creando nuevos flujos y afectar las viviendas.

Igualmente, se programó la evaluación geológica y geodinámica de la parte media de la quebrada Chingo Grande donde y determinar el peligro de las obras hidráulicas existentes en este sector. Finalmente, se planteó realizar las recomendaciones para tomar acciones de prevención y mitigación.

Tabla 1. Precipitación regionalizada para la zona de estudio (Manrique, 2008)

PRECIPITACION REGIONALIZADA PARA LA ZONA DE ESTUDIO	
MES	MARGEN DERECHA
	SAYLLA
ENE	185.69
FEB	152.59
MAR	128.21
ABR	57.22
MAY	10.12
JUN	4.94
JUL	4.10
AGO	8.31
SEP	26.11
OCT	61.54
NOV	97.03
DIC	140.20
TOTAL	876.07

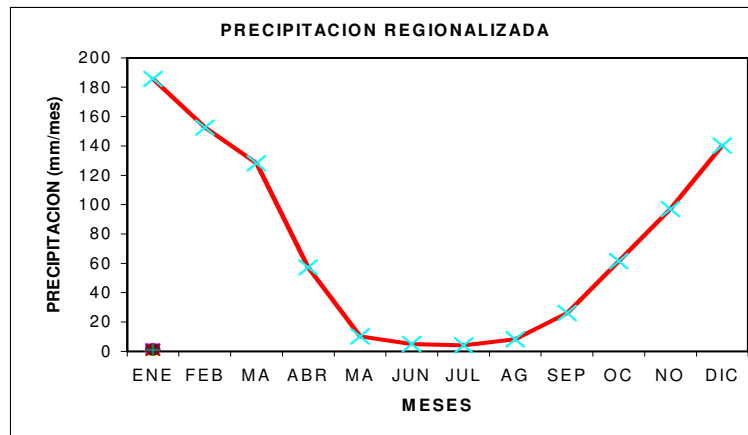
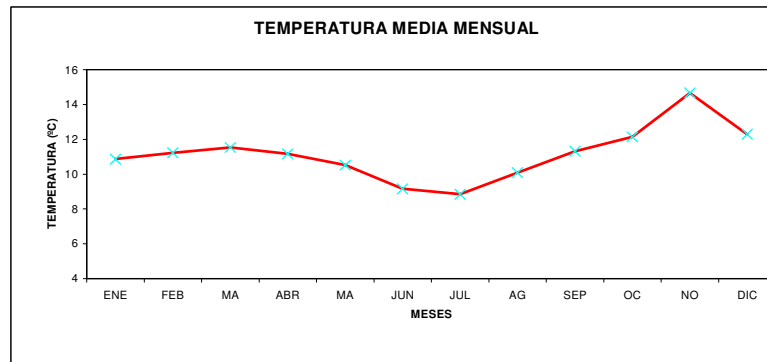


Tabla 2. Resumen de temperatura media mensual regionalizada para la zona de estudio (Manrique, 2008)

MICROCUCENCAS	ALTITUD msnm	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C) REGIONALIZADA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
SAYLLA	3426	10.87	11.23	11.54	11.17	10.53	9.16	8.84	10.09	11.33	12.15	14.67	12.30	11.16



II. GEOLOGÍA

2.1. Geomorfología

Desde el punto de vista morfológico la zona de estudio corresponde a una quebrada que se halla entre el piso de valle del río Huatanay y la ladera norte de las Serranías de Vilcacongca (Foto 1). En las márgenes de esta quebrada se han desarrollado una serie de cárcavas, tanto en roca, así como en depósitos cuaternarios. La quebrada nace a una altura de 4150 msnm y confluye a 3160 msnm, en la quebrada aledaña situado al este (según foto aérea del IGN del año 1963), la que a su vez desemboca en el río Huatanay a 3125 msnm (Figs 1 y 2). La diferencia de cotas en esta quebrada es de casi 1000 m, y la pendiente es de 14°. En la parte alta, la quebrada es relativamente estable por la presencia de areniscas de la Formación Kayra. En la parte media aparecen deslizamientos antiguos, en vías de reactivación, cárcavas estables e inestables, ya que se hallan sobre afloramientos de areniscas y lutitas frágiles y deleznales de las formaciones Quilque y Chilca. En la parte baja, es frecuente ver cárcavas desarrolladas principalmente sobre depósitos aluviales y coluviales.

Respecto a la desembocadura, en las fotos aéreas del año 1963 se aprecia que la quebrada Chingo Grande desembocaba en la quebrada aledaña situada al este, sin embargo en las fotos aéreas del año 90, la quebrada ya estaba rellena mostrando pastos y terrenos de cultivo.

2.2. Estratigrafía

En la zona de estudio se presentan varias unidades estratigráficas que tienen relación directa con los fenómenos de movimiento en masa que se presentan. Afloran rocas de las formaciones Puquín, Quilque, Chilca, Kayra y depósitos cuaternarios (Foto, 2 y Fig. 2).

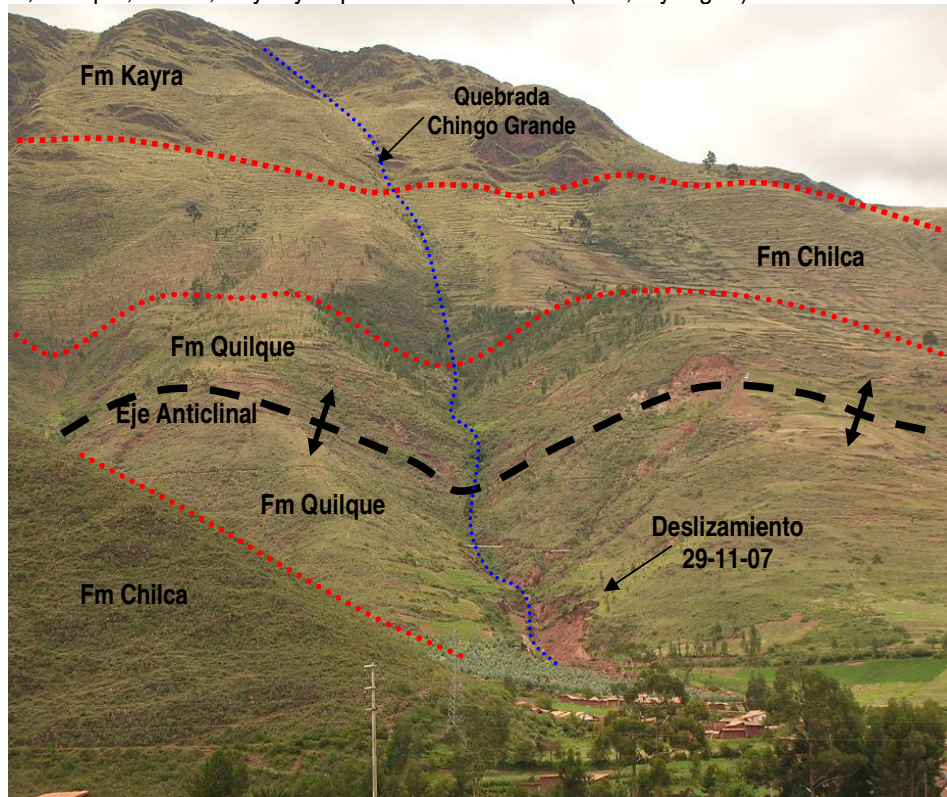


Foto 2. Quebrada Chingo Grande mostrando la geología y la escarpa del deslizamiento.

Formación Puquín

Esta unidad pertenece al Grupo Yuncaypata y aflora en el núcleo del Anticlinal de Saylla (Fig. 2). Está compuesta esencialmente por lutitas verdes, moradas y rojas de origen lacustre, intercaladas con capas de areniscas de origen fluvial. El espesor de esta unidad es variable entre 100 y 300 m y la edad es Cretácica superior. La gran variedad litológica de este grupo indica rocas que presentan diferente comportamiento geotécnico, desde buena hasta mala calidad. Las lutitas son malos materiales, puesto que sobre estas se ha producido algunos deslizamientos, derrumbes y cárcavas. Sin embargo las capas de areniscas que aparecen en esta unidad, tienen características aceptables, pero por su poco espesor y su fracturamiento, en conjunto con las otras rocas, lo hace de mala calidad. Por otro lado, las areniscas pueden constituir pequeños acuíferos que alimentan la quebrada Chingo Grande.

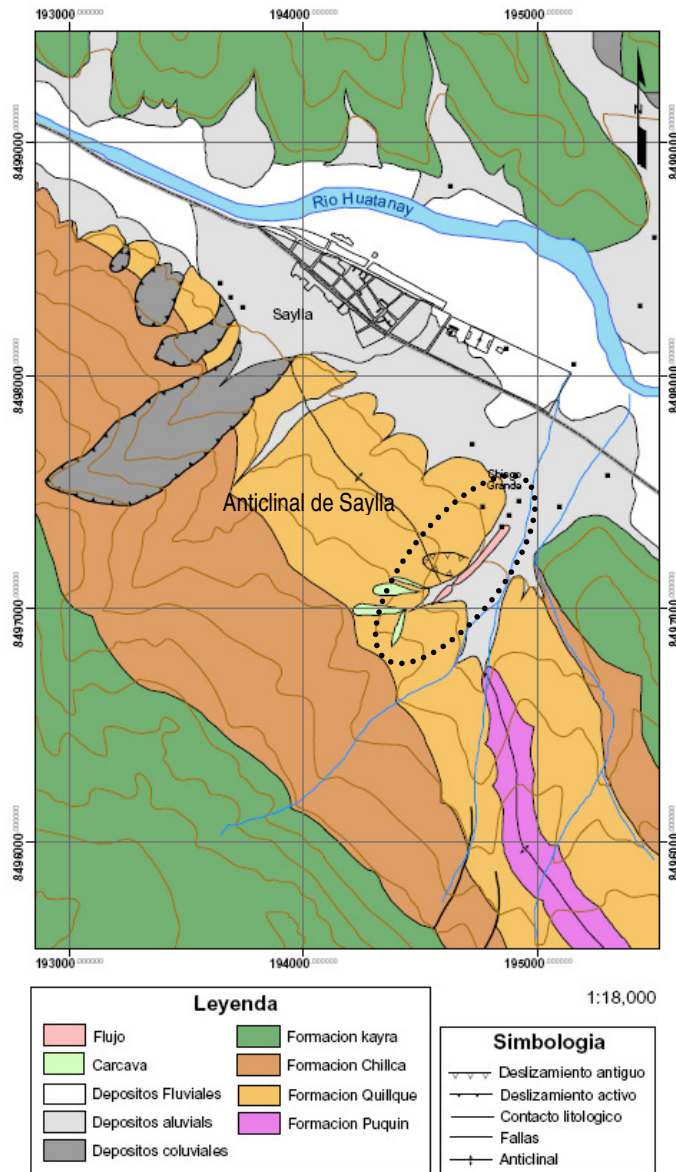


Fig. 2. Mapa Geológico de la zona de Saylla y alrededores mostrando la zona donde se produjo el deslizamiento y flujo el 29-11-07

Formación Quilque

Es un conjunto de más de 250 metros de lutitas, areniscas de color rojo y micro-conglomerados de origen lacustre y fluvial, de edad Paleoceno inferior. En la zona de estudio, estas rocas se hallan fuertemente fracturadas. Desde el punto de vista mecánico, son rocas de muy baja resistencia, por lo que, la realización de obras civiles, particularmente hidráulicas, es negativa, ya que en presencia de agua estas rocas colapsan fácilmente. En la zona de estudio la mayor cantidad de cárcavas, deslizamientos antiguos y activos se han originado sobre estos materiales que están fuertemente fracturados, son frágiles y además deleznable (Foto 3).



Foto 3. Areniscas y limolitas muy fracturadas de la Formación Quilque

Formación Chilca

Esta unidad está compuesta de lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas de medios lacustres, de edad Paleoceno superior y con más de 200 m de espesor. Estas lutitas pasan a areniscas rojas feldespáticas de origen fluvial. En general, estas rocas también son de mala calidad ya que desarrollan deslizamientos, derrumbes y cárcavas. Sin embargo, las areniscas de la parte superior son rocas medianamente aceptables para las construcciones.

Formación Kayra

Esta formación se presenta en la parte alta de la quebrada Chingo Grande y se extiende ampliamente en la ladera sur del valle del Huatanay. Está constituida por areniscas intercaladas con lutitas rojas y micro-conglomerados. Esta unidad es una de las más importantes, no solamente por la extensión de los afloramientos y el espesor de sedimentos, sino por que constituye el principal acuífero de la cuenca. Además, son rocas que forman laderas estables y en general, son favorables para las obras civiles.

