

Informe Técnico N° A6613

Evaluación Ingeniero :

Geológica del Deslizamiento de Chinchubamba

Distrito Tomaykichwa, Provincia Ambo, Región Huánuco

POR:
FABRIZIO DELGADO
JACQUELYNE CHAGUA

NOVIEMBRE 2012



CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO	3
2.1. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	3
2.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
2.2.1. COMPLEJO METAMÓRFICO MARAÑÓN (Pe-cma)	6
2.2.2. DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-c)	6
2.2.3. DEPÓSITOS PROLUVIALES (Q-prol)	9
2.2.4. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-f)	10
3. PELIGROS GEOLÓGICOS	10
3.1. GENERALIDADES	10
- DESLIZAMIENTOS	10
- CAÍDAS (DERRUMBES)	10
- CÁRCAVAS	10
- EROSIÓN FLUVIAL	10
3.2. ZONAS EVALUADAS	11
- ZONA 1: DESLIZAMIENTO DE TARAPATA (ANTIGUO)	11
- ZONA 2: REACTIVACIÓN DEL DESLIZAMIENTO	13
- ZONA 3: PARTE BAJA	21
4. LA QUEBRADA WARMIRAGRA	24
4.1. MODELAMIENTO DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAYCOS)	24
4.2. MAPAS DE FLUJOS DIGITALES	28
- MAPA DE ELEVACION MAXIMA DEL FLUJO	28
- MAPA DE VELOCIDAD DE FLUJO (Polígonos y vectores)	28
- MAPA DE PELIGROS POR FLUJO	28
4.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	32
- ZONAS DE <i>RUN UP</i>	32
- ZONAS DE EROSIÓN LATERAL	32
- ZONAS DE REPRESAMIENTO	32
5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	34
5.1. MÉTODOS DE MONITOREO	34
A. Indirecto	34
- Percepción remota	34
B. Directo	34
- Monitoreo del desplazamiento	34
- Monitoreo en base a Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)	35
- Monitoreo de condicionantes de deslizamientos: El caso de lluvia excesiva	35
- Extensómetros	36
5.2. DRENAJE SUPERFICIAL	37
5.3. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN	42
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	48

Listado de fotos, figuras y mapas

EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA DEL DESLIZAMIENTO DE CHINCHUBAMBA

Distrito Tomaykichwa, provincia Ambo, región Huánuco

1. INTRODUCCIÓN

El distrito de Tomaykichwa se ubica en la Cordillera Oriental a 16.7 Km al Sur de la ciudad de Huánuco, provincia de Ambo, región Huánuco (Mapa 01).

La zona evaluada se ubica entre los Kilómetros 4+000 al 6+000 de la trocha carrozable Tomaykichwa - Chinchubamba, el trazo de esta, corta el talud de una ladera correspondiente a depósitos de un antiguo deslizamiento. En la actualidad, la ladera presenta evidencias de reactivaciones, observándose deslizamientos, derrumbes y procesos de carcavamiento. Todos los materiales de estos procesos se acumulan pendiente abajo, rellenando la base de la quebrada Warmiragra y represándola en caso extremo. La ruptura intempestiva de esta, pueden generar huaycos (flujos de detritos) aguas abajo que afectaría viviendas, terrenos de cultivo y las vías de comunicación en la desembocadura de la quebrada Warmiragra. Este escenario ha provocado alarma general en la población

Con Oficio N° 616-2012-GRH-PR, el Gobierno Regional Huánuco, solicitó la evaluación técnica del deslizamiento de Chinchubamba. El INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – DGAR, comisionó a los profesionales Fabrizio Delgado Madera y Jacquelyne Chagua Flores, especialistas en movimientos en masa, para realizar la evaluación ingeniero – geológica del área. Los trabajos se realizaron del 12 al 15 de octubre del presente año. En dicha evaluación se contó con la participación del Sr. Víctor Tello Barral regidor de la Municipalidad Distrital de Tomaykichwa y el Tec. Ing. Juval Chaupis Peña representante de Defensa Civil de Huánuco.

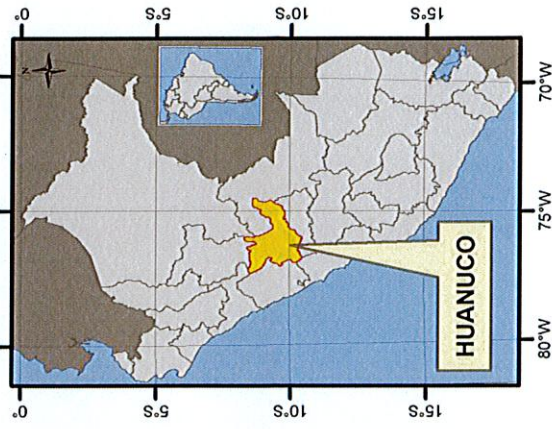
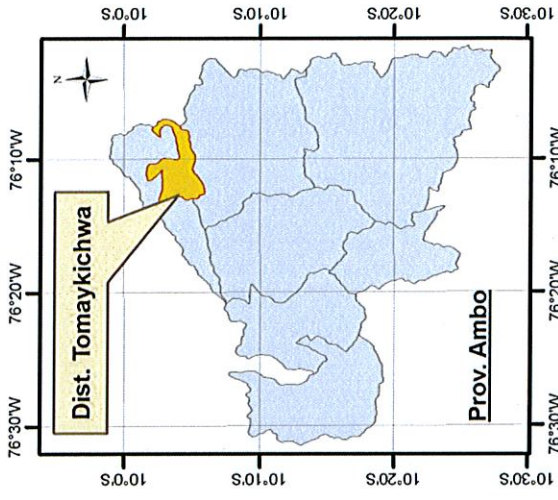
El presente informe contiene documentación obtenida en campo y revisión de información geológica y cartográfica (boletines técnicos, topografía e imágenes satelitales) que permitieron la evaluación del deslizamiento de Chinchubamba, y su influencia en la población e infraestructura. Se emiten conclusiones y recomendaciones que el municipio distrital y el gobierno regional, deberán tener en cuenta para la gestión adecuada de los procesos.

2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

2.1. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Regionalmente el área entre Tomaykichwa y Chinchubamba, en particular la quebrada de Warmiragra, se localiza en una zona montañosa con laderas de moderada a fuerte pendiente (Mapa 02). Su litología metamórfica y por la acción de la erosión y meteorización presenta morfologías onduladas, sobre la cual se desarrollan labores agrícolas.

Morfologías a escala mayor constituyen los depósitos de deslizamientos: laderas cóncavo-convexas con acumulaciones de remoción, mostrando escarpas o zonas de arranque semicirculares; y zonas de antiguos represamiento de valle. Estas morfologías evidencian la alta actividad geodinámica de la región.