Depósitos Cuaternarios

En la zona de estudio se han reconocido depósitos aluviales y coluviales (Fig. 2)

Los depósitos aluviales están compuestos por gravas areno-arcillosas con clastos de hasta 30 cm y promedio 5 cm, subangulosos a subredondeados (Foto 4). Son el resultado de la depositación de aluviones antiguos en la desembocadura de la quebrada Chingo Grande, en una planicie que llega incluso hasta el río Huatanay. Son estos materiales que han sido afectados por el deslizamiento del 29-11-07 y arrastrados por el flujo.



Foto 4. Depósitos aluviales del cono de Chingo Grande.

Los depósitos coluviales son arcillosas gravosas producto de la descomposición de las rocas sedimentarias aflorantes. Los clastos de las gravas tienen tamaños mayores de 10 cm y el promedio de 2 a 3 cm. En la zona de estudio son parte de unos deslizamientos antiguos particularmente del DA-1.

2.3. Tectónica

Las rocas de la zona de estudio hacen parte del anticlinal de Saylla de dirección NO-SE (Fig. 2). El eje del anticlinal pasa por la parte media de la quebrada Chingo Grande, lo que hace que la roca esté fuertemente fracturada y favorezca su disgregación. Las fracturas muestran dos direcciones principales NO-SE y NE-SO. En consecuencia, se puede deducir que la mayor cantidad de fenómenos de movimiento en masa que se halla en el eje de anticlinal, está en relación a la mayor deformación, lo que es un factor adicional a las magras características mecánicas que presentan las rocas de la formación Quilque que hace parte del núcleo del anticlinal de Saylla (Fig. 2 y Foto 2).

III. GEODINÁMICA EXTERNA

3.1. Introducción

El día 29 de noviembre del 2007 a las 5.45 p.m. ocurrió un fenómeno de movimiento en masa compuesto, es decir, formado por un deslizamiento mayor y flujos de detritos. Este fenómeno se originó en la parte media de la quebrada Chingo Grande a una altitud aproximada entre 3250 y 3275 msnm. Las escarpas del deslizamiento se hallan en la margen izquierda donde afectó los depósitos aluviales y muy escasamente los coluviales del antiguo deslizamiento (Figs 2 y 3). El material involucrado en el deslizamiento corresponde a gravas areno-arcillosas. En la parte baja de la escarpa existían algunos manantes que alimentaban la intensa vegetación nativa y también de eucaliptos. El material deslizado se transformó en un flujo (Foto 5) pero de movimiento lento lo que permitió que las familias afectadas puedan salvarse e incluso salvar alguna de sus pertenencias. Como consecuencia del deslizamiento, el caudal de los manantes que era de 1 a 2 lt/s, se incrementó a más de 10 lt/s. Actualmente, el caudal ha bajado a sus índices normales.

Los estudios realizados comprenden la cartografía y descripción de los fenómenos incluyendo no solo los ocurridos el 29-11-07 sino también otros mas antiguos, como el de febrero del 2007. Se ha realizado una evaluación geodinámica de la parte media de la quebrada Chingo Grande, por donde existen obras hidráulicas, para ver el grado de peligrosidad a nuevos aluviones y, además para ver si hubo alguna relación entre fugas de agua y el fenómeno del 29-11-07. Asimismo, se ha realizado el cálculo de estabilidad de taludes de un deslizamiento antiguo encima del deslizamiento mayor del 29-11-07. Todos estos datos han permitido saber las causas de los fenómenos, y han servido para poder plantear las recomendaciones necesarias.



Foto 5 Deslizamiento y flujo que afectó la quebrada Chingo Grande el 29-11-07

3.2. Descripción del Fenómeno ocurrido el 29/11/2007

El fenómeno ocurrido es un movimiento en masa complejo, formado por un deslizamiento y por un flujo. Cada uno de estos son descritos de acuerdo al mapa geodinámico levantado (Fig. 3).

a) Deslizamiento

El día 29 de noviembre del 2007 ocurrió un deslizamiento mayor que se transformó en un flujo (Foto 1). Actualmente dentro del deslizamiento mayor se aprecian 4 escarpas menores, así como el material de relleno de la última reactivación, el que sobreyace sobre material deslizado de las primeras reactivaciones y primeros flujos. Se han cartografiado las 4 escarpas que son continuas y superpuestas, localizados entre el eje de la quebrada y la margen izquierda (Foto 6).

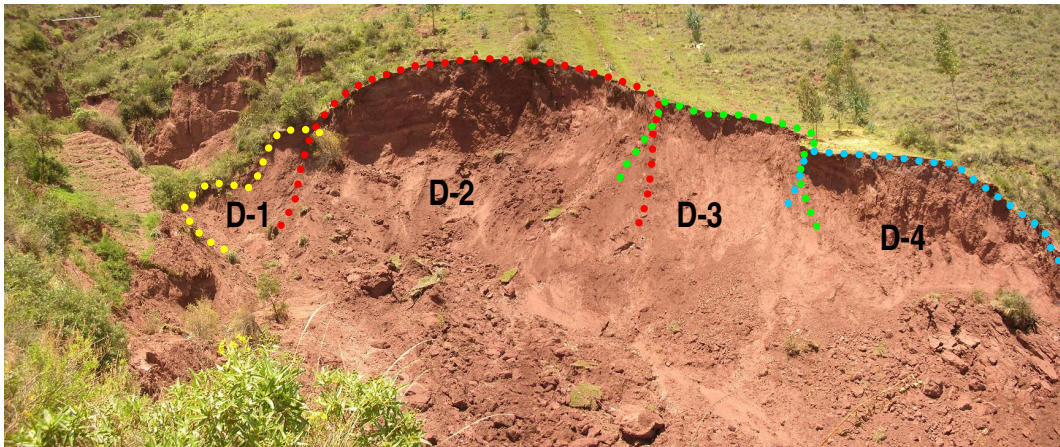


Foto 6. Escarpas de deslizamientos menores que hacen parte del deslizamiento mayor del 29-11-07

Escarpa D-1

Se ubica en el cauce de la quebrada a una altura 3255 msnm. Es de forma semicircular y del tipo rotacional (Foto 7), pero está parcialmente erosionada por aguas que fluyen por la quebrada y además, cubierta por pequeños flujos de lodo que pasaron por el cauce. Sus dimensiones son 6 x 10.5 m, el desnivel de 2 m, lo que da una pendiente de 45°. Afecta a las gravas arenosas del cono aluvial y por lo tanto, el material deslizado es de la misma composición. La escarpa D-1 está superpuesta por la escarpa D-2 reactivada (Foto 8).

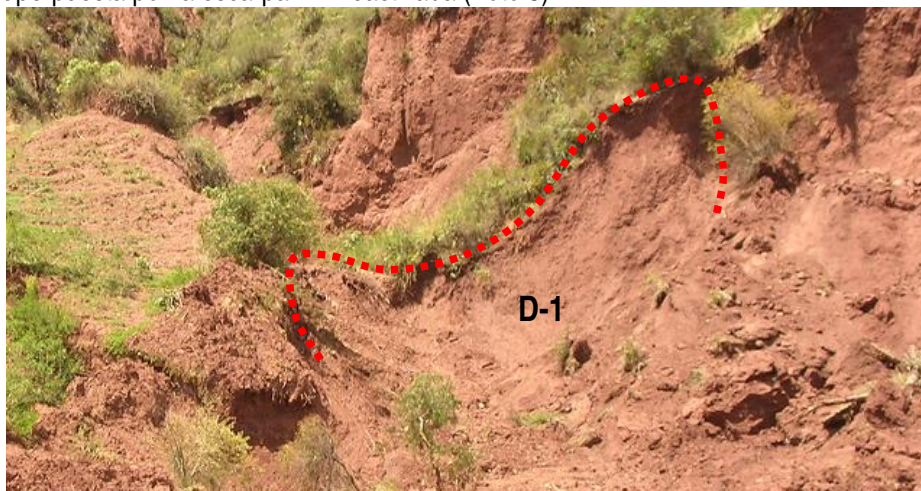


Foto 7. Escapara de deslizamiento de D-1

Al pie de deslizamiento, ahora es posible observar un flujo de lodo reciente F-5 (Foto 8) que ha terminado de rellenar el cauce previamente rellenado por otros flujos (Fig. 3). La escarpa corresponde a un último movimiento, porque otros anteriores se desarrollaron en el mismo sitio. Encima de la cabecera activa se tiene una zona relativamente plana donde se aprecia flujos de lodos ocurridos en Febrero del 2007, de pequeñas dimensiones. Aquí ha favorecido la presencia de agua que viene del mismo cauce ($< 1 \text{ lt/s}$), cuyo origen son las fuentes que existen aguas arriba de la quebrada Chingo Grande.

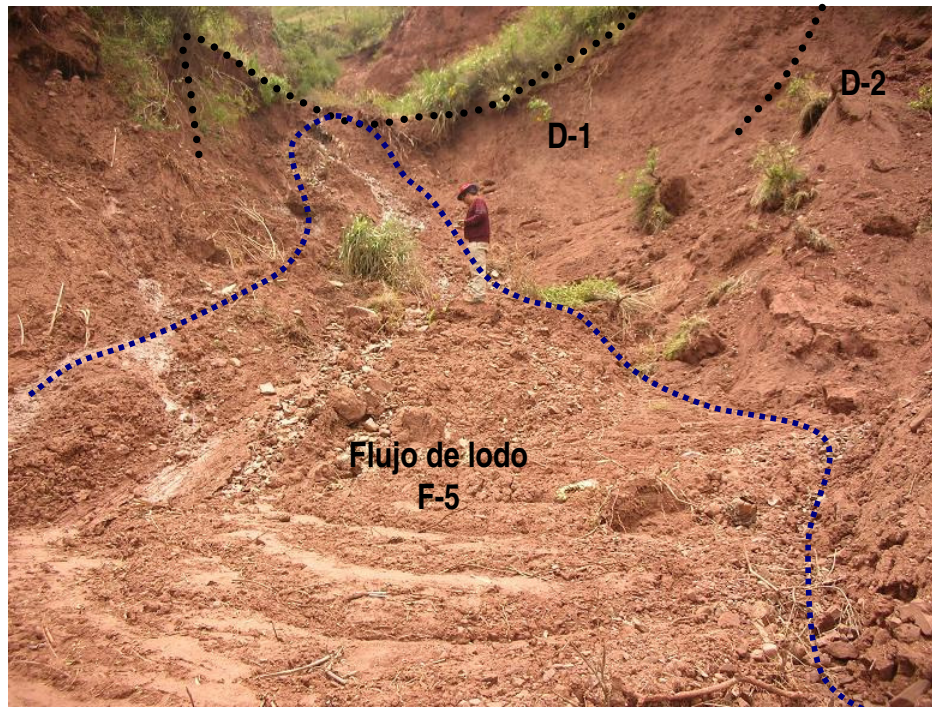


Foto 8. Escarpa D-1 y el último flujo de lodo observado y asociado al fenómeno del 29-11-07

Desde el punto de vista de la estabilidad de taludes, aquí no hemos realizado el muestreo para el cálculo de estabilidad de taludes, por ser un deslizamiento muy pequeño, con pendientes bajas, al igual que el material comprometido. Sin embargo, se pueden presentar flujos de lodo de la parte alta donde hay deslizamientos y cárcavas activas, los que pueden erosionar el cauce, o represar y desencadenar nuevos flujos.

Escarpa D-2

Esta escarpa se sitúa en la margen izquierda de la quebrada Chingo Grande, es la más grande del deslizamiento mayor. La escarpa situada a 3255 msnm, es del tipo rotacional, con 45 x 28 m, un desnivel de 23.5 m y una pendiente mayor a los 85° (Foto 9).



Foto 9. Escarpa D-2 y parte de material deslizado por la última reactivación

La parte superior de la escarpa tiene un talud de 90° y se halla fracturado e inestable, apreciándose bloques de material aluvial separados por fracturas activas que están produciendo el fenómeno denominado volcamiento, es decir los bloques están por caer (Foto 10).



Foto 10. Fracturas separando en bloques (volcamiento) de la parte superior del deslizamiento

El deslizamiento es del tipo rotacional y está evidenciado por la escarpa cóncava, las estrías desarrolladas, además del material deslizado que ha rotado en bloques (Foto 11). Sin embargo, parte del último material tiene un comportamiento de derrumbe, por haber caído súbitamente



Foto 11. Escarpa del deslizamiento con estrías y evidencias de flujos de agua

En la ladera superior se tiene un pequeño arroyuelo con aguas procedente de un manante cuyo caudal es mínimo, pero que el día del evento, 29-11-07 mostraba mas caudal por efecto de las lluvias que ocurrieron esos días, pero de ninguna manera fue la causa de saturación del material deslizado (Foto 12). Una supervisión realizada el 29 de diciembre del 2007, del manante y una tubería vecina, muestra que la cantidad de agua del manante ha decrecido, y además el canal y tubería que pasa encima del manante no presentan fugas de agua.



Foto 12. Aguas procedentes del manante de la parte superior. a) foto tomada el 30-11-07 donde se aprecia mayor cantidad de agua. b) foto tomada el 26-12-07 donde casi ha desaparecido el flujo de agua.

Por el tamaño de la escarpa, es posible que esta haya proveído la mayor cantidad de material que alimentó el flujo de detritos que recorrió la quebrada Chingo Grande. En la actualidad, en la margen derecha de la quebrada, se ha podido determinar un frente de deslizamiento, tal vez del más reciente (*run-up*) (Foto 13).



Foto 13. Material deslizado de la escarpa D-2 correspondiendo a un último evento que forma el Flujo 5
Nótese su frente de deslizamiento (*run up*)

Escarpa D-3

Esta escarpa de deslizamiento es del tipo rotacional con dimensiones de 13 x 22 m, desnivel 18 m y una pendiente pronunciada de 75° (Foto 14).

La escarpa D-3 se ha reactivado varias veces y últimamente ha formado un derrumbe. Se halla relativamente mas estable, por que parte de su corona cayó, lo que no es el caso de sus áreas límites con D-2 y D-4, donde todavía hay prominencias que están fracturadas y pueden caer en cualquier momento.

El material involucrado es similar a las otras escarpas, es decir gravas areno-arcillosas. En el caso de esta escarpa, las gravas son bastante compactas, por lo que se deduce que el origen del deslizamiento tendría que ver con una fuerte erosión de la parte baja de la quebrada, que ha producido desestabilización del antiguo talud casi vertical.

El material deslizado que se aprecia en la actualidad ha alimentado el Flujo F-5; sin embargo, el primer material deslizado, alimentó principalmente los Flujos F-1 y F-2.

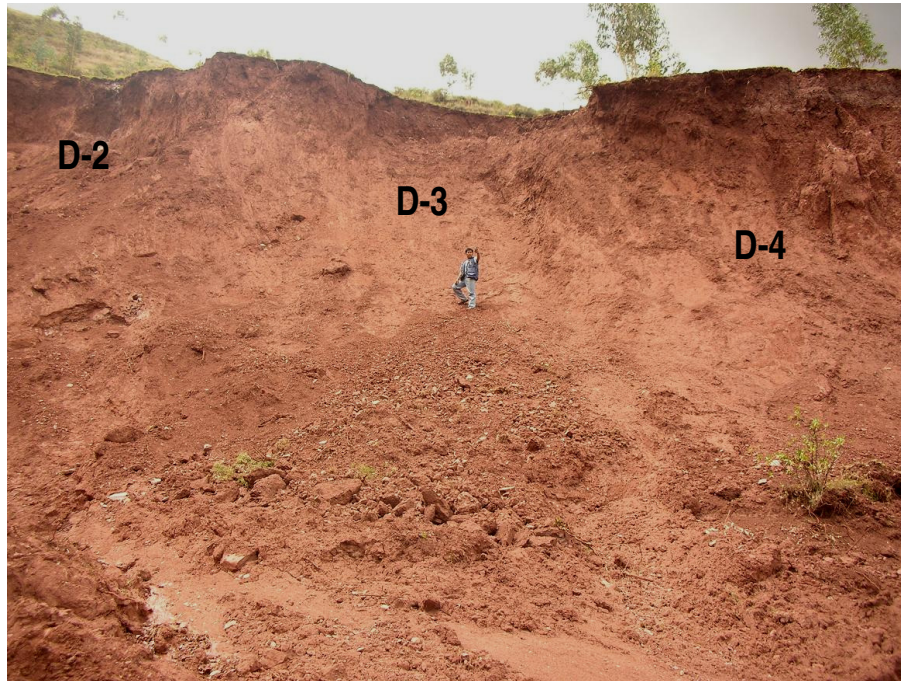


Foto 14. Escarpa D-3 separada por prominencias de las escarpas D-2 y D-4

En la parte superior del deslizamiento, la escarpa y sobre todo una prominencia a un costado de la escarpa, al límite con D-4, presenta fracturas en los suelos y depósitos aluviales. Esto es una muestra que el bloque ya está desestabilizado y puede caer. Sobre estos bloques se aprecian algunos árboles de eucalipto. (Foto 15)



Foto 15. Bloques de depósitos aluviales en la parte superior de la escarpa D-3 y D-4 que muestran agrietamientos

Escarpa D-4

Es la última escarpa del deslizamiento mayor, tiene 26 x 25 m, desnivel de 17 m y una pendiente pronunciada de 81°. Es la más inestable de las escarpas ya que muestra fracturas al límite con la escarpa D-3. Es del tipo rotacional, con material deslizado y derrumbado al pie del mismo, que muestra una forma de bloques rotados y destruidos por la caída (Fotos 16 y 17). Este último material ha alimentado el Flujo F-5.



Foto 16. Escarpa D-4 con el material deslizado y bloques de depósitos aluviales



Foto 17. Material deslizado rotado y el bloques destruidos en pedazos por la caída rápida

En la parte septentrional se aprecia evidencias de flujos de aguas subterráneas con caudal mínimo, pero que el día del deslizamiento era mayor. Igualmente, en este sector el último material deslizado corta estrías dejadas posiblemente por el Flujo F-2 (Foto 18).

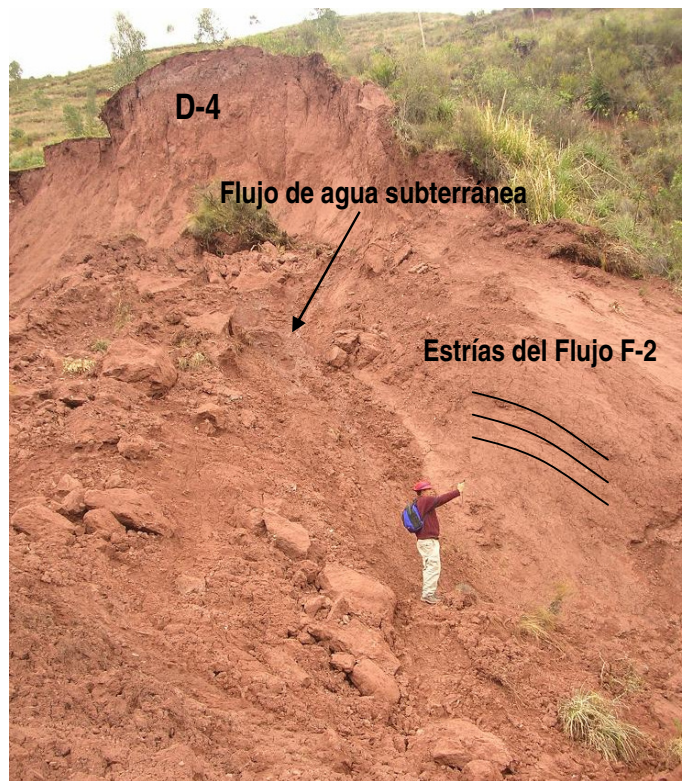


Foto 18. Material deslizado y derrumbado cortando estrías del Flujo F-2,

Entre el pie de la última escarpa y el material deslizado-derrumbado se han reconocido grietas de tensión que son paralelas a la escarpa D-4. Esta grietas son de orden métrico y con aberturas centimétricas (Foto 19).



Foto 19. Grietas en la base de talud de la escarpa D-4

b) Flujo

El fenómeno ocurrido el 29 de noviembre del 2007 fue de tipo complejo, es decir deslizamiento mas flujo. El flujo ocurrido ese día, es un fenómeno poco frecuente, por las siguientes características: movimiento muy lento (162 m/hr o 0.045 m/seg), el material superficial aparentemente seco o casi seco está constituido por gravas areno-limosas involucrando bloques de la misma composición. Por estas características podemos definir como un flujo de detritos y bloques de tierra (Foto 20). La cartografía en detalle ha permitido diferenciar al menos 5 flujos que ocurrieron ese día, los que funcionaron de manera más o menos continua y sincrónica.



Foto 20. Flujo producto del deslizamiento del 29-11-07

Flujo F-1

Es el flujo más importante y extenso (Foto 21). Tiene una longitud aflorante mayor a los 115 m, ancho máximo de 29 m y promedio de 17 m. Este flujo se halla cubierto por los flujos posteriores, por lo que se infiere una longitud de 358 m a partir del lugar de inicio. Nace en la parte alta, a la altura de la escarpa D-2, a una altura de 3255 m y termina a una altura de 3197 m. Tiene una pendiente o ha seguido una pendiente promedio de 7°. El material constituyente del flujo es un depósito de gravas limo-arcillosas que se han deslizado del cono aluvial de Chingo Grande (Foto 22). El espesor de flujo es variable pero se ha medido en un corte 5 a 6 m (Foto 23).



Foto 21. Vista de la parte frontal del Flujo 1



Foto 22. Bloques de gravas limo-arcillosas de la masa del Flujo F-1

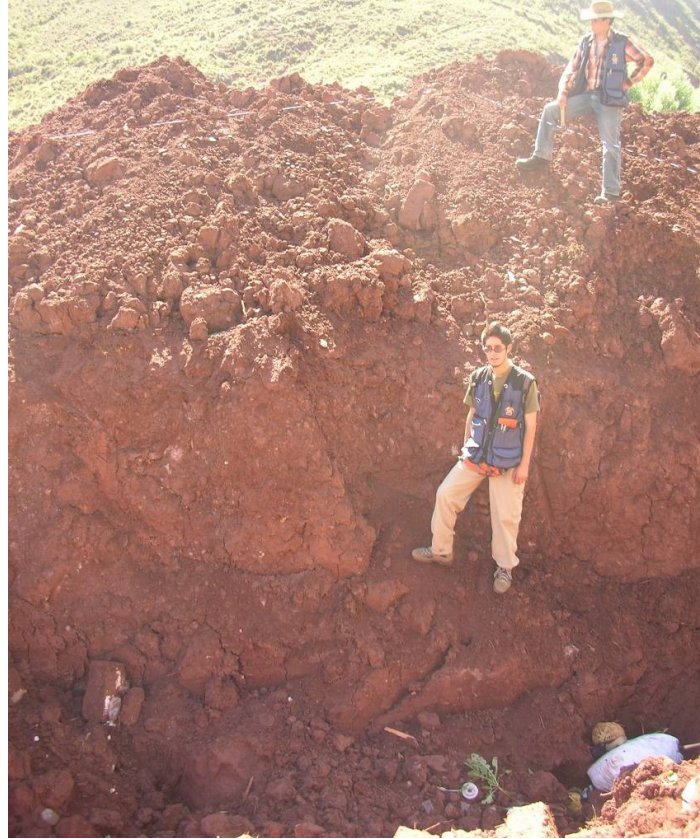


Foto 23. Espesor de Flujo F-1

La mayor característica de este flujo es que la parte superficial se halla casi seca, y está constituido por gravas areno-arcillosas, con bloques de gravas, algunas basculadas y la superficie de los bloques con champas y árboles que viajaban sobre el flujo (Foto 24). Sin embargo, la base del flujo si se hallaba saturada, ya que en un corte realizado cerca al borde, cuyo objetivo fue recuperar las cosas de una casa destruida, se ve el nivel inferior del flujo, conformado por arcillas-limosas saturadas con pocos clastos (Foto 24).



Foto 24. Bloques de depósitos aluviales con árboles incluidos que han sido llevados superficialmente por el Flujo F-1



Foto 25. Casa destruida por el Flujo F-1. Nótese que parte del flujo paso por encima de la vivienda, tal vez aprovechando un desnivel existente

El flujo termina en una planicie que corresponde a una superficie plana que antes de los años 90 correspondía a la depresión de la quebrada, pero que fue rellenada. El flujo, cuya velocidad fue muy lenta y gran parte de la masa casi seca, se detuvo y la masa de flujo se desbordó. En el frente se aprecia bloques de gravas con raíces y parte de los árboles (Fotos 26 y 27).



Foto 26. Frente de Flujo F-1 donde se observa gravas areno-limosas de los depósitos aluviales, en bloques y aparentemente secos



Foto 27. Frente del Flujo F-1 con de bloques gravosos y troncos de árboles

Flujo F-2

La masa de este flujo sobreyace al flujo F-1, pero no la cubre totalmente (Foto 28). Tiene una longitud aflorante de 225 m incluyendo los bordes que no fueron cubiertos por los flujos posteriores. Su ancho máximo es 29 m y el promedio de 19 m. Este flujo se halla cubierto parcialmente por los flujos F-3, F-4 y F-5. Nace cerca de la escarpa D-2, a una altura de 3250 m y termina a una altura de 3215 m. Muestra una pendiente de 7° %. Está compuesto por gravas areno-limosas que se han deslizado de los depósitos de cono aluvial de Chingo Grande. El espesor del flujo es variable pero se estima entre 2 y 3m (Foto 29).