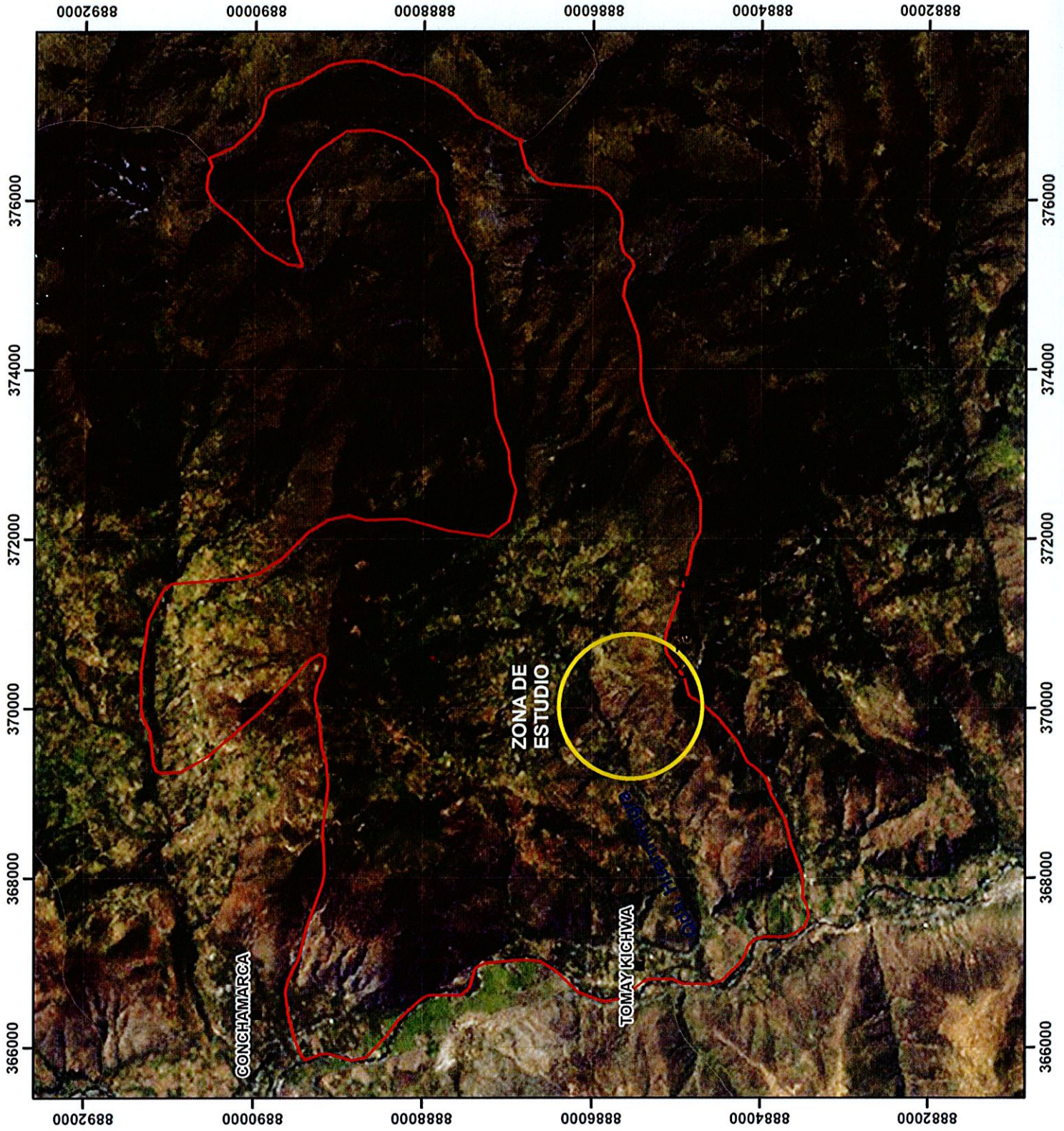


EVALUACIÓN INGENIERO - GEOLOGICA DEL DESLIZAMIENTO DE CHINCHUBAMBA
 DISTRITO TOMAYKICHWA, PROVINCIA AMBO, REGION HUANUCO

INGEMMET
UBICACIÓN

0 1 2 4 km

WGS_1984_UTM Zona 18 Sur Mapa 01



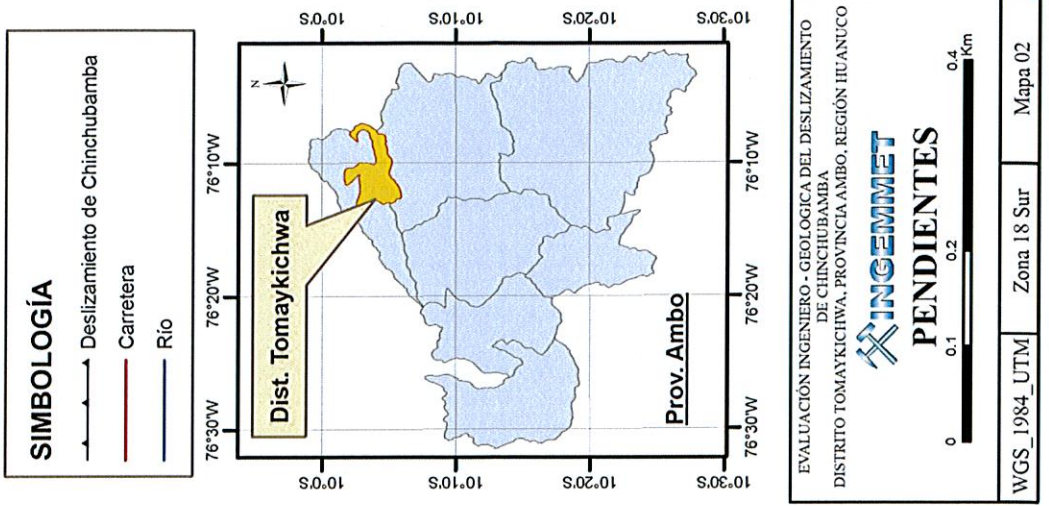
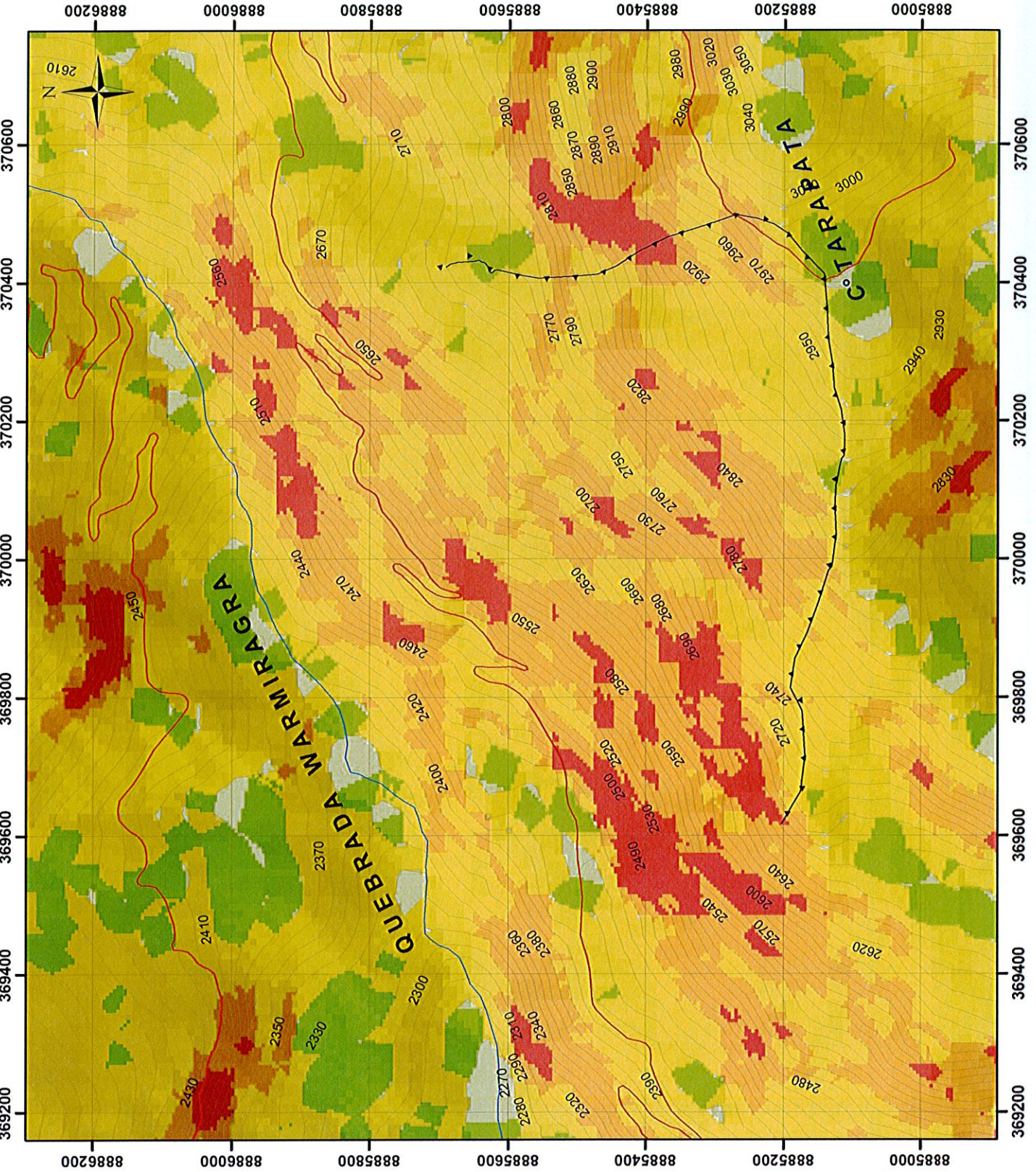




Foto 01: Laderas onduladas y superficies cóncavas y convexas típicas en rocas metamórficas alteradas.

2.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acuerdo al mapa actualizado del cuadrángulo de Ambo (Zapata et al, 2003), y de las observaciones en campo. En el área evaluada afloran las siguientes unidades litológicas (Mapa 03):

2.2.1. COMPLEJO METAMÓRFICO MARAÑÓN (Pe-cma)

Las rocas de este complejo metamórfico está constituido por esquistos que afloran en toda la quebrada Warmiragra, constituyendo el substrato rocoso. En la zona de estudio, se han cartografiado esquistos y filitas, metavolcánicos y paragneis; toda esta unidad se encuentra muy alterada y metamorfizada, diaclasada, fracturada constituyendo rocas de mala calidad geomecánica (Foto 02).

En la zona evaluada, estas rocas generan un suelo arcillo - gravoso de color rojizo-ocre, como depósitos residuales, en algunos casos potentes, sobre el cual se desarrollan tierras de cultivo.

2.2.2. DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-c)

Depósitos de deslizamiento (Foto 03), productos de antiguos deslizamientos y de sus posteriores reactivaciones. Compuesto por bloques de rocas, gravas, guijarros, en matriz limo arcillosa (medianamente plástica) (Foto 04); de color marrón oscuro en estado húmedo y beige en estado seco, con clastos laminares sub angulosos. Este material se presenta medianamente consolidado a inconsolidado, inestable, presentándose caída de rocas, deslizamientos o derrumbes antiguos y reactivados. En la actualidad estos depósitos vienen rellenando la base de la quebrada Warmiragra y el río del mismo nombre.



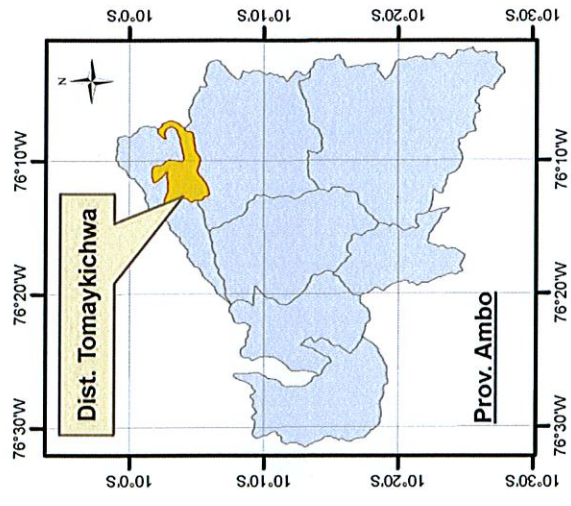
LEYENDA

Unidades estratigráficas

- Q-f Depósitos fluviales
- Q-prol Depósitos proluviales
- Q-co Depósitos coluviales
- Pe-cma/mv,e Complejo metamórfico Marañón

SIMBOLOGÍA

- > Deslizamiento
- Carretera
- Río



EVALUACIÓN INGENIERO - GEOLOGICA DEL DESLIZAMIENTO DE CHINCHUBAMBA
 DISTRITO TOMAYKICHWA, PROVINCIA AMBO, REGION HUANUCO

INGEMMET
GEOLOGÍA

0 0.1 0.2 0.4 Km

WGS_1984_UTM Zona 18 Sur Mapa 03



a)



b)

Foto 02: Unidad Pe-cma/mv,e del Complejo Metamórfico Marañón. En a), líneas rojas muestran los planos de diaclasas, además se observa el grado de alteración. En b) basamento rocoso se encuentra intensamente diaclasado y fracturado.

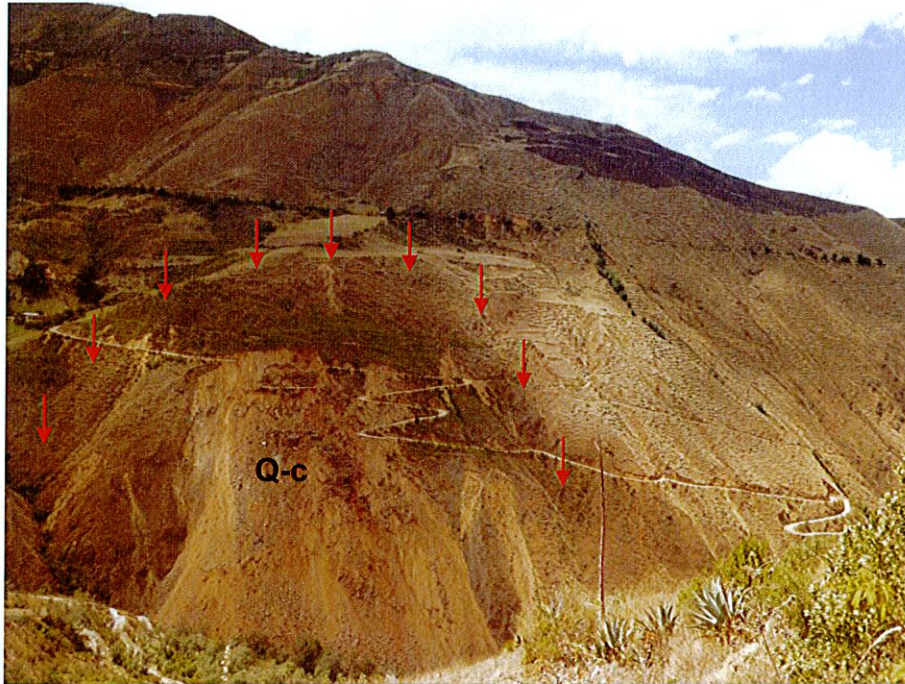


Foto 03: Depósitos coluviales, producto de antiguos deslizamientos, estos depósitos se observan a lo largo de la quebrada Warmiragra. Las flechas rojas delimitan un antiguo deslizamiento.



Foto 04: Depósitos coluviales, compuestos por bloques de rocas, gravas, en una matriz limo arcillosa.

2.2.3. DEPÓSITOS PROLUVIALES (Q-prol)

Estos vienen a ser depósitos de flujos antiguos que descendieron producto de los procesos de erosión en cárcavas, y se depositaron en la base del deslizamiento del cerro Tarapata. Están compuestos por gravas, cantos y bloques de rocas, en matriz limosa arcillosa.

2.2.4. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-f)

Estos depósitos constituyen la base de la quebrada Warmiragra a lo largo del río del mismo nombre y están compuestos por bloques de rocas redondeados a subredondeados y por arenas.

3. PELIGROS GEOLÓGICOS

3.1 GENERALIDADES

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

DESLIZAMIENTOS: Son movimientos ladera abajo de una masa de suelo y roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Los deslizamientos cartografiados en el área son del tipo rotacional; reactivados por sectores, en su parte media y baja; presentando escarpas activas semicirculares a rectas.

CAÍDAS (DERRUMBES): Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebote y rodamiento (Varnes, 1978). Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes) y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas. En la zona de estudio se observan estos procesos debido a la ampliación y corte de la carretera.

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

EROSIÓN FLUVIAL: Llamada también erosión lateral, consiste en el arranque de los depósitos y/o materiales que se encuentran en el fondo y en ambas márgenes del cauce del río, producto del socavamiento producido por éste, provocando derrumbes en ambas márgenes, como se observa en la margen derecha del río Warmiragra, producto de la modificación del curso del mismo.

3.2 ZONAS EVALUADAS

El deslizamiento de Chinchubamba, se ubica en la margen izquierda de la quebrada Warmiragra, producto de la reactivación de un deslizamiento antiguo. Observándose grietas tensionales en la trocha carrozable; al pie del deslizamiento, el material ha invadido el cauce de la quebrada.