Este flujo tiene también características que lo identifican superficialmente como haber fluido casi en estado seco, sin embargo, en la base del frente se nota evidencias de escapes de agua (Foto 28), lo que indica que hubo otro nivel de resbalamiento diferente al del flujo F-1. Al igual que el flujo F-1 está conformado por gravas areno-limosas, con bloques, algunos basculados (Foto 30) y la superficie de los bloques con champas y árboles que viajaban sobre el flujo (Fotos 29 y 31).

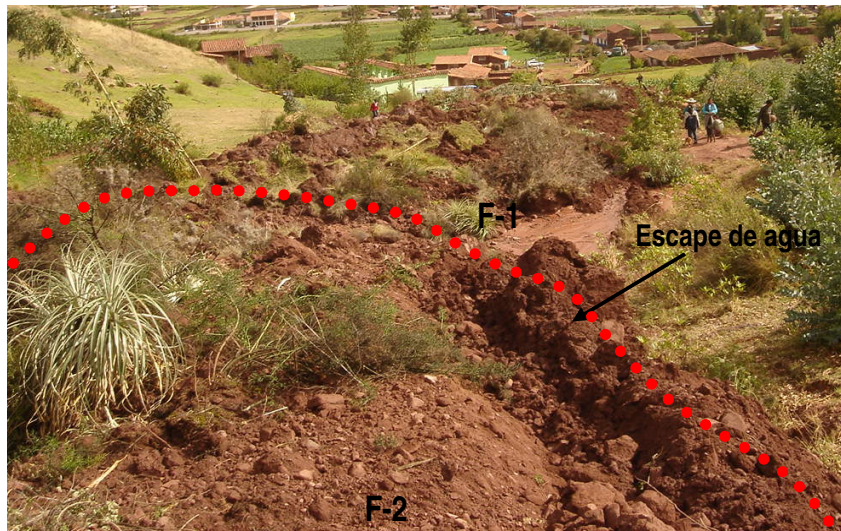


Foto 28. Flujos F-2 y F-1 mostrando zonas de escape de agua



Foto 29. Grandes bloques de suelos aluviales del frente del flujo F-2, cuyo espesor de flujo es de 3 m



Foto 30. Bloques basculados en la masa del flujo F-2



Foto 31. Borde del flujo F-2 cuyo material casi seco se ha desparramado sobre el borde de la quebrada

Las estrías encontradas en los bodes de ambas márgenes de la quebrada, posiblemente se deban al flujo F-2, lo que es otro argumento a favor de la reología de la masa del flujo que se halla en estado casi seco (Foto 32 y 33).



Foto 32. Estrías del flujo F-2 en la margen derecha de la quebrada



Foto 33. Estrías del flujo F-2 en la margen derecha, en un talud de más de 6 m lo que explica el espesor de la masa de flujo, faltando lo que rellenó la quebrada

Flujo F-3

Es el tercer flujo en haberse formando ya que sobreyace a los flujos F-1 y F-2, pero no las cubre totalmente (Foto 34). Tiene una longitud aflorante de 60 m incluyendo los bordes que fueron cubiertos en su totalidad por los flujos posteriores, es decir F-4 y F-5. Su ancho promedio es 17 m y se infiere una longitud de 120 m a partir del lugar de inicio. Nace frente a DA-3 (Fig. 3) a una altura de 3233 msnm y termina a los 3221 msnm. Tiene una pendiente actual de 5°. Está constituido de gravas areno-limosas y el espesor del flujo varía entre 2 y 3 m (Foto 35).

Las características que presenta este flujo son similares a los flujos anteriores, es decir el material aparentemente seco, con zonas donde se ve estructuras de escape de agua en el frente del flujo y al límite con F-2 (Foto 36). Igualmente se observan bloques que han viajado por la superficie llevando arbustos y pequeños árboles (Foto 37).

Al límite con el flujo F-2 se aprecia un desnivel con estrías en la pared, lo que indica un aparente movimiento normal (Foto 38).

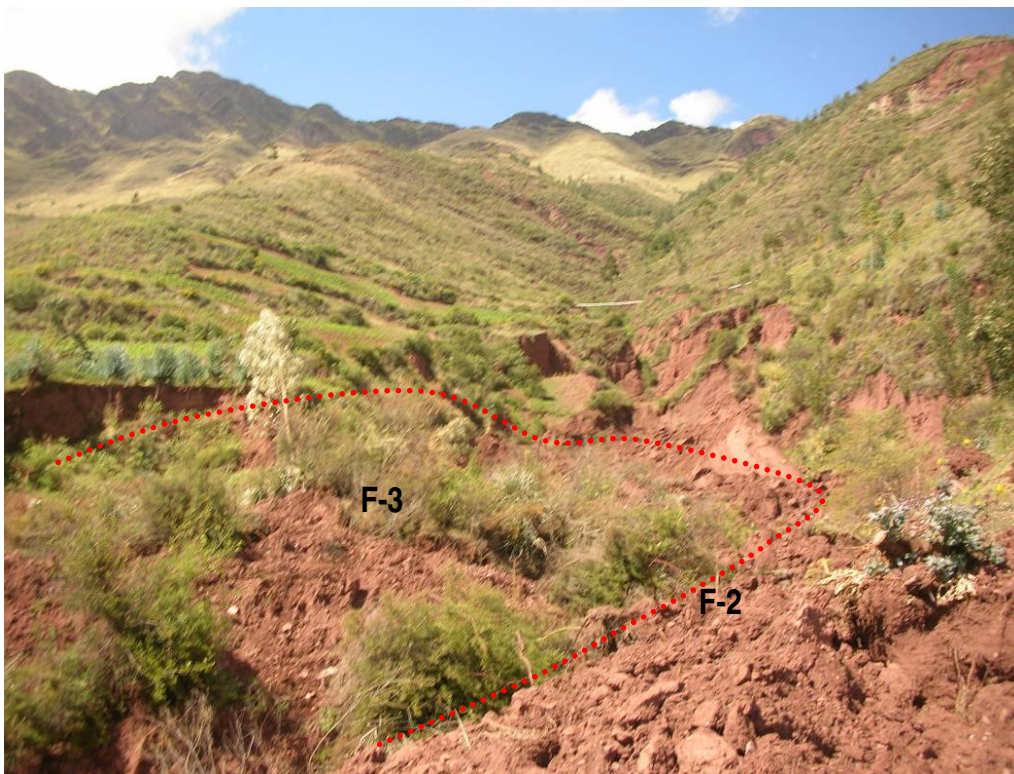


Foto 34. Flujo F-3 emplazado sobre Flujo F-2

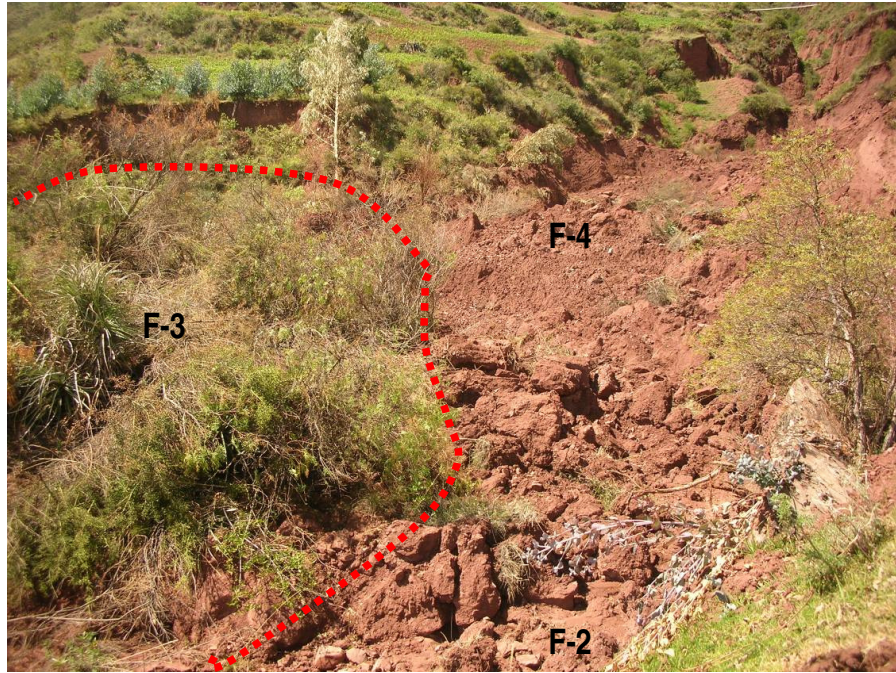


Foto 35. Espesor de flujo F-3 y límite con F2 y F4



Foto 36. Escape de agua entre los flujos F-3 y F-2



Foto 37. Presencia de arbustos y árboles encima del flujo F-3, y sus límites con F-2



Foto 38. Bloques con presencia de estrías al límite entre el flujo F-3 con F-2

Flujo F-4

El flujo F-4 sobreyace a los flujos anteriores y está cubierto por F-5, pero no totalmente. Tiene una longitud aflorante de 45 m y una total de 75 m. Nace cerca de D-4, a una altura de 3232 m y termina a una altura de 3227; su ancho máximo es de 23 m y promedio 19 m. Tiene una pendiente actual de 4.5°. Está constituido por gravas areno-limosas. El espesor del flujo es variable y se estima entre 2 y 3 m (Foto 39). Aparentemente, este flujo tenía mas agua que los anteriores ya que se nota un ligero comportamiento más fluido y escasa vegetación (Fotos 40 y 42) y ya no muestra bloques de gravas de grandes dimensiones, diferenciándolo de los flujos F-2 y F-3 (Foto 42), a excepción de los bordes (Foto 41).



Foto 39. Masa del flujo F-4 y espesor en el frente

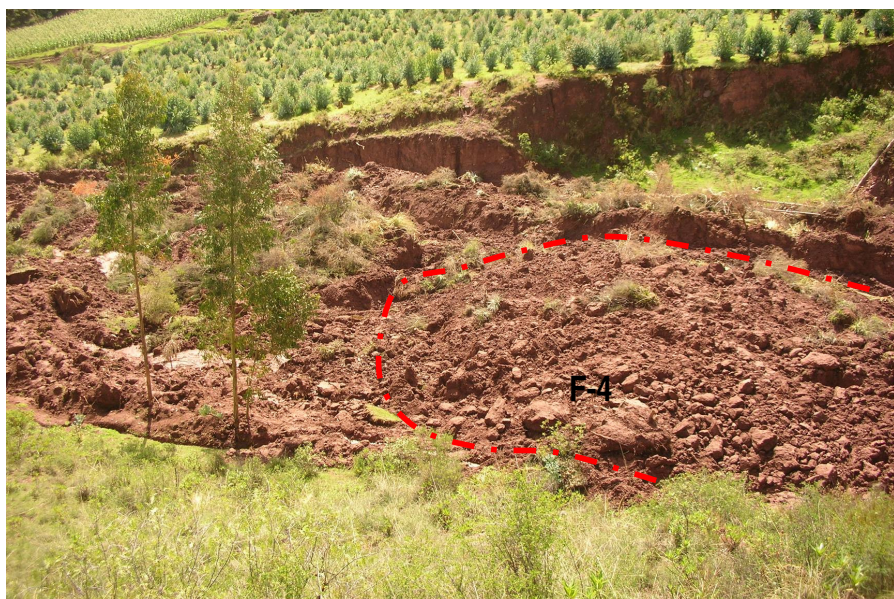


Foto 40. Flujo F-4 con poca vegetación



Foto 41. Borde nor-este del flujo F-4



Foto 42. Gravas areno-limosas del flujo F-4 cerca de sus límites con F-3 y F-2

Flujo F-5

Es el último flujo en haberse formado por lo que sobreyace a los anteriores, pero no los cubre totalmente (Foto 43). En realidad es posible que este flujo sea el resultado de 2 o 3 flujos de lodo y detritos, siendo los últimos cada vez más pequeños y más fluidos. Tiene una longitud total de 120 m, su ancho máximo es de 29 m y el promedio 17 m. Nace al pie de las escarpas D-1 al D-4, mostrando mayor espesor al frente a D-1, a una altura de 3255 msnm y termina a una altura de 3230 msnm. Ha seguido una pendiente de 8°. En este caso predominan los limos arcillosos con menor proporción de gravas, producto de la removilización de los materiales deslizados. El espesor del flujo varía entre 0.5 a 1.5 m.