En la presente evaluación se procedió a identificar e inventariar cada uno de los procesos de movimientos en masa, y para una mejor descripción, el área de estudio se dividió en tres zonas: Zona 1 (Deslizamiento antiguo), Zona 2 (Reactivación del deslizamiento) y Zona 3 (Parte Baja y/o represamiento).

ZONA 1: DESLIZAMIENTO DE TARAPATA (ANTIGUO)

En esta zona se describe a un antiguo deslizamiento rotacional antiguo, de edad pre histórico, cuya corona se localiza en el flanco NO del Cerro Tarapata, en la margen izquierda de la quebrada Warmiragra. En el cuerpo de este deslizamiento se observan reactivaciones; presentando escarpas escalonadas.

En esta zona el macizo rocoso lo constituyen afloramientos de esquistos muy fracturados, muy alteración y meteorizados. Con presencia de aguas superficiales y subterráneas, que constituyen los "detonantes" de las reactivaciones en esta zona.

La escarpa principal del deslizamiento antiguo se encuentra a una altura de 2990 msnm, el pie del mismo, en la base de la quebrada Warmiragra, a una 2385 msnm, con una diferencia de altura de 605 m. La corona tiene una longitud de 1.1 Km (Foto 05)

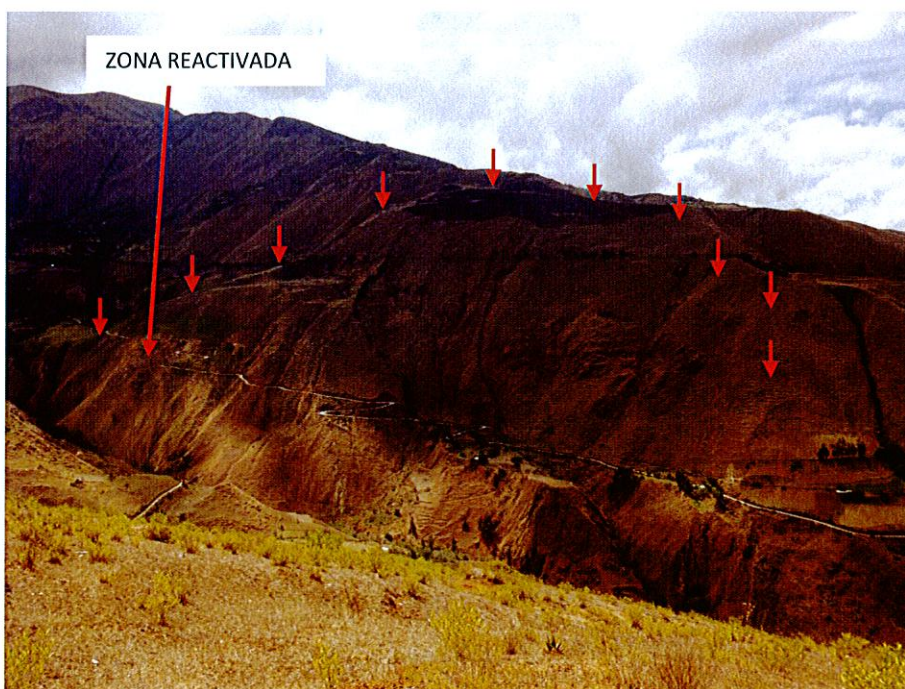


Foto 05: Las flechas rojas demarcan el deslizamiento antiguo.

Sobre la masa deslizada (cuerpo del deslizamiento), sectores medio y pie, se observan posteriores eventos como deslizamientos, derrumbes, procesos de cárcavamiento, etc. (Foto06).



Foto 06: Las flechas de colores demarcan los deslizamientos recientes y las líneas verdes los procesos de cárcavamiento.

En la base del deslizamiento se observa algunos depósitos de flujos antiguos que descendieron producto de los procesos de erosión en cárcavas. (Figura 01).

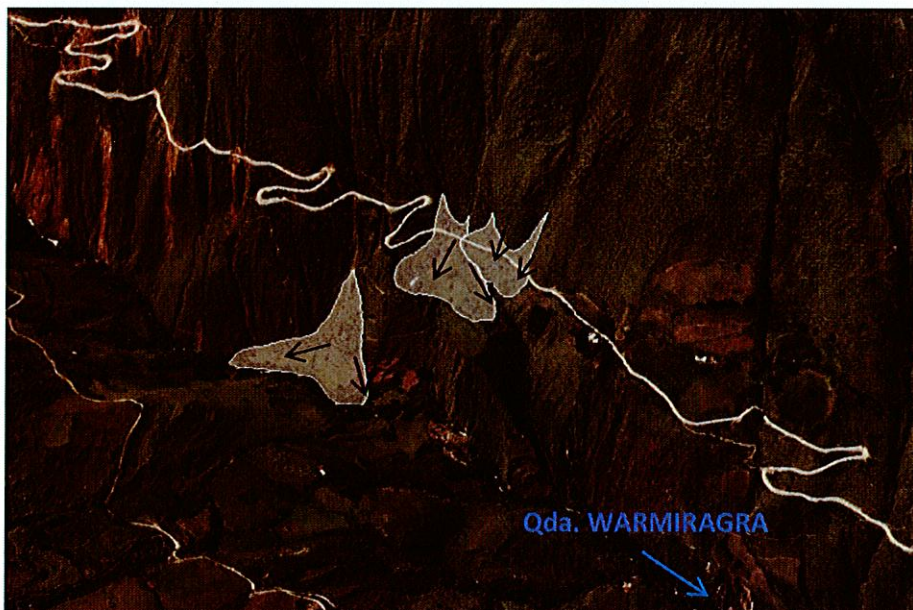


Figura 01: Se observan los flujos antiguos que se encuentran en la base del deslizamiento del cerro Tarapata, en la actualidad no afectan a la quebrada Warmiragra.

ZONA 2: REACTIVACIÓN DEL DESLIZAMIENTO

La zona 2, ubicado en el borde derecho y bajo del deslizamiento antiguo (flanco NO del cerro Tarapata), corresponde a un deslizamiento rotacional, retrogresivo de velocidad de movimiento moderada a, producto de la reactivación del deslizamiento antiguo. Estos deslizamientos reactivados, afectan principalmente la trocha carrozable Tomaykichwa – Chinchubamba y la quebrada Warmiragra.

Como se observa en el Mapa 04. Esta zona está constituida por depósitos coluviales, correspondientes a los materiales del antiguo deslizamiento de Tarapata.

Los deslizamientos reactivados son de tipo rotacional, siendo los principales factores para que se generen estos procesos los siguientes: a) incompetencia de la litología al ser estos depósitos inconsolidados, diaclasados, fracturados y alterados; b) la pendiente del terreno que en este sector presenta fuerte pendiente; y c) la presencia de agua ya sean superficiales o subterráneas: en la parte alta de este deslizamiento se discurre un canal de riego sin revestimiento; así como surgencias de agua estacionarios principalmente en tiempo de precipitaciones. En esta época se observan manantes de agua en todo el cerro, saturando el suelo y provocando la inestabilidad de la ladera.

El deslizamiento reciente que afecto la carretera tiene las siguientes dimensiones: corona con una longitud de 100 m y la distancia que existe entre la corona de este deslizamiento y el fondo de la quebrada es de 250 m (Foto 07). Este deslizamiento afecto la trocha carrozable Tomaykichwa – Chinchubamba, destruyendo por completo 90 m, generando un desnivel de 24 m (Foto 08).

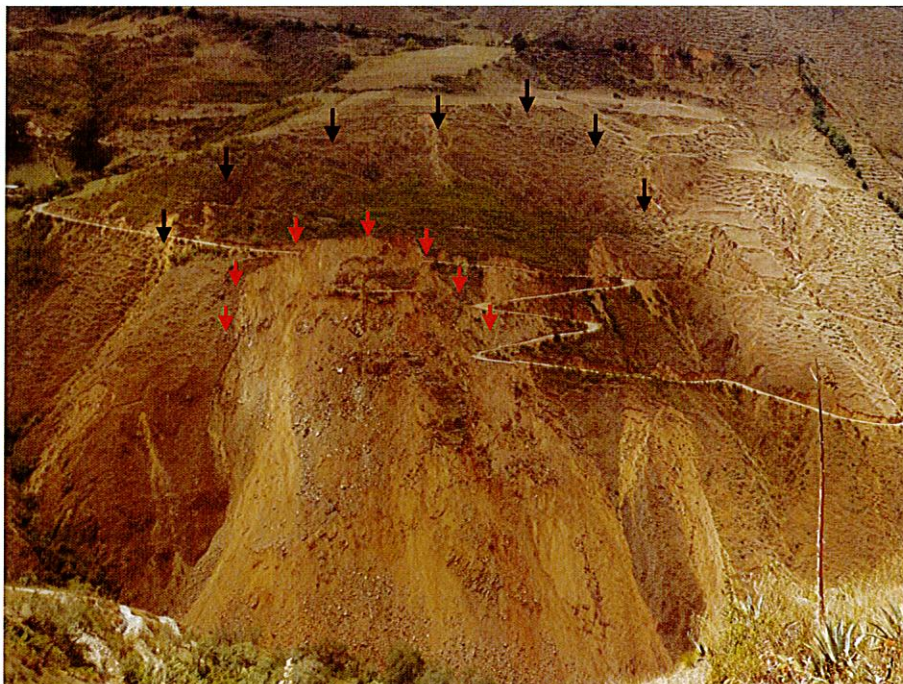


Foto 07: Las flechas negras demarcan el deslizamiento antiguo y las flechas rojas el deslizamiento nuevo, se observa como la carretera viene siendo afectada.



Foto 08: Se observa la destrucción de 90 m de la carretera, también se puede ver el desplazamiento de 24 m, siendo ya parte de la masa deslizada.

En este sector, se observan también, grietas, asentamientos, escarpes, etc. En el flanco izquierdo, en el primer desarrollo se observan escarpes de 1m, que mantienen una dirección $N100^\circ$ que corresponde con la dirección del deslizamiento (foto 09); también se observan una serie de grietas que tienen aberturas de 0.25m, llegando en algunos sectores a ser 0.4m; estas grietas son paralelas a la escarpa principal $N55^\circ$, cuya dirección de movimiento del terreno en esta parte viene a ser $N325^\circ$ (Foto 10),

En el segundo desarrollo se observa un deslizamiento que afecta la carretera, así como también al tercer desarrollo (Foto 11). En este desarrollo se observan desniveles de hasta 1.30 m, con una dirección $N110^\circ$.; con una ligera orientación con el escarpe del primer desarrollo (foto 12). También se observan una serie de grietas con aberturas de 0.30 m, llegando en algunos sectores hasta 0.4 m; con desniveles de 0.30 m. La dirección de estas grietas son $N90^\circ$, y la dirección del movimiento viene a ser $N345^\circ$ (Foto 13).

En la curva del tercer desarrollo y cuarto desarrollo, en depósitos coluviales inconsolidados, parte de la carretera se encuentra cortada por el deslizamiento, observándose un escarpe de 2.5 m de altura. La dirección del escarpe en el flanco izquierdo es $N 100^\circ$ (Foto 14). En este sector se observan grietas con aberturas de hasta 0.2 m que mantienen la misma dirección de la escarpa del deslizamiento.



Foto 09: Se observa el escarpe de 1m en el primer desarrollo de la trocha Tomaykichwa – Chinchubamba.



Foto 10: Se observan las grietas en la carretera con aperturas hasta 0.4 m y la flecha roja muestra la dirección del movimiento del terreno.



Foto 11: Las flechas rojas demarcan el deslizamiento ocurrido en el segundo desarrollo.



Foto 12: Se observa el desnivel de 1.3m en el segundo desarrollo de la trocha Tomaykichwa – Chinchubamba.



Foto 13: Se observan en flechas rojas los agrietamientos en el segundo desarrollo de la trocha carrozable Tomaykichwa – Chinchubamba.

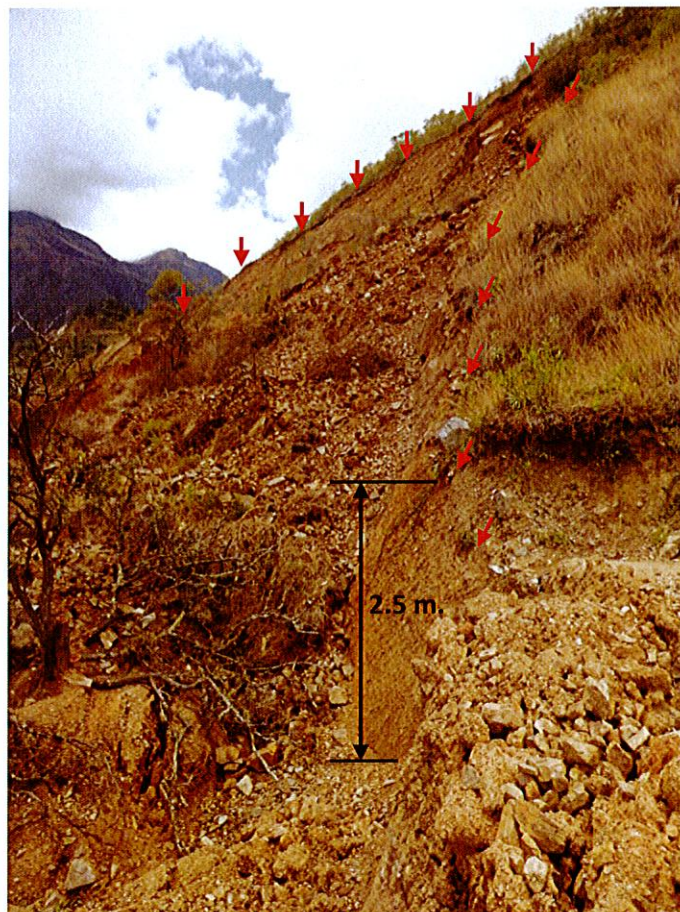


Foto 14: Flanco izquierdo de la corona del deslizamiento, se observa un escarpe de falla de 2.5 m en este sector.

En la curva del quinto desarrollo, el deslizamiento es producto del corte del talud para la ampliación de la carretera. Tiene una altura, desde la corona hasta la carretera, de 30 m. (Foto 15). En la trocha carrozable también se observa una grieta de aproximadamente 150 m de longitud, con una dirección N45°, un escarpe o salto de 0.3 m y dirección de movimiento del terreno es N315° (Foto 16)



Foto 15: Deslizamiento producido por el corte de talud para la ampliación de la trocha carrozable.

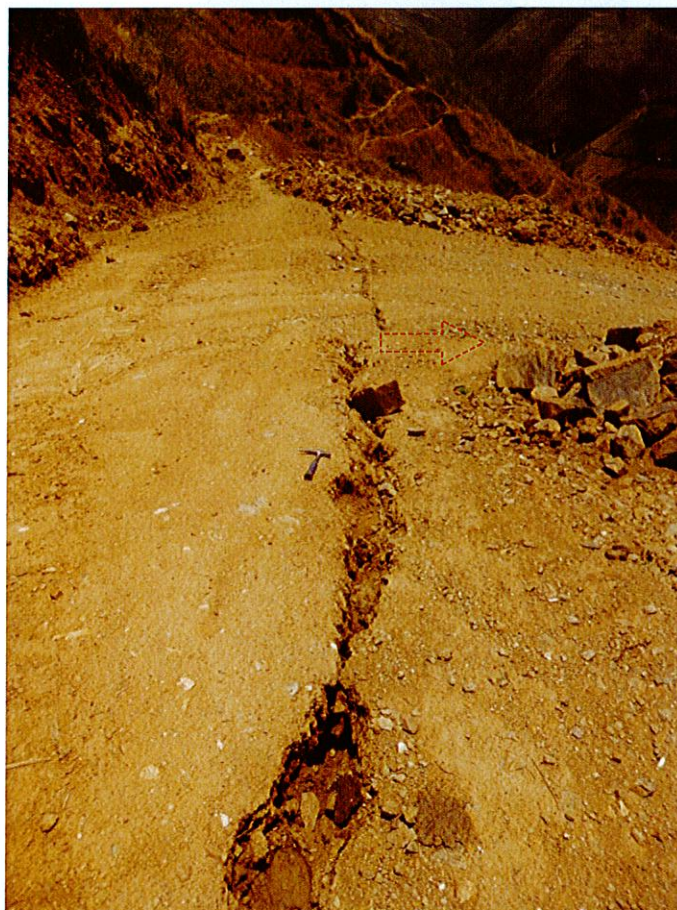


Foto 16: Grieta de aproximadamente 150 m de longitud, discurre paralela a la trocha. La flecha roja indica la dirección del movimiento del terreno.

Continuando, en el quinto desarrollo se observa un deslizamiento rotacional que destruye la trocha en una longitud aproximada de 90 m, desplazando su plataforma 24 m abajo (Foto 17). Este deslizamiento ocurrió en el mes de setiembre del presente año teniendo como factores importantes la pendiente de la ladera, la presencia de agua y el tipo de material (coluviales inconsolidados), años anteriores solo se observaron pequeños asentamientos y grietas en la plataforma de la trocha.

El deslizamiento presentan grietas encima de la corona y en los flancos; tiene una longitud aproximada de 150 m de la corona, la distancia que existe desde la corona hasta la base de la quebrada es de 250 m; ancho promedio de 175 m y una profundidad promedio de 7 m (Foto 18). La masa deslizada viene obstruyendo la quebrada.

En el flanco derecho del deslizamiento, se observan algunas grietas que cortan la carretera, estas son paralelas al escarpe del deslizamiento con una dirección N10° (Foto 19)



Foto 17: La flecha roja muestra el trazo normal de la carretera Tomaykichwa-Chinchubamba; la flecha negra muestra la plataforma deslizada 24 m. La flecha punteada muestra la dirección de movimiento del deslizamiento.

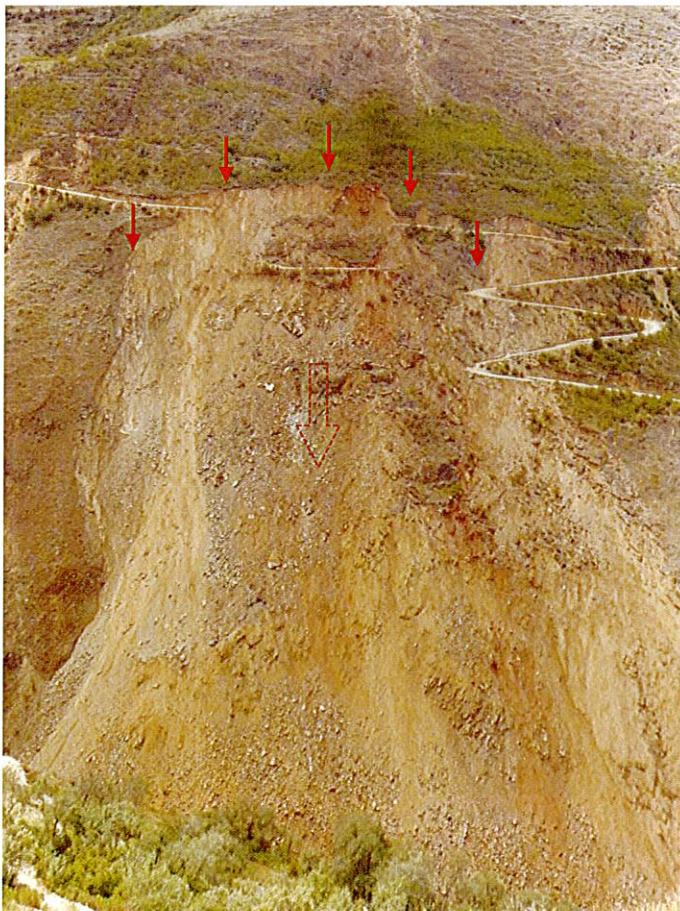


Foto 18: Las flechas rojas demarcan el deslizamiento de Chinchubamba, se observa como viene afectando el trazo de la carretera.

Los últimos eventos que se están suscitando en la margen izquierda del río vinieron cerrando la quebrada en la parte baja con todo el material deslizado, generando la alarma en la población que se encuentra ubicada en la desembocadura de la quebrada Warmiragra (Foto 20).

El deslizamiento que se viene dando por la reactivación del antiguo deslizamiento movilizó un volumen de suelo y rocas aproximado de 306250 m³; parte de este volumen se encuentra suspendido y otra parte bien bloqueando completamente la quebrada. El material removido está compuesto por esquistos (roca metamórfica), grava y estos se encuentran envueltos en una matriz limosa (Foto 21). Todo este material relleno el cauce del río, pero no genero ningún represamiento, ya que el agua pasa dentro del material deslizado, provoca el lavado de materiales finos, generando un proceso de erosión interna y/o tubificación.

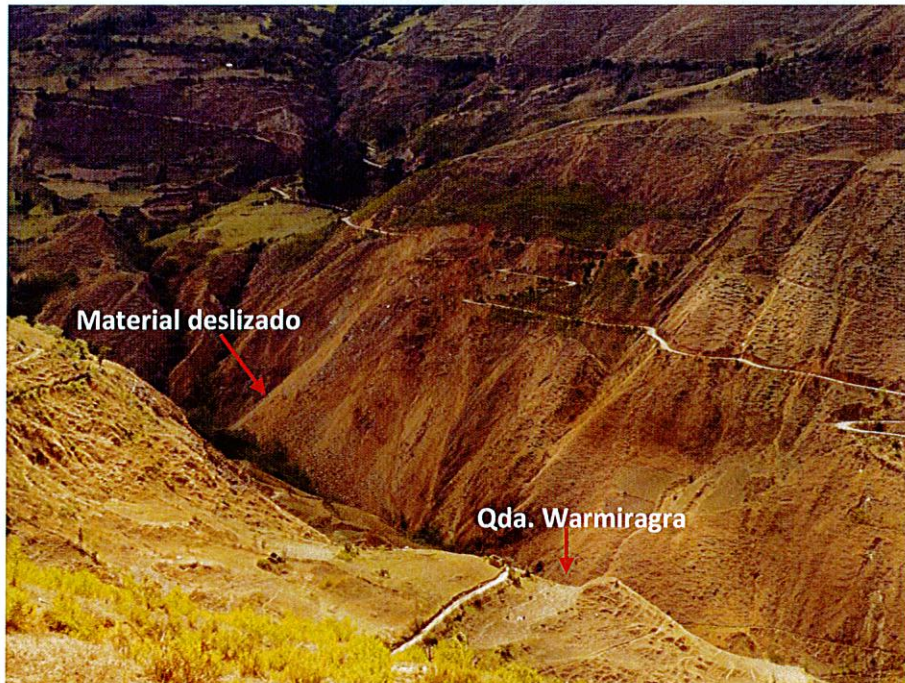


Foto 20: Se puede observar el tipo de obstrucción la quebrada Warmiragra, represando la misma. Estas se producen debido a las últimas reactivaciones del antiguo deslizamiento.



Foto 21: Se observa el material deslizado, compuesto de bloques de rocas, cantos y gravas envueltos en una matriz limosa, que viene bloqueando la quebrada Warmiragra.

El dique natural que bloqueo el cauce del río Warmiragra, presenta las siguientes dimensiones:

Altura del punto de Inicio (P_i) del dique:	2486 msnm
Altura del punto final (P_f) del dique:	2433 msnm
Diferencia de altura:	53 m
Longitud del punto P_i a P_f :	300 m
Altura del punto medio (P_m) del dique:	2495 msnm

4. LA QUEBRADA WARMIRAGRA

La quebrada Warmiragra, ubicada en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, constituye una quebrada joven en forma de "V", formando parte de la subcuenca del río Warmiragra, esta subcuenca tiene como punto más alto los 4230 msnm (encima de la laguna Estanco) y desemboca en el río Huallaga a 2027 msnm. Por su configuración geográfica y juventud la quebrada es geodinamicamente muy activa, evidenciándose depósitos de antiguos flujos que descendieron por la quebrada (Figura 03).