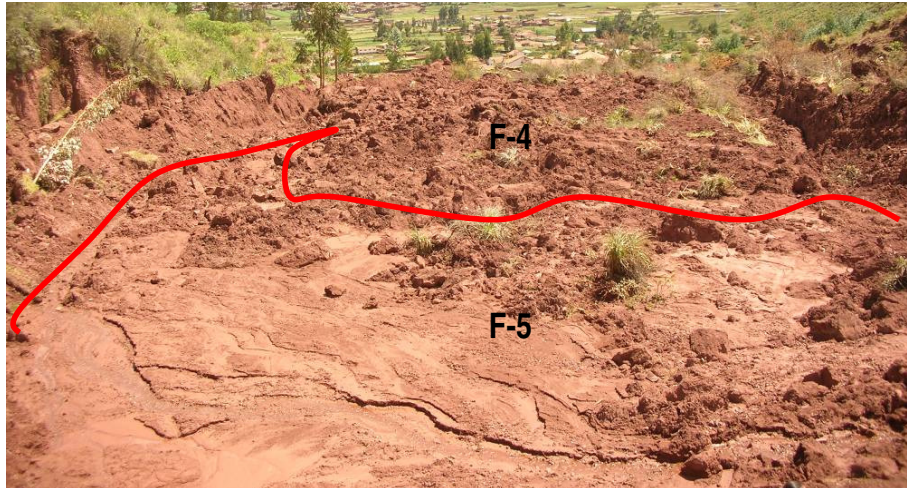


Foto 43. Flujo F-5 sobreyaciendo a F-4

c) Deslizamientos y flujo de Febrero de 2007

En la parte media de la quebrada, entre la zona de deslizamiento mayor y flujo del 29-11-07 y las tuberías de un acueducto T-1, se han identificado tres deslizamientos (Fig. 3) y un flujo, que según los pobladores se originaron en el mes de febrero del 2007 (Foto 44).

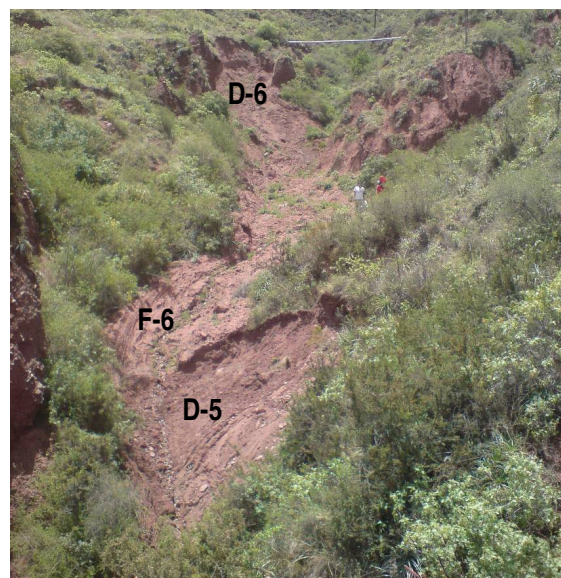


Foto 44. Deslizamientos y flujo F-6 de febrero del 2007. Nótese un acueducto en la parte superior

Deslizamiento D-6

Es un deslizamiento del tipo rotacional, ubicado en la margen derecha de la quebrada a 12 m aguas debajo de un acueducto denominado T-1. Se localiza a una altura de 3320 msnm, tiene unas dimensiones de 40 x 31 m, desnivel de 20 m y una pendiente de 70° (Foto 45). Afecta a las gravas areno-limosas del cono aluvial de Chingo Grande. Las causas de la reactivación están relacionadas a las intensas lluvias de la época (manifestación de los pobladores). A estos se suma las condiciones de pendiente muy abrupta.

El material deslizado se ha transformado en un flujo, denominado flujo F-6, que origino otros deslizamientos. Es importante aclarar que la escarpa se halla relativamente cerca del acueducto T1 pero no se ve ninguna relación entre posibles fugas de agua de este acueducto y la reactivación del deslizamiento D-6.

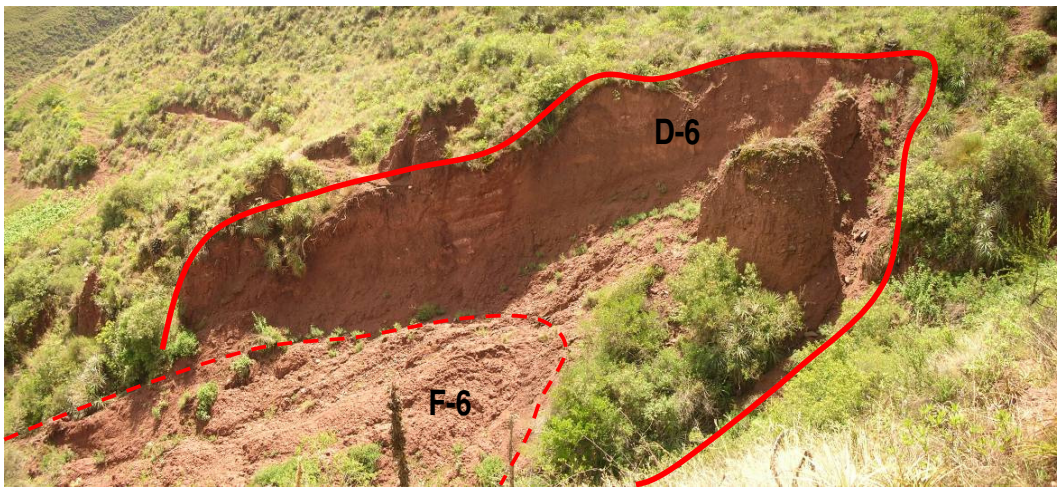


Foto 45. Deslizamiento D-6 ocurrido en febrero de 2007

Flujo F-6

Este flujo tiene una longitud 167 m (Fig. 3), ancho máximo de 20 m y promedio de 7 m. Nace como producto de los materiales del deslizamiento D-6 (Foto 45), a una altura de 3307 msnm y termina a 3255 msnm, cerca de la cabecera de la escarpa D-1. El flujo ha seguido una pendiente aproximada de 12°, está conformado por gravas areno-limosas, cuyo espesor varía entre 0.5 y 1.5 m. Este flujo también ha ocasionado estrías en los bordes laterales (Foto 46).

Testimonios de los pobladores indican que este flujo ocurrió en el mes de febrero del 2007 y lo relacionan a de las intensas lluvias. La cartografía muestra que este flujo es consecuencia del material deslizado del deslizamiento D-6.



Foto 47. Espesor y estrías de flujo F-6, en la margen derecha de la quebrada

Deslizamiento D-5

Deslizamiento ubicado a la margen izquierda de la quebrada a 18 m aguas arriba de la escarpa D-1, a una altura de 3276 msnm (Fig. 3). Presenta una forma semicircular, es del tipo rotacional (Foto 47) con dimensiones de 25 x 10.5 m, desnivel de 9.5 m y una pendiente de 41°. Este fue activado por la erosión en el cauce como consecuencia del flujo ocurrido en febrero del 2007, el que desestabilizó la ladera.



Foto 47. Escarpa de deslizamiento D-5

Deslizamiento D-7

Se localiza en la margen izquierda de la quebrada, cerca de D-6, a una altura de 3310 msnm, con dimensiones de 27 x 22 m, desnivel de 12 m y una pendiente de 27° (Foto 48). Este deslizamiento fue activado por la erosión del flujo F-6 de febrero de 2007, ya que erosionó la base de la ladera.



Foto 48. Deslizamiento D-7 y parte del flujo F-6

d) Otros Deslizamientos

La quebrada Chingo Grande por sus características morfológicas, litológicas y las fuertes pendientes de sus laderas ha desarrollado varias cárcavas, derrumbes y deslizamientos, muchos de los cuales en vías de reactivación (Fig. 3).

Deslizamiento DA-1

En la parte alta de las 4 escarpas que forman el deslizamiento mayor ocurrido el 29-11-07 se ha localizado un deslizamiento antiguo (Fig. 3). En efecto, la cartografía muestra una escarpa rotacional mayor situada a una altura de 3357 m. Tiene una dimensión de 87 x 150 m, desnivel de 111 m y una pendiente de 61°. En la parte superficial se tienen depósitos coluviales de 2 a 4 m de espesor, de arcillas arenosas con clastos de gravas, los que sobreyacen a las areniscas de la Formación Quilque. Lo importante de este deslizamiento, es saber si la reactivación de los deslizamientos de la parte inferior han desestabilizado el material y pueda reactivar este deslizamiento DA-1. Sin embargo, las observaciones de campo no muestran signos de reactivación, pero igualmente se ha realizado el cálculo de estabilidad de taludes.

En la parte media del deslizamiento se sitúan algunos manantes pero de caudal mínimo < a 0.5 lt/s, los que han formado arroyuelos e incluso evolucionando a cárcavas, tal como se puede ver en la Foto 50. Igualmente por la parte media, encima de los manantes y cárcavas pasa un canal y tuberías de irrigación que en la actualidad no muestra fugas de agua que puedan relacionarse con la formación y evolución de las cárcavas.

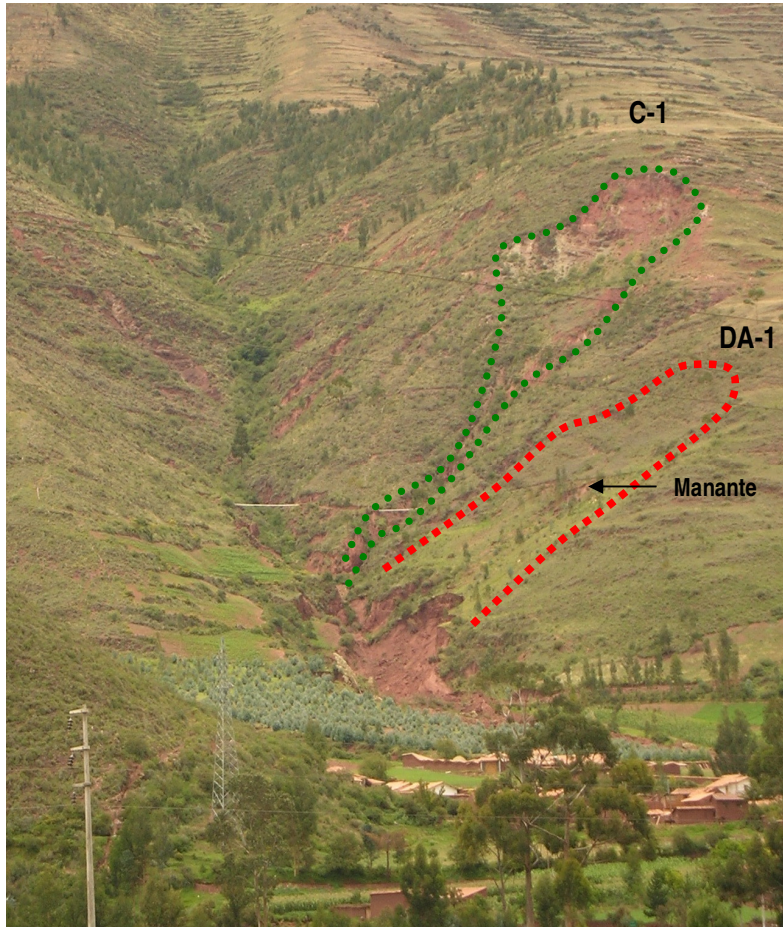


Foto 49. Deslizamiento DA-1, cárcavas C-1 y el deslizamiento ocurrido el 27-11-07



Foto 50. Cárcava en la zona de manantes del deslizamiento DA-1, gente realizando ensayos de mecánica de suelos

Estabilidad de taludes

Para la estabilidad de taludes se ha realizado estudios de mecánica de suelos (Anexo 1). Los materiales involucrados en el análisis comprenden: arcillas arenosas (84%) y gravas (16%) caracterizando un suelo de tipo CL de baja plasticidad, compactos, secos (humedad natural del 9%), con espesores que varían entre 2 y 4 metros. Según los índices de fluidez (I_f) y desecación (I_d), la expansividad del terreno se puede considerar como marginal en lo que respecta al cambio potencial de volumen y ligeramente expansivo. Los valores de índices de fluidez y la expansividad del terreno son $I_f=1.15$, $I_d=0.43$.

Con respecto al agua subterránea (manantes) las modalidades de circulación del agua están muy ligadas a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren, además de la morfología del área.

En el talud se han localizado evidencias de flujos de agua subterránea (manantes) que pueden ser causa de las cárcavas detectadas, así como ser una de las causas de los deslizamientos que afectan el talud. Se han localizado varios puntos de agua que se incrementan en la época de lluvias.