A lo largo de la quebrada Warmiragra se observan antiguos deslizamientos ubicados en ambos flancos de la quebrada, debido a que el basamento rocoso se encuentra muy alterado e intensamente diaclasado y/o fracturado, en laderas de fuerte pendiente. Procesos detonados por la presencia de agua, ya sea subterránea o por las intensas precipitaciones pluviales que se dan en la zona en los meses de Noviembre a Abril.

Por la importancia que presenta la quebrada Warmiragra, teniendo en cuenta las viviendas que se encuentran en la desembocadura de la quebrada y los terrenos de cultivo, se procedió a generar la simulación ante un probable flujo de detritos (huayco y/o aluvión) que se origine en dicha quebrada, para lo cual se utilizó el programa de modelamiento de flujos FLO-2D.

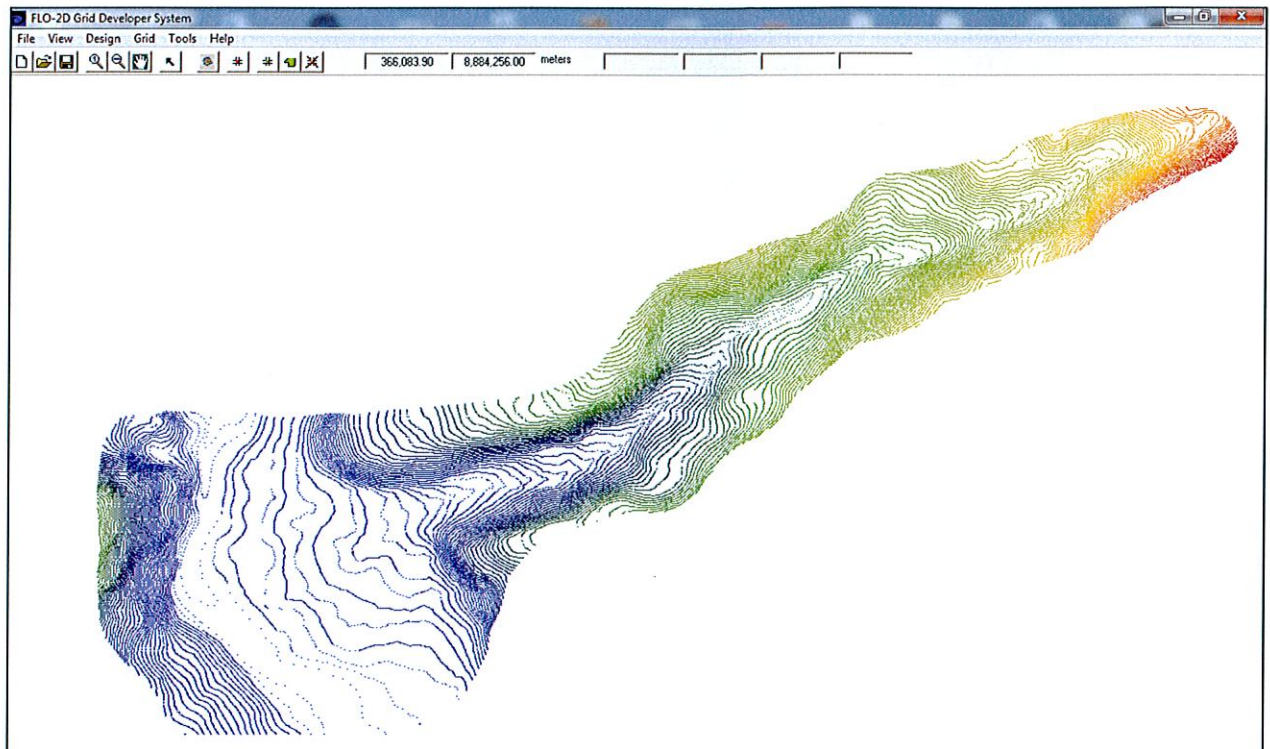
4.1 MODELAMIENTO DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAYCOS)

El método de modelamiento FLO-2D (O' Brien, 2000), simula flujos no-newtonianos, como flujos de detritos (huaycos) en conos aluviales y quebradas. El modelo permite simular flujos en topografías complejas tales como áreas urbanizadas y planicies de inundación así como el intercambio de fluido entre los canales y la planicie de inundación. Puede modelarse flujos de agua, flujos hiperconcentrados de sedimentos (flujos de detritos) y flujos de barro.

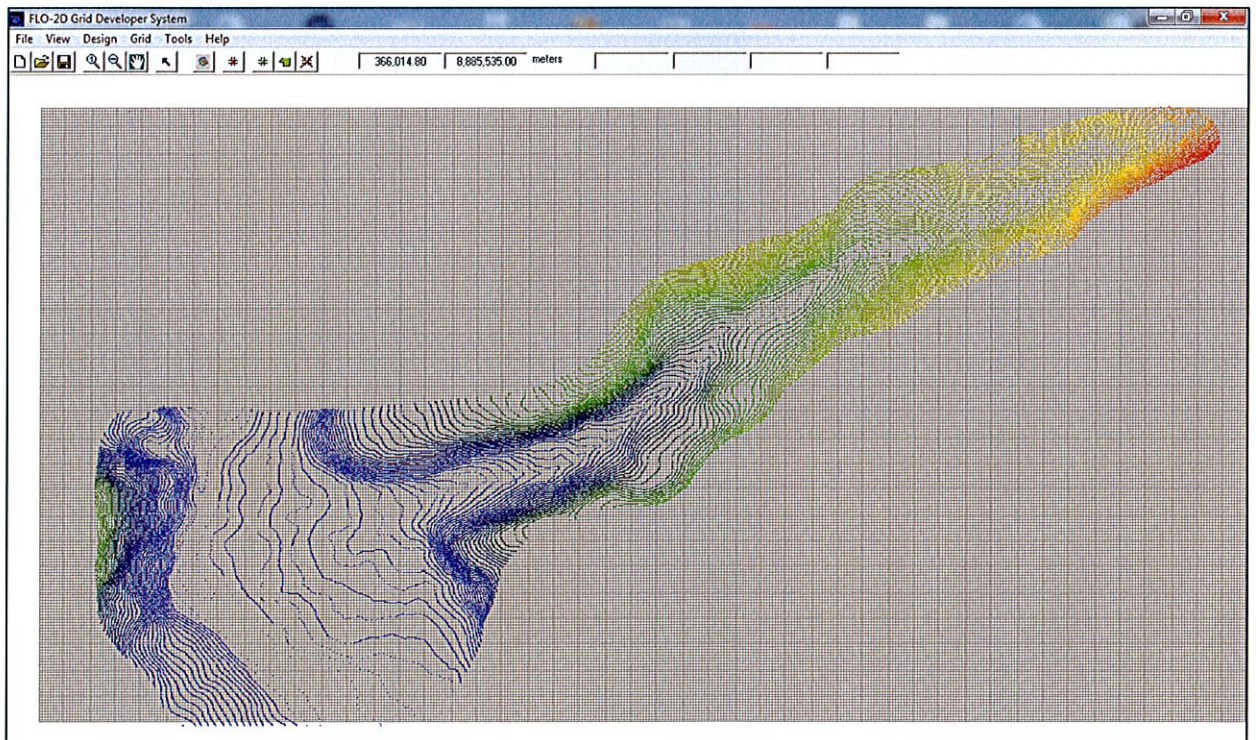
El modelo de simulación ha sido ampliamente probado y calibrado en varias zonas críticas por flujos de detritos (Valderrama et.al., 2007, Valderrama & Vilca 2010) tanto en Perú como en otros países, por lo que genera un alto grado de precisión y exactitud en los resultados. Para la utilización del software se ha usado parámetros como la topografía, forma del cauce, fotografías aéreas e hidrogramas. Una vez conocidos los parámetros característicos, se procede a simular bajo éstas condiciones el posible flujos en la quebrada Warmiragra, para ello se empleó la topografía a escala 1:5000. Para la correcta interpretación de datos se generaron tres escenarios de flujos, el primero con 25 m³/s, que se asemejaría a un flujo de baja intensidad con concentración de sedimentos baja. El segundo escenario fue de 50 m³/s, que generaliza un flujo de intensidad y concentración de sedimentos media. Finalmente, el tercer escenario es considerado el WCS (*Word Case Scenario*, Peor Escenario Posible), con un caudal máximo de 100 m³/s y una concentración de sedimentos muy alta. Para la zona de simulación se creó una grilla con celdas de 10 x 10 m (Figura 04) puesto que se tiene curvas topográficas cada 5 metros; una vez creada las celdas, se importó la imagen aérea de la quebrada Warmiragra, se procede a delimitar el polígono y luego a interpolar las alturas para generar un modelo de elevación digital de la quebrada Warmiragra.



Figura 03: Intensa actividad geodinámica en la quebrada Warmiragra, con la presencia de antiguos deslizamientos, cárcavas (erosión de laderas) y huaycos.



a)



b)

Figura 04: a) Topografía de la quebrada Warmiragra sin grilla; b) Grillas definidas de 10 x 10 m para la simulación del flujo.

Una vez almacenados los datos, se procedió a calibrar el modelo con los siguientes datos:

Tiempo de simulación	12 hrs.
Intervalo de generación de resultados	0.1 hrs.
Coefficiente de viscosidad "n" de flujo	0.1
Rugosidad promedio del cause	0.2
Coefficiente de "Wave celerity"	0.02

Se procede a generar las estructuras de salida (*outflow*), también la celda donde se ubicará el hidrograma de entrada (*inflow*) (Figura 05).

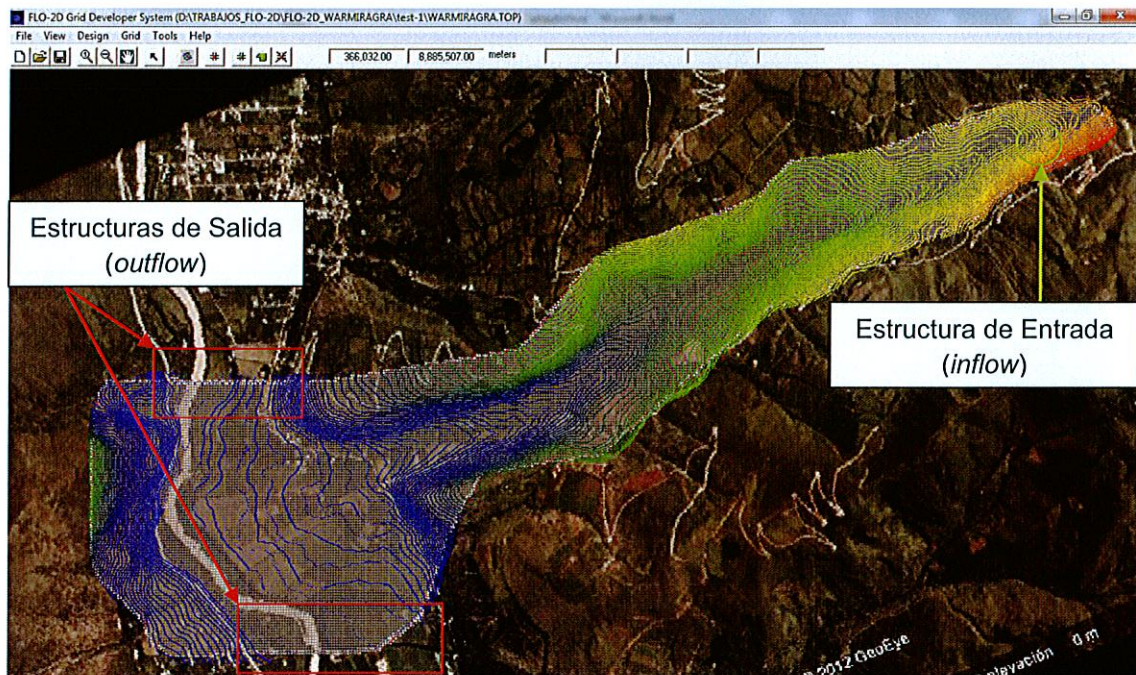


Figura 05: Los cuadros rojos demarcan las zonas donde se ubicaron las estructuras de salida (*outflow*) y el círculo de color verde muestra donde se ubica la celda del hidrograma de entrada (*inflow*).

Una vez comprobado los datos mediante una verificación detallada y manual, procedemos a ejecutar el programa FLO-2D, donde la zona gris es el área donde se simula el flujo, la ventana pequeña es la expresión gráfica del Hidrograma del flujo y la leyenda inferior muestra las alturas que el flujo va desarrollando conforme avanza por el cause de la quebrada (Figura 06).

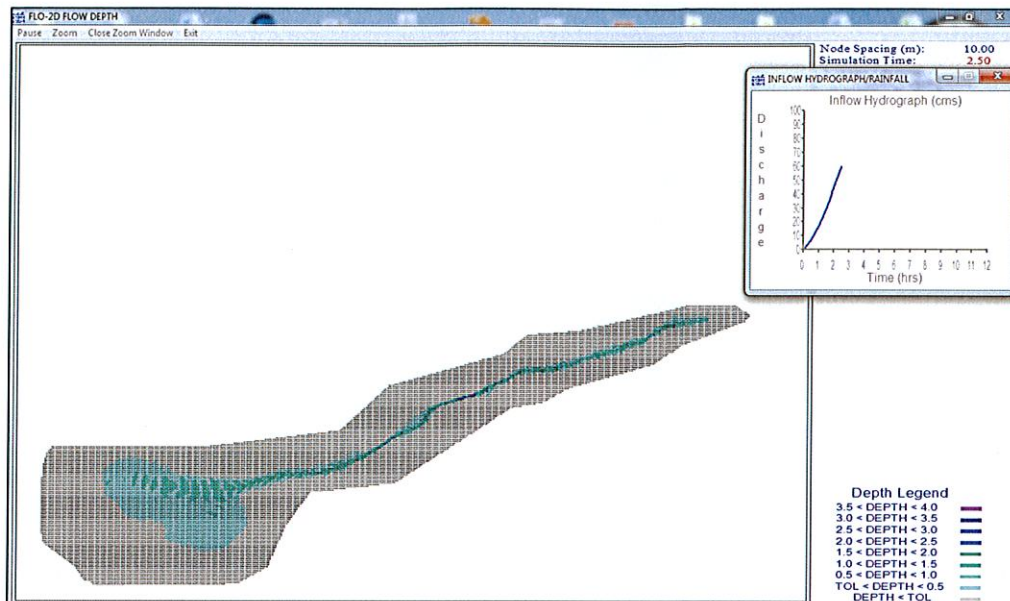


Figura 06: Ventana del FLO 2D, que muestra la evolución de la simulación del flujo en la quebrada Warmiragra.

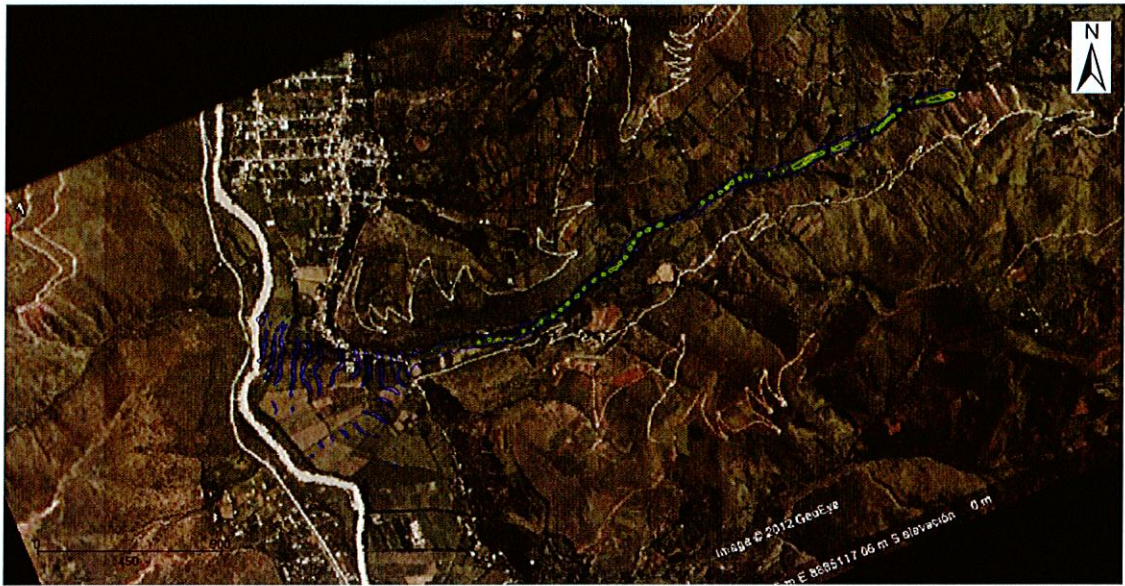
4.2. MAPAS DE FLUJO DIGITALES

Como resultados de la simulación FLO-2D, se obtuvo los siguientes mapas de flujo digital, estos mapas están en alta resolución en el anexo 6 del informe.

- **Mapa de elevación máxima del flujo.**- Muestra las alturas máximas tomadas por el flujo durante la simulación (Figura 07).
- **Mapa de velocidad de flujo (polígonos y vectores).**- Muestra las velocidades y distribuciones del flujo en la quebrada Pucauran y alrededores expresados en polígonos promedio y vectores de velocidad, dirección, turbulencia (Figura 08).
- **Mapa de peligros por flujo.**- Muestra una zonificación de peligros según la combinación de los factores (mapas) antes explicados. Estos están expresados en Peligro Alto (Rojo), Peligro Medio (Anaranjado), Peligro Bajo (Amarillo) (Figura 09).



Figura 07: Mapa de elevación máxima del flujo.



a)



b)

Figura 08: Mapa de velocidad de flujo: a) en polígonos, b) en vectores.

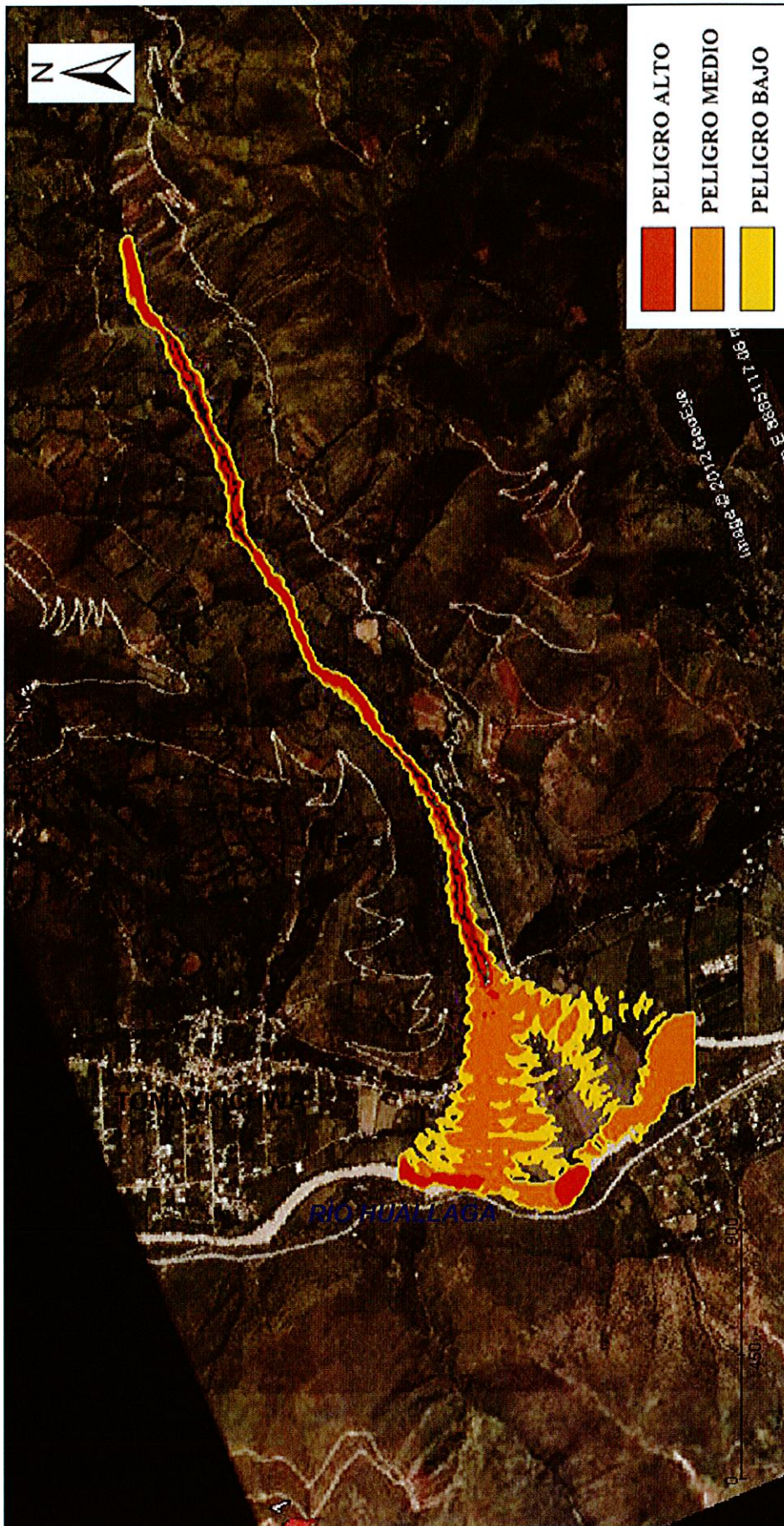


Figura 09: Mapa de peligros por flujo.

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos con el modelamiento, para la quebrada Warmiragra se tiene:

ZONAS DE RUN UP: Una zona de *Run Up* es señalada como un "rebalse" de la quebrada, cuando el flujo sale del cause y tiende a inundar los alrededores.

Según los resultados del FLO-2D, se tiene varias zonas de *Run Up* debido principalmente a la profundidad de la quebrada y a lo sinuoso del cause. Estas zonas se muestran en la Figura 10 con flechas de color rojo.

ZONAS DE EROSIÓN LATERAL: La erosión lateral consiste en el arranque de los depósitos y/o materiales que se encuentran en ambas márgenes del cause del río, producto del socavamiento producido por éste. En un eventual flujo de detritos en la quebrada Warmiragra, debido al rompimiento del dique, este seguramente erosionara todo el cause de la misma, reactivando varios movimientos en masa activos o antiguos. Según los resultados del FLO-2D, las zonas marcadas con líneas de color anaranjado son las más propensas a ser mas erosionadas.

ZONAS DE REPRESAMIENTO: Represamiento se conoce como el bloqueo parcial o total de una quebrada, cause de río o corriente de agua debido a un movimiento en masa que generalmente tiende a desembalsar violentamente.

Los resultados del FLO-2D nos muestran zonas críticas por represamientos a lo largo de la quebrada Warmiragra. Según el modelo, estas zonas, por el poco ancho del cause y el estrangulamiento del mismo por cambios de la dirección de la quebrada, son probables zonas para generar represamientos temporales, que desencadenaría en un flujo de detritos secundario que podría ser mas dañino que el principal. Además se señalan otras zonas con menor potencial a producir represamientos en la quebrada.

Finalmente, los resultados numéricos de la simulación se pueden resumir en:

Flujo total simulado en la quebrada	1 123 266.57 m ³
Volumen total del flujo y del depósito	1 244 328.88 m ³
El total de área inundada	909 300 m ²

En el mapa de peligros por flujo, se muestra una zonificación de peligros según la combinación de los factores (mapas) antes explicados. Estos están expresados en Peligro Alto (Rojo), Peligro Medio (Anaranjado), Peligro Bajo (Amarillo) (Figura 10).