Los datos de entrada para el cálculo de la estabilidad en las arcillas, se han obtenido mediante pruebas de laboratorio y valores estimativos propuestos por el Grundbau Taschenbuch (1980), son los siguientes:

$$\gamma=1.727 \text{ gr/cm}^3$$

$$c=19 \text{ KN/m}^2$$

$$\Phi=28^\circ$$

γ = peso específico, c =cohesión, Φ =ángulo de fricción

En relación al macizo rocoso los valores de γ , c y Φ fueron obtenidos y estimados mediante las tablas que se presentan en el Capítulo 3.4 Resistencia y deformabilidad de la matriz rocosa, del texto Ingeniería Geológica, por Luís Gonzáles de Vallejo (2003).

Dada las condiciones descritas se ha adoptado el uso del programa de cómputo SLIDE v 5.0 desarrollado por Rocscience Inc., Geomechanics Software & Research. El programa SLIDE está diseñado para ser empleado como una herramienta de evaluación de la estabilidad de taludes en 2D en equilibrio límite para taludes en suelos y rocas.

El análisis se basa en la suposición de un deslizamiento poco profundo circular que se encuentran sujeto a carga gravitacional, presencia de agua subterránea y cargas sísmicas pseudo estáticas. Cualquier efecto de sujeción o esfuerzos de campo en los materiales involucrados (suelo y masa de roca) circundantes al bloque analizado no son tomados en cuenta.

El área de estudio, se localiza en la Zona de Sismicidad Intermedia, en donde se producirá una aceleración máxima de 0,32 g con una probabilidad de 0,006%, siendo el periodo medio de retorno del sismo de 500 años, para este caso consideramos una aceleración efectiva de 0,21 g teniendo en cuenta el periodo predominante del suelo.

Luego de haber realizado el análisis el Deslizamiento DA-1 (Figs. 4 y 5) se considera estable en los dos casos presentados, teniendo en cuenta que se han adoptado parámetros de cálculo

(cohesión, ángulo de fricción, sismicidad, presencia de agua en la falla) en condiciones extremas (Tabla 3)

Tabla 3. Factores de seguridad en el DA-1

Condiciones	Sub sector	Factor de Seguridad (Fs)	
		Estático	Seudo estático
Drenadas	DA-1	2.145	1,602

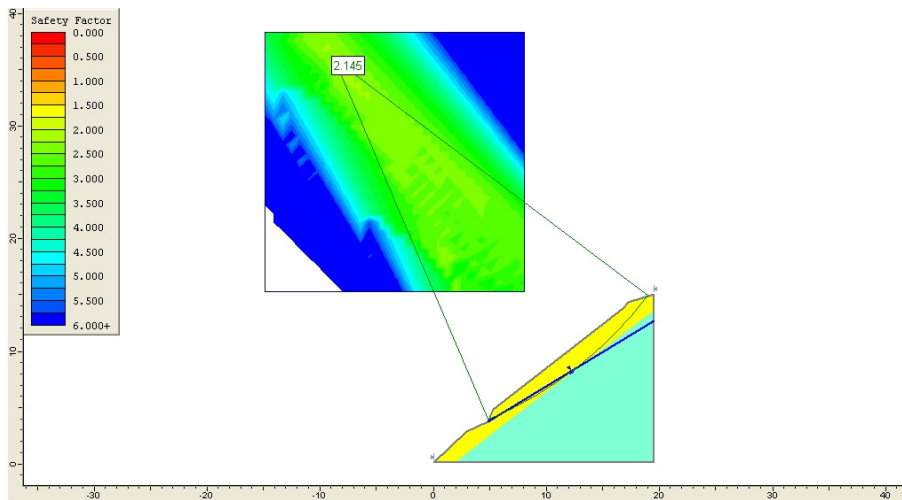


Fig. 4. Análisis de la estabilidad en condiciones estáticas

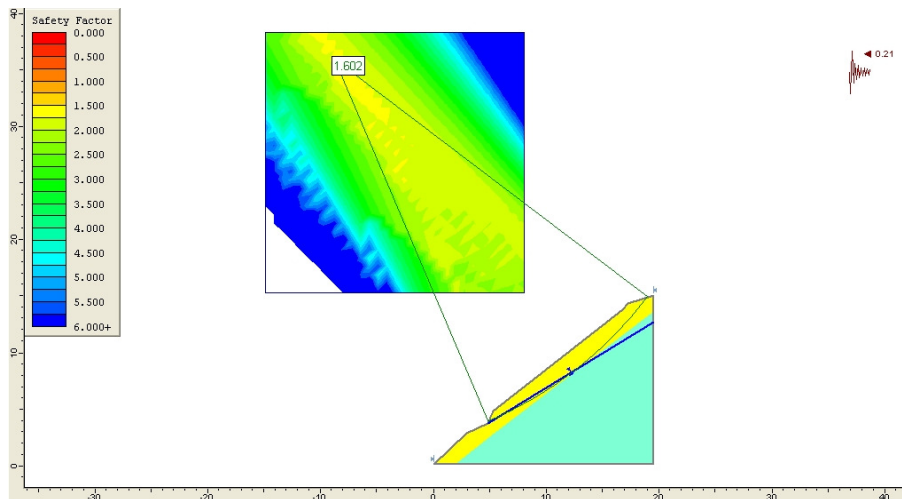


Fig. 5. Análisis de la estabilidad en condiciones pseudos estáticas

Deslizamientos DA-2

Se trata de un conjunto de deslizamientos pequeños de tipo rotacional ubicado en la margen derecha de la quebrada, entre los 3273 m y 3232 m y que fueron parcialmente afectados por el flujo del 29-11-07, sin llegar a reactivarlos (Fig. 3). Las escarpas son pequeñas y pueden ser casi verticales, pero la mayoría se hallan estables (Foto 51).



Foto 51. Conjunto de deslizamientos antiguos DA-2

Deslizamiento DA-3

Es un deslizamiento múltiple de tipo rotacional presentando dos escarpas antiguas. Está ubicado en la margen izquierda de la quebrada, a una altura de 3245 m. Tiene una dimensión de 42 x 13 m, un desnivel de 13 m y una pendiente de 68° (Foto 52). Parte de su base fue erosionada por los flujos F-1 y F-2 del 29-11-07, sin llegar a reactivarlo.

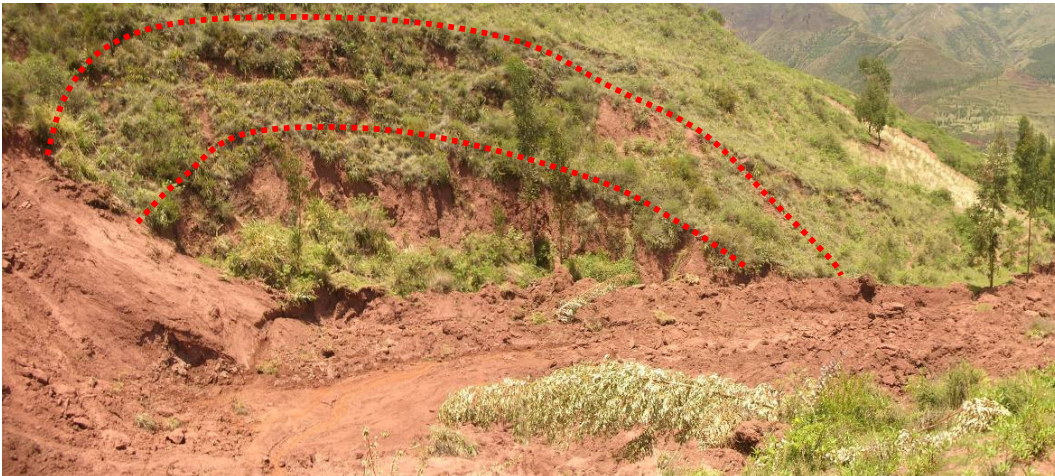


Foto 52. Escarpas correspondientes al deslizamiento DA-3

e) Cárcavas

Son depresiones erosivas que se desarrollan en quebradas, donde por efecto de las aguas de lluvia empieza una erosión fuerte, produciendo estas depresiones que son retrogresivas, es decir que la erosión avanza aguas arriba. Si las cárcavas no son controladas, pueden ser futuras zonas de deslizamiento o de producción de materiales para huaycos, lo que es el caso de la quebrada Chingo Grande (Fig. 3 y Foto 49).

Cárcava C-1

Es la cárcava activa más importante desde el punto de vista de la peligrosidad. Se sitúa en la margen izquierda de la quebrada, al sur del deslizamiento DA-1. La parte alta que está a una altura de 3450 msnm muestra signos de evolucionar a un deslizamiento (Fotos 53 y 54). En la parte inferior, un acueducto (T-2) con tubería logra salvar esta cárcava (Foto 54). El cauce de esta cárcava termina a 3280 msnm, tiene un desnivel de 178 m y una pendiente de 59° , con un ancho máximo de 64 m. Si bien la parte media y alta muestra signos de actividad, la parte baja, se halla cubierta por vegetación. El acueducto denominado T-2 pasa a una altura aproximada de 30 m desde la base de la quebrada (Foto 54)

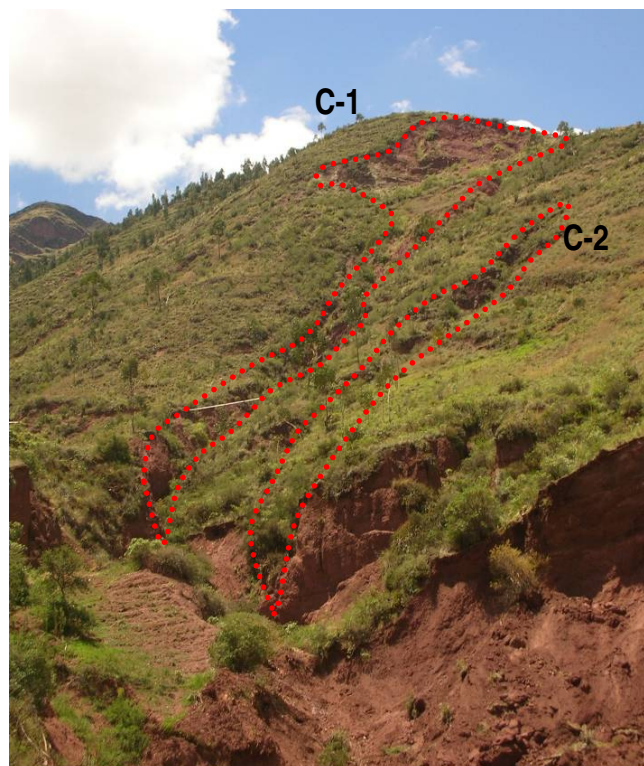


Foto 53. Cárcavas activas C-1 y C-2

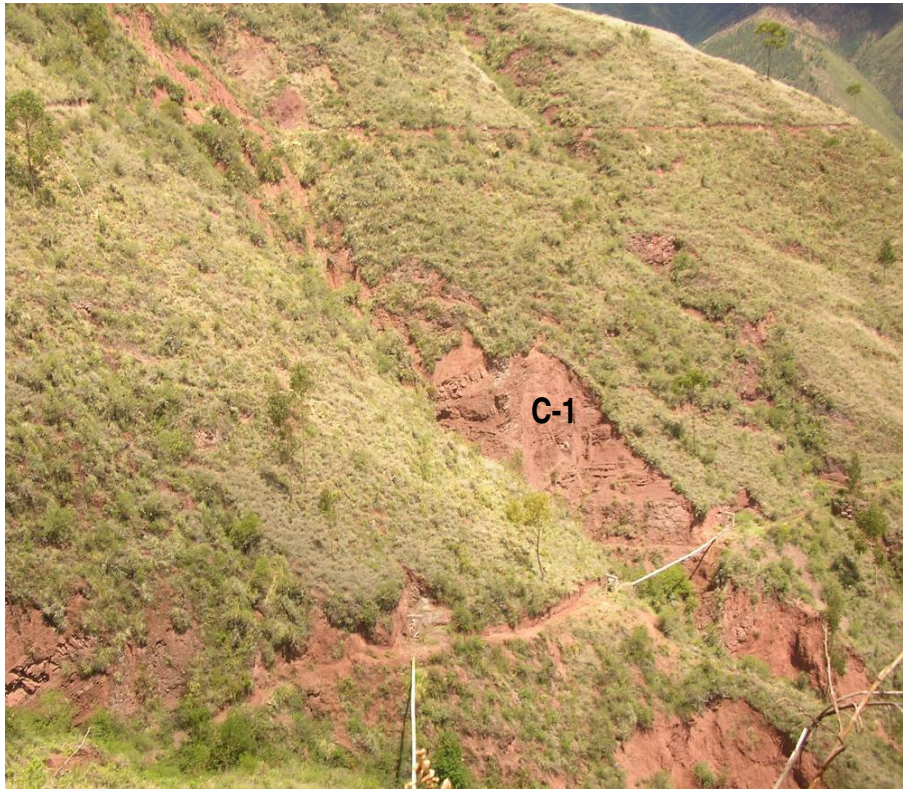


Foto 54. Cárcava C-1 que está cruzado por el acueducto T-2

Cárcava C-2

Esta cárcava también se localiza en el margen izquierda de la quebrada (Fig. 3 y Foto 53), empieza a una altura de 3360 msnm y culmina a una altura de 3275 msnm, tiene un desnivel de 83 m y una pendiente de 67° . El ancho es casi uniforme con máximo 8 m. Esta cárcava es relativamente estable ya que presenta vegetación. Por esta cárcava pasa una canal de cemento, sobre la que se halla una canoa. Este canal no muestra escapes de agua.

Cárcava C-3

Ubicada a la margen derecha de la quebrada, se halla entre los 3247 y 3279 msnm, con un desnivel de 32 m y una pendiente de 67° , teniendo un ancho máximo de 6 m. Esta cárcava parece ser el resultado de la erosión de aguas procedentes de un manante que existe en la cabecera. Si bien muestra una cierta actividad, por erosión de su base debido al flujo F-5, sin embargo, en la parte media y alta existe vegetación rala (Foto 55).

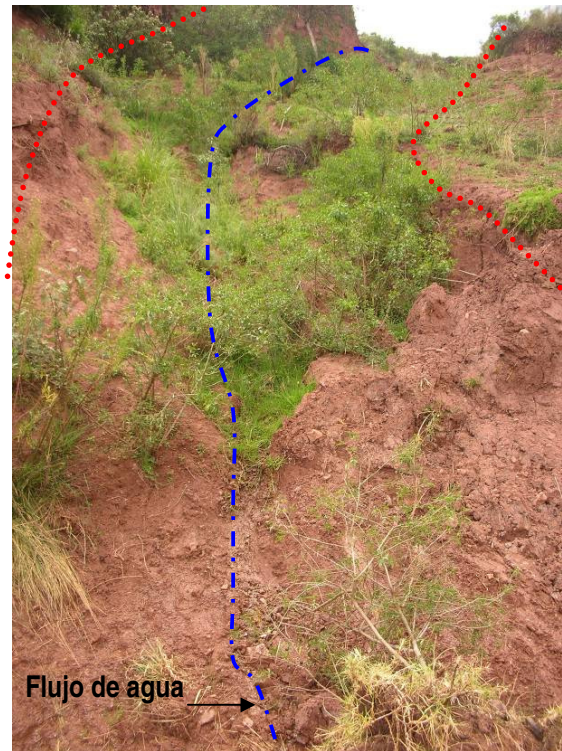


Foto 55. Cárcava C-3 y flujo de aguas proveniente de un manante

Cárcava C-4

Ubicada a la margen izquierda de la quebrada, al costado sur de D-2, entre los 3256 y 3264 msnm (Fig. 3). Tiene un desnivel de 28 m, una pendiente de 58° , presenta vegetación y un ancho máximo de 5 m.

Cárcava C-5

Cárcava ubicada en la margen izquierda de la quebrada, al costado sur de C-4, entre 3258 y 3281 msnm, tiene un desnivel de 23 m y una pendiente de 58° . Muestra signos de reactivación reciente pero más antigua al 29-11-07. Es posible que parte de esta cárcava se haya activado en febrero del 2007. El ancho máximo de la parte reactivada es de 4 m, aunque el conjunto pasa de 10 m de ancho (Foto 56).

Cárcava C-6

Esta cárcava se localiza en la margen derecha de la quebrada, entre los 3315 y 3410 msnm (Fig. 3), tiene un desnivel de 85 m y una pendiente de 61° . El ancho máximo es de 4 m donde presenta una vegetación tupida, por lo que se lo considera relativamente estable.



Foto 56. Cárcava activa C-5

Cárcava C-7

Situada al sur de la cárcava C-6, es decir en la margen derecha de la quebrada. Se ha desarrollado entre los 3343 y 3400 msnm, con un desnivel de 57 m, una pendiente de 59° y un ancho máximo de 9 m. Presenta vegetación tupida por lo que también se le considera como relativamente estable, aunque en la parte superior se aprecia signos de erosión (Foto 57).

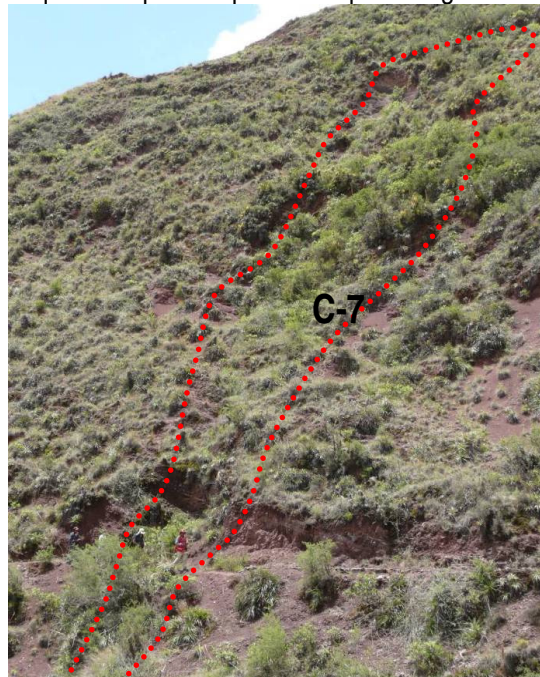


Foto 57. Cárcava activa C-7

Cárcava C-8

Es la cárcava más meridional de la margen derecha de la zona de estudio. Se localiza entre 3365 y 3410 msnm, tiene un desnivel de 45 m, una pendiente de 61° y ancho máximo 22 (Fig. 3). Tiene poca vegetación y signos de erosión lo que indica que está activa (Foto 58)

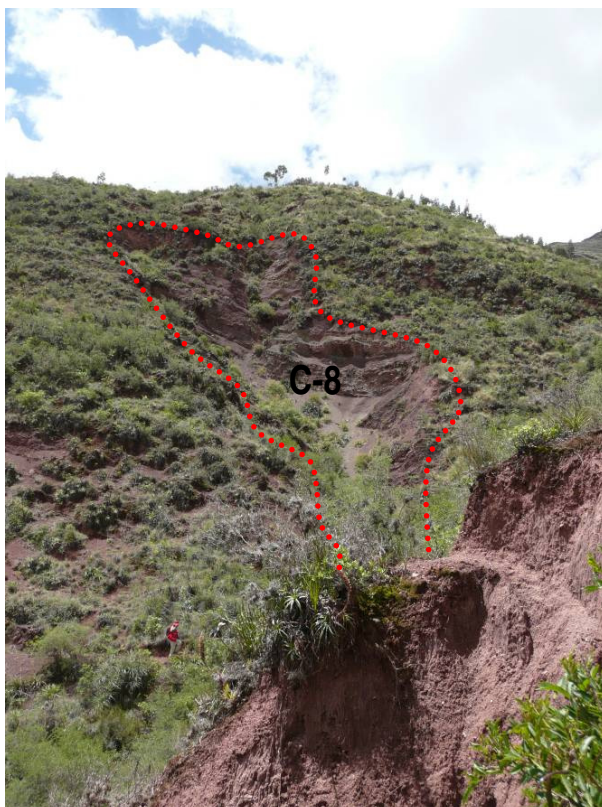


Foto 58. Cárcava activa C-8

Cárcava C-9

Situada en la margen izquierda de la quebrada, entre los 3363 y 3418 msnm. Tiene un desnivel de 55 m, una pendiente de 53° , y un ancho máximo de 15 m. Muestra signos de erosión y por lo tanto de reactivación (Foto 59).

Cárcava C-10

Se halla al norte de C-9, en la margen izquierda de la quebrada, entre los 3353 y 3400 msnm. Su desnivel es de 47 m, tiene una pendiente de 54° , y un ancho máximo de 12 m (Foto 59). Al igual que C-9 muestra signos de erosión y reactivación (Foto 59).

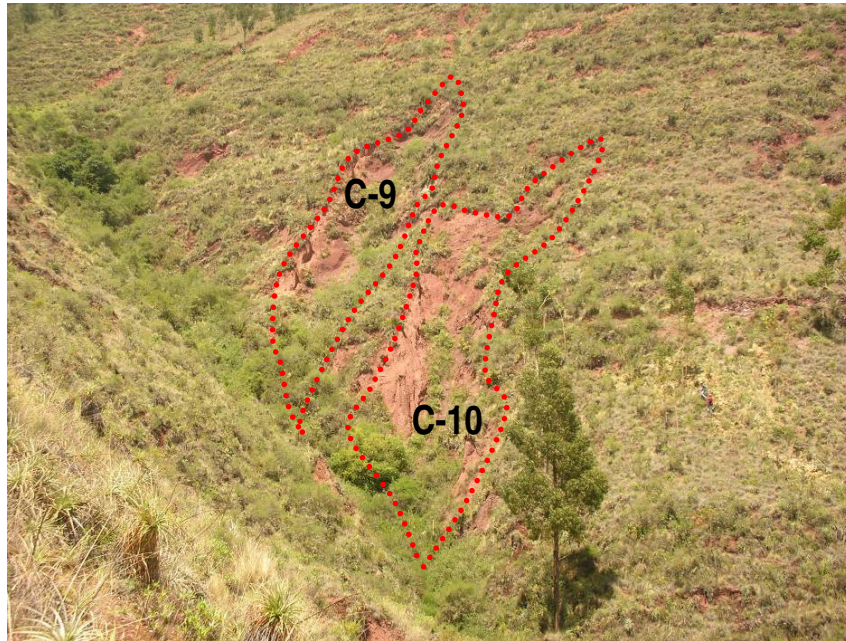


Foto 59. Cárcavas activas C-9 y c-10

F) Evaluación del canal y acueductos que pasan por la quebrada Chingo Grande

En la parte alta del deslizamiento mayor del 29-11-07 se halla una canal de irrigación y dos acueductos que han sido construidos para salvar la quebrada principal y la cárcava C-1. En vista de que algunas versiones atribuían como la causa principal de los movimientos en masa ocurridos el 29-11-07 a fugas de aguas de estas obras hidráulicas, se realizó una evaluación de estas obras el día 29-12-07.

Acueducto T-1

Encima del cauce principal de la quebrada Chingo Grande y aguas de arriba del deslizamiento mayor del 29-11-07 y los deslizamientos de Febrero-2007, se localiza un acueducto (Fig. 3 y Foto 60). Esta obra hidráulica consta de dos estribos con sus respectivos anclajes y una tubería de PVC de 33 m de longitud. El día de la evaluación, es decir el 29-12-07 se hallaba funcionando, a pesar de que la gente de la zona indicaba lo contrario. Lo primero que se verificó fue si había o no fuga de agua y evidencias de erosiones recientes, concluyendo que estas no existen. Igualmente, no se observaron rupturas ni rajaduras en la tubería. Lo que si se pudo apreciar es la fragilidad del terreno y efectos erosivos antiguos, por lo que se debe evitar fugas de agua que pueden ocasionar nuevas cárcavas, deslizamientos y posiblemente flujos (Fotos 60, 61 y 62). Igualmente, se debe proteger estos estribos frente a la erosión natural del terreno que es muy alta.



Foto 60. Acueducto T-1 que cruza la quebrada Chingo Grande



Foto 61. Estribo E-2 y salida del acueducto T-1 con tubos PVC



Foto 62. Estribo E-1 del acueducto T-1 y entrada del agua

Acueducto T-2

Este acueducto pasa por la cárcava C-1 y tiene una longitud de 37 m (Foto 63). La tubería muestra una pequeña fuga de agua a 3 metros del estribo oeste (Foto 64), sin embargo, este no muestra signos de erosión en la cárcava C-1 y en consecuencia no ha sido la causa de los fenómenos del 29-11-07 ni de Febrero-2007. Otro de los problemas es que el estribo de la parte este, muestra que esta siendo erosionado por efecto de la actividad de la cárcava y posiblemente fugas de agua de años anteriores, las que fueron arregladas (Foto 65).



Foto 63. Acueducto T-2 que cruza la cárcava C-1



Foto 64. Pequeñas fugas de agua del acueducto T-2



Foto 65. Estribo E-3 del acueducto T-2 con signos de fuerte erosión

3.3. Daños del deslizamiento del 29-11-07

Los daños evaluados por Defensa Nacional (Quintana, 2007) son: la colmatación del cauce de la quebrada Chingo Grande en una longitud de aproximadamente 400 m lineales, con un ancho promedio de 20 m y una altura media de 4 m; la destrucción de 06 viviendas por efecto del flujo; y la destrucción de 4 hectáreas de terrenos agrícolas, además de varias familias afectadas. Como se aprecia los daños han sido en el cauce de la quebrada que ha sido ocupado por viviendas y por terrenos para la agricultura. Además, debemos considerar el daño medio ambiental ya que se ha destruido y rellenado la quebrada, se ha erosionado las laderas, todo con la pérdida de la flora y fauna del sitio afectado.