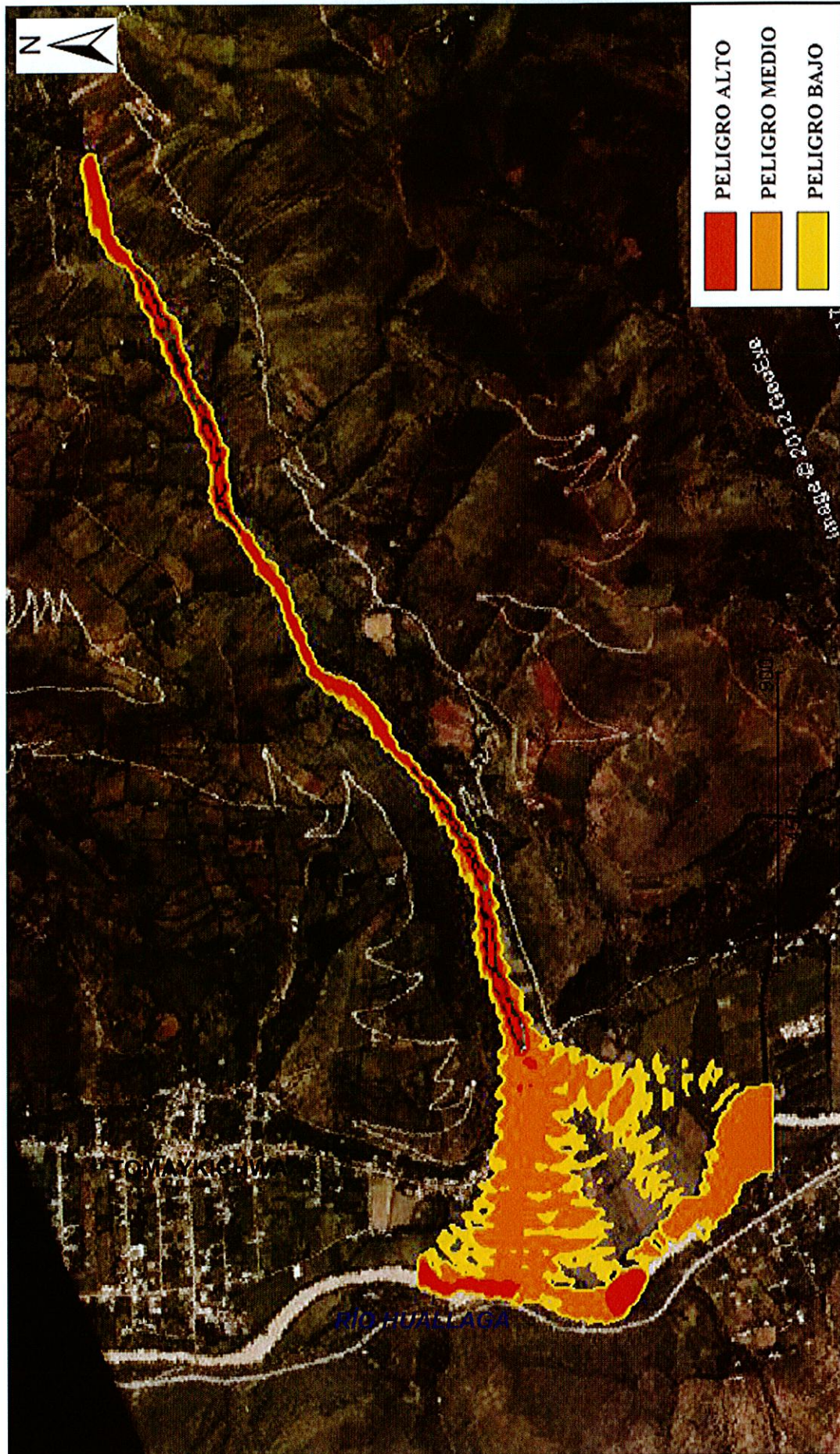


Figura 10. Zonificación de peligros por flujo de detritos.

5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Existen varias formas de enfocar y resolver para cada problema específico. La metodología a usar depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos, políticos; con gran cantidad de variables en el espacio y en el tiempo.

Las áreas propensas a deslizamientos pueden instrumentarse (monitorearse) para prevenir o avisar sobre la actividad del mismo; así como establecerse programas de información a la comunidad sobre la eventualidad de un evento violento.

Los sistemas de observación recomendados para este caso, contemplan: el monitoreo geodésico a distancia, el uso de extensómetros y observación periódica en las principales grietas,

Con estas técnicas se puede:

- Determinar los movimientos laterales y verticales dentro de la masa deslizada, la velocidad de deslizamientos y según lo anterior, establecer mecanismos de alarma
- Monitorear la dinámica del talud natural e identificar los efectos en los taludes de corte (carreteras), para evaluar un potencial deslizamiento violento.

5.1. MÉTODOS DE MONITOREO

Los deslizamientos son usualmente monitoreados por varios métodos, la combinación de estos muestran resultados más confiables del proceso geodinámica.

Las técnicas de monitoreo pueden ser directos o indirectos, dependiendo de cada caso se utilizan diferentes metodologías que se describen a continuación:

A. Indirecto

Para estos métodos de monitoreo se utilizan los datos obtenidos en el campo.

Percepción remota:

Los sensores remotos permiten recoger información por medio de equipos que no están en contacto directo con el objeto de la investigación.

B. Directo

Monitoreo del desplazamiento.

Esta actividad puede llevarse a cabo instalando puntos de control sobre la ladera y midiendo el desplazamiento relativo en función del espacio y el tiempo.

Como se aprecia esta "regla de medición de grietas" es un instrumento que fue diseñado para medir el desplazamiento de la masa de tierra. Nos permite medir los desplazamientos en sentido vertical y horizontal. Se coloca en una grieta identificada que pueda, como consecuencia de

un posible desplazamiento de tierra, causar daños a corto y largo plazo (Figura 11).

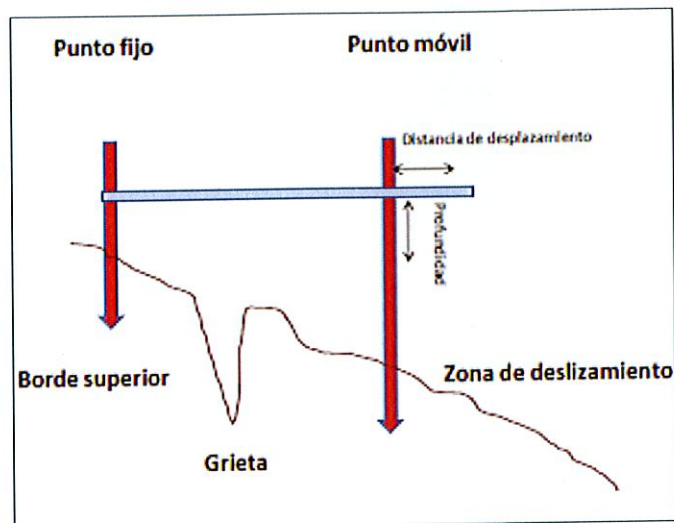


Figura 11: Modelo que muestra el proceso de monitoreo en campo, teniendo un punto fijo y el punto móvil en la zona de deslizamiento.

Monitoreo en base a Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

Puede utilizarse un GPS para monitorear el desplazamiento. Para ello se necesita ubicar con bastante precisión la posición de puntos conocidos en el terreno. Este método únicamente permite medir movimientos de varios metros (Figura 12). Se utilizan instrumentos de alta precisión (GPS diferenciado). El GPS permite monitorear frecuentemente la posición de los puntos en el terreno y de este modo determinar si se desplazan y a qué velocidad lo hacen. Se puede utilizar también Estación Total para un control de campo.

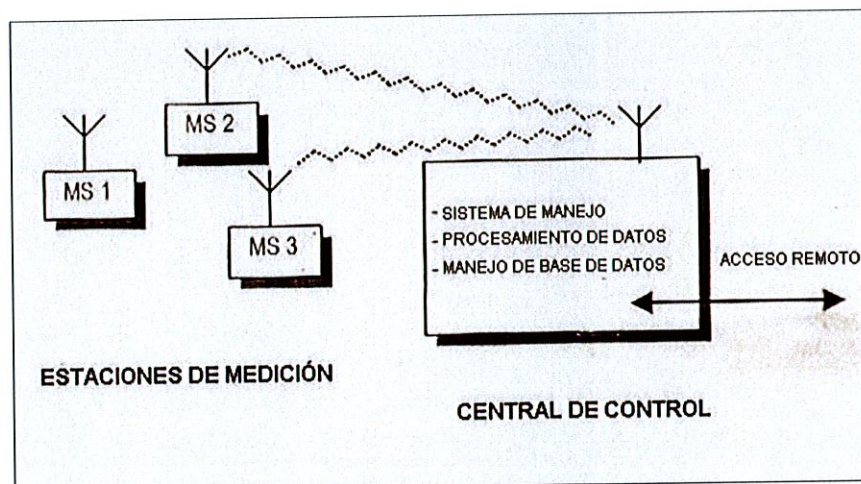


Figura 12: Sistema GPS Modo Diferencial

Monitoreo de condicionantes de deslizamientos: el caso de lluvia excesiva.

En las comunidades donde la lluvia es el agente disparador principal de deslizamientos es posible evaluar la amenaza en base a la cantidad de

lluvia, para lo cual se recomienda monitorear permanentemente la cantidad de lluvia que cae en la región y definir el valor umbral en que empiezan a ocurrir los deslizamientos (Figura 13).

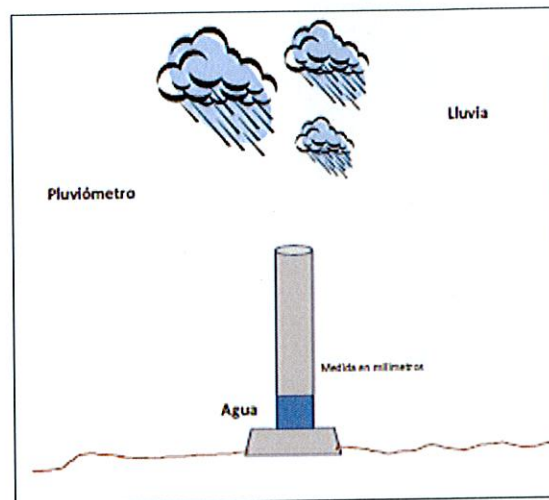


Figura 13: Prueba de infiltración sobre el terreno.

Para medir la cantidad de lluvia, se puede utilizar cualquier recipiente abierto con lados verticales donde se acumule la lluvia. Se mide la profundidad del agua con una regla y, en consecuencia, la cantidad de lluvia en milímetros (mm). Puede medirse la lluvia diaria con pluviómetros y la lluvia horaria con pluviógrafos. Para posicionar estos instrumentos, debe consultarse a un experto.

Lo más correcto es realizar un estudio para cada área donde se conozca cuáles son las cantidades de lluvia que tienden a originar deslizamientos y, en base a estas cifras, establecer un Sistema de Monitoreo de los Deslizamientos.

Extensómetros:

El extensómetro es utilizado para medir el movimiento relativo comparando la distancia entre dos puntos de una forma automática.

Los extensómetros generalmente, se instalan a través del escarpe principal o a través de las grietas para determinar su movimiento.

Colocando una serie de extensómetros interconectados desde el escarpe principal hasta la punta del deslizamiento, se puede determinar en forma clara el movimiento de bloques individuales dentro del movimiento general (Figura 14). Las mediciones deben tener una precisión de al menos 0.2 mm y deben relacionarse con los datos de lluvia diaria.

Tiene la ventaja de no ser afectado por la humedad, densidad o presión atmosférica.