3.4. Descripción de los pobladores

Se ha realizado entrevistas a algunos de los pobladores que estuvieron presentes el día del fenómeno, un resumen se presenta a continuación.

El fenómeno geodinámico ocurrido el día 29 de noviembre de 2007 en la comunidad de Chingo Grande, empezó aproximadamente a las 5:45 p.m. y culminó su movimiento a las 8 p.m. con la paralización del flujo cerca de una casa. El flujo recorrió alrededor de 400 m destruyendo 6 casas. La característica más notoria fue el avance del flujo, que tuvo un movimiento muy lento, lo que dio tiempo a los pobladores afectados a recuperar algunas de sus pertenencias, antes que llegue el flujo, que demoró más de 2 horas. El movimiento del flujo no vino acompañado de sonido alguno ni de vibraciones.

Los pobladores reportan un fenómeno similar ocurrido en febrero de 2007 pero cuya masa se detuvo en la parte media de la cuenca, aunque un flujo de lodo (color chocolate) y agua bajó hasta cerca de los límites del flujo del 29-11-07.

Uno de los aspectos más importantes mencionados, es que en la zona del deslizamiento mayor, al nivel del cauce (antes del deslizamiento), existía un pozo de agua que captaba los manantes de la quebrada y era utilizado para riego de los cultivos. Este pozo fue destruido por un tractor que además niveló el cauce de la quebrada durante una semana, cortando parte de talud y destruyendo los árboles existentes. Esto sucedió el mes de octubre del 2007. Se menciona un terraplén de aproximadamente 5000 m² con fin de habilitar campos de cultivo. Una semana antes de ocurrir el evento ocurrieron lluvias continuas que pudieron desencadenar el fenómeno.

3.5. Causas del fenómeno del 29-11-07

Las causas de este deslizamiento y flujo tienen que ver con varios factores, siendo el primero la existencia de una cárcava profunda con laderas pronunciadas. Estas se hallaban relativamente estables hasta hace algunos años por la presencia de gran cantidad de vegetación nativa y también de eucaliptos que fueron introducidos. La vegetación se desarrolló sobre depósitos aluviales compuestos por gravas areno-limosas. Posteriormente, la vegetación fue talada progresivamente, quitándole el soporte protector ante erosiones. Además, la vegetación estaba alimentada por aguas subterráneas que afloran en la zona, posiblemente había un balance que se rompió con la tala y en consecuencia el excedente de agua comenzó a saturar los depósitos aluviales. Sin embargo, el factor desencadenante, ha sido, por un lado, los trabajos de terraplén y trocha de acceso que cortaron los taludes verticales, y por otra parte la destrucción del pozo de agua. Así, las aguas subterráneas fueron saturando los suelos del relleno del terraplén, durante dos meses. Además hay que considerar que días antes llovió intensamente en la zona. Esta

masa saturada se movió y erosionó los taludes previamente desestabilizados por el tractor, produciendo un deslizamiento mayor de más de 100 m de longitud. El material deslizado represó la quebrada entre las escarpas actuales D-1 y D-4. Teniendo en cuenta que la base de la quebrada (terraplén) se hallaba saturado de agua, este sirvió de nivel de resbalamiento, en consecuencia el material que represó el cauce por efecto del deslizamiento, se movió por la quebrada de manera casi seca. Producto del avance, el primer flujo (F-1) erosionó la ladera ya afectada y ocasionó otros deslizamiento cuyo materiales se transformaron en otros flujos (F-2, F-3 y F-4), hasta que finalmente el flujo F-5 fue el más líquido.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El fenómeno ocurrido el día 29 de noviembre del 2007 en la quebrada Chingo Grande corresponde a un movimiento en masa complejo, constituido por un deslizamiento mayor que se transformó en un flujo. El deslizamiento muestra 4 escarpas actuales (D-1, D-2, D-3, D-4) y que funcionó de forma variable durante el proceso de transformación en flujo. El flujo está a su vez formado por 5 flujos, los cuales se desarrollaron casi contemporáneamente y viajaron juntos entre las 5.15 p.m. y 8 p.m. a una velocidad de 162 m/h ó 0.045 m/seg.

Las causas de este deslizamiento y flujo tienen que ver con la tala de árboles, la construcción de una plataforma y corte de talud en una cárcava profunda con laderas pronunciadas de la quebrada Chingo Grande, donde además existen aguas subterráneas que saturaron el material de relleno y los depósitos aluviales.

La masa saturada se movió y erosionó los taludes previamente desestabilizados por un tractor, produciendo los deslizamientos que represó el cauce. Luego todo este material represado se movió a manera de un flujo pero muy lento.

La evaluación geodinámica de los canales y acueductos que se hallan en la parte alta y que cruzan la quebrada Chingo Grande, indican que estas se hallan en regular a buen estado y no hay relación entre posibles fugas de agua con el fenómeno producido el 29-11-07 ni tampoco con otros fenómenos ocurridos el mes de febrero del 2007. En consecuencia, se descarta que las causas del fenómeno del 29-11-07 tengan que ver con fugas de agua de las obras hidráulicas que se hallan aguas arriba.

La evaluación de estabilidad de taludes del deslizamiento DA-1 que está situada en la parte superior del deslizamiento mayor activado el 29-11-07, muestra que es estable en condiciones estáticas y pseudos-estáticas, sin embargo, la reactivación permanente del deslizamiento mayor que está en su base puede afectarla y hacerla inestable.

La quebrada Chingo Grande tiene condiciones geológicas con rocas fracturas y frágiles, lo que sumado a la fuerte pendiente del terreno, hacen que se desarrollen cárcavas y deslizamientos, convirtiéndolo en una quebrada de alto peligro a deslizamientos y aluviones.

La activación o reactivación natural de deslizamientos pueden producir aluviones, igualmente pueden dañar las obras hidráulicas, las que al producir pérdida de gran cantidad de agua, pueden a su vez ocasionar fenómenos similares al 29-11-07.

Los daños evaluados por Defensa Nacional han sido la colmatación del cauce de la quebrada Chingo Grande, la destrucción de 06 viviendas por efecto del flujo y la destrucción de 4

hectáreas de terrenos agrícolas, además de varias familias afectadas. Los daños han sido en el cauce de la quebrada previamente ocupado por viviendas y por terrenos para la agricultura.

Se recomienda limpiar el cauce (decolmatación) de la quebrada para construir un canal de 365 m lineales, que permita evacuar las aguas de lluvias de acuerdo a los cálculos hidrológicos realizados. Esto evitará que se formen nuevos aluviones o huaycos.

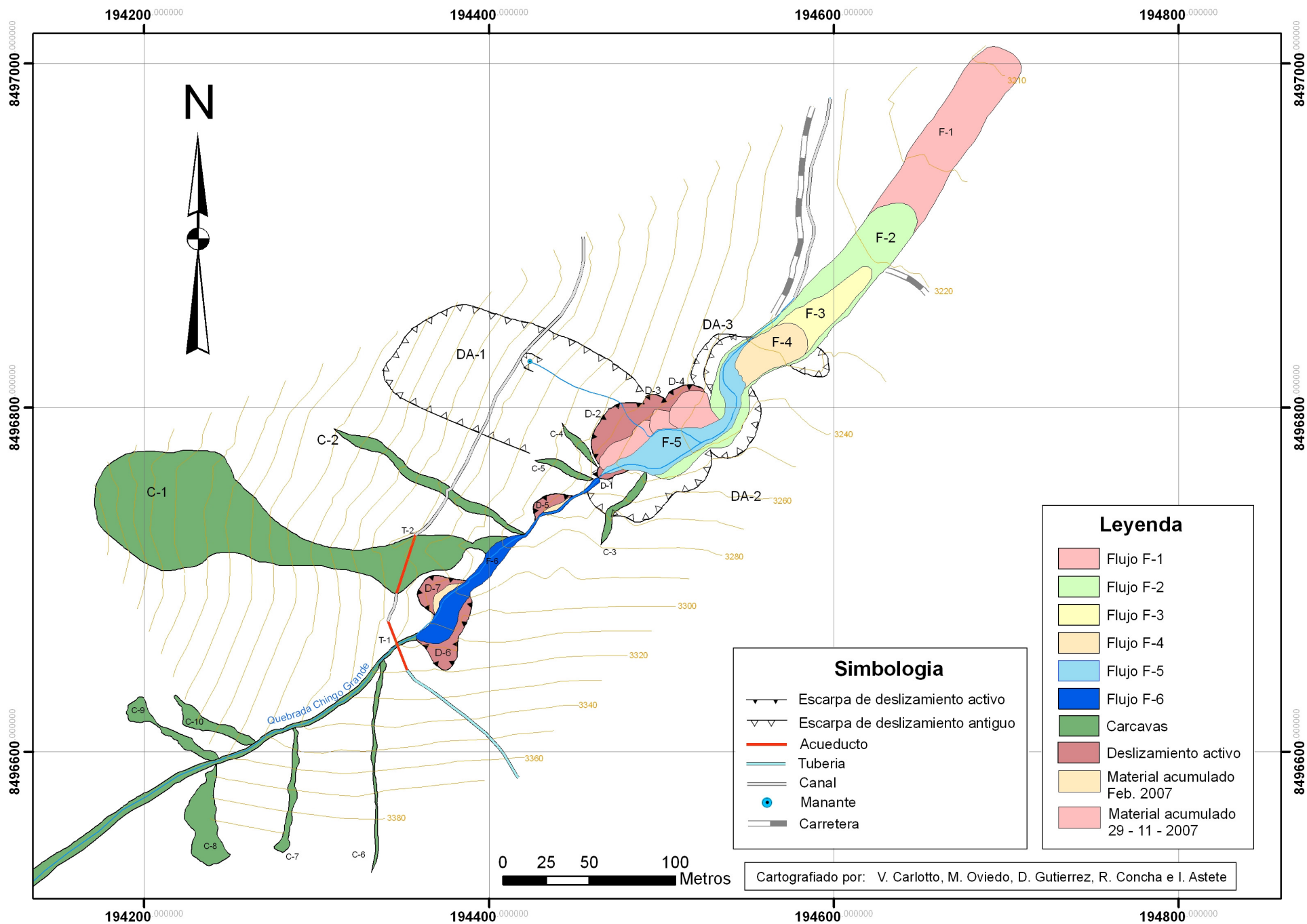
Captar los manantes de la zona, tanto los que activaron el deslizamiento del 29-11-07 así como, los que se hallan en el deslizamiento DA-1. Estos deberán ser llevados a un canal de regadío existente en el área.

Se debe hacer una reforestación integral de la zona de deslizamiento y principalmente de las zonas con cárcavas de la parte media de la cuenca, esto evitará el desarrollo y/o activación de de estos fenómenos que pueden desarrollar aluviones. Un adecuado sistema de re-forestación con especies nativas, además de controlar el escurrimiento superficial y por tanto la erosión, contribuye a la estabilización de laderas.

Por la alta peligrosidad de la quebrada, se debe retirar las obras hidráulicas que pasan por la quebrada Chingo Grande y la cárcava C-1, ya que la activación de cárcavas y deslizamientos destruirían estas obras, lo que haría que el agua de estas incrementen la peligrosidad de la quebrada. Sin embargo, por la importancia de dotar agua al sector donde proveen, la alternativa sería el monitoreo constante y el establecimiento de sistemas de alerta para poder cerrar las válvulas de alimentación de estos canales.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Carlotto, V. (2007). Deslizamiento de Chingo Grande Saylla (Cusco). Informe de Inspección, INGEMMET, 8 p.
- Quintana, R. (2007). Inspección Deslizamiento de Saylla. Gobierno Regional del Cusco, Oficina de Defensa Nacional, 2 p.
- Manrique, J. (2008). Evaluación hidrológica de la microcuenca de Saylla-Chingo Grande, Centro Guaman Poma de Ayala-Cusco, 65 p.



Leyenda

- Flujo F-1
- Flujo F-2
- Flujo F-3
- Flujo F-4
- Flujo F-5
- Flujo F-6
- Carcavas
- Deslizamiento activo
- Material acumulado Feb. 2007
- Material acumulado 29 - 11 - 2007

Simbologia

- Escarpa de deslizamiento activo
- Escarpa de deslizamiento antiguo
- Acueducto
- Tuberia
- Canal
- Manante
- Carretera

Cartografiado por: V. Carlotto, M. Oviedo, D. Gutierrez, R. Concha e I. Astete