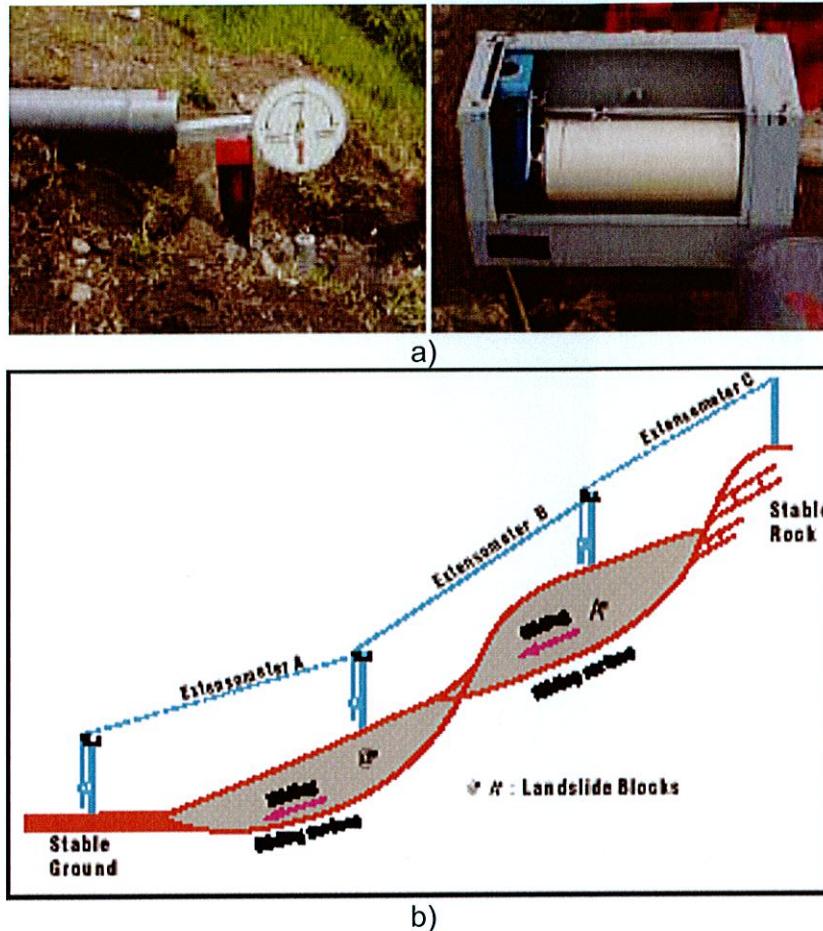


Figura 14: En la figura a) se muestra el equipo y en b) se muestra la disposición de extensómetros.

5.2. DRENAJE SUPERFICIAL

Su fin es recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, evitándose la infiltración y la erosión.

El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del deslizamiento.

Las aguas de escorrentía se evacuan por medio de zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud. Estas deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de la misma, de manera que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no. Ver Figura 15, 16 y 17.

Se utilizan **zanjas horizontales o canaleta de drenaje horizontal**: Son paralelas al talud y se sitúan al pie del mismo; **canales colectores en espina de pescado**, que combinan una zanja drenante o canal en gradería, según la línea de máxima pendiente, con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas críticas debe tener buena vigilancia. Estos canales deben ser impermeabilizadas adecuadamente para evitar la reinfiltración de las aguas. Ver Figura 18.

Los canales deben conducirse a entregas en gradería u otro disipador de energía que conduzca el agua recolectada hasta sitio seguro. Ver Figuras 19 y 20.

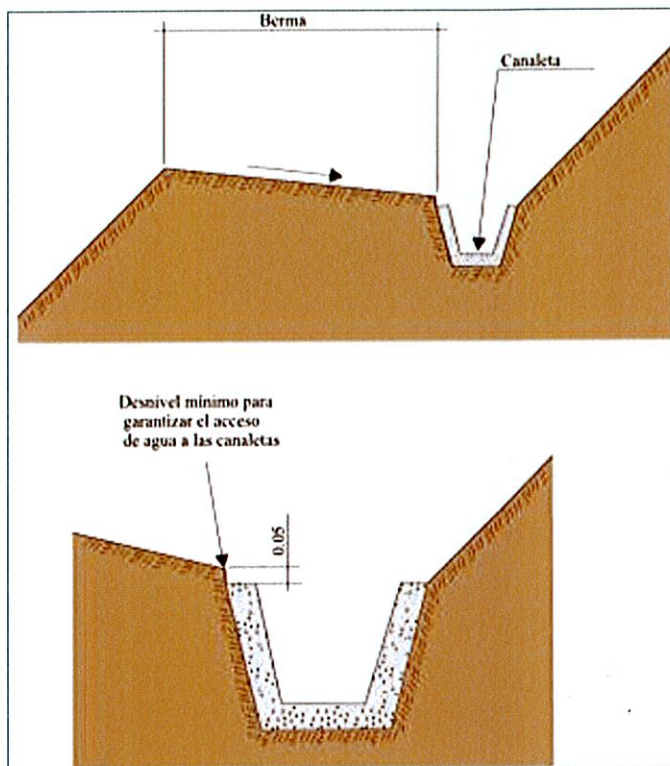


Figura 15: Detalle de una canaleta de drenaje superficial (tomado de INGEMMET, 2000).

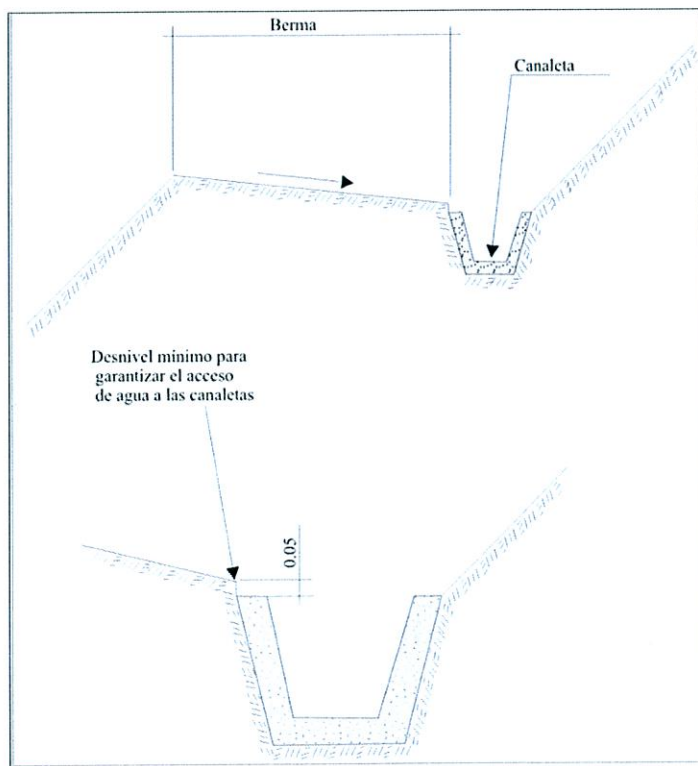


Figura 16: Detalle una canaleta de drenaje superficial (Zanjas de coronación).

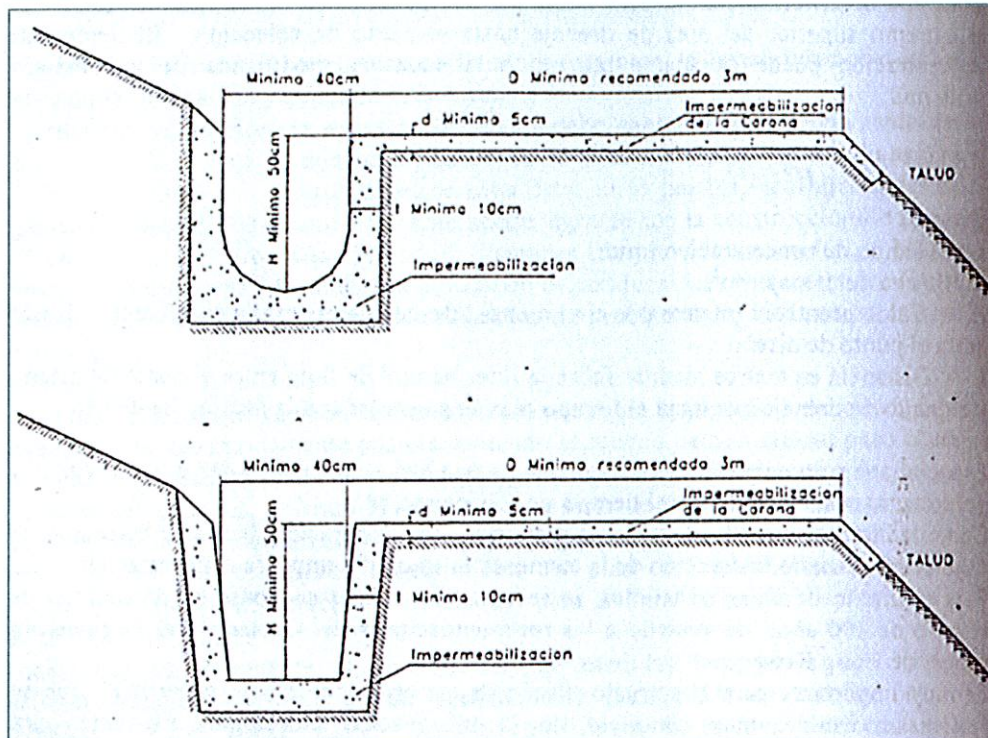


Figura 17: Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud.

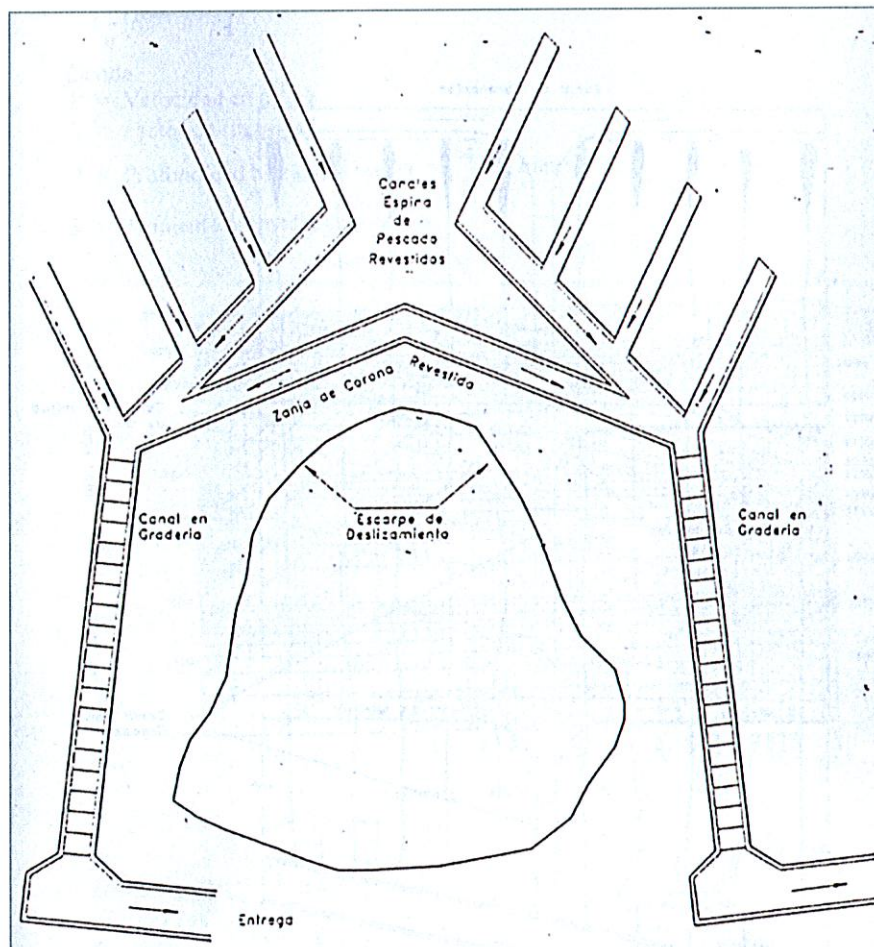


Figura 18: Esquema de planta de canales colectores espina de pescado con canales en gradería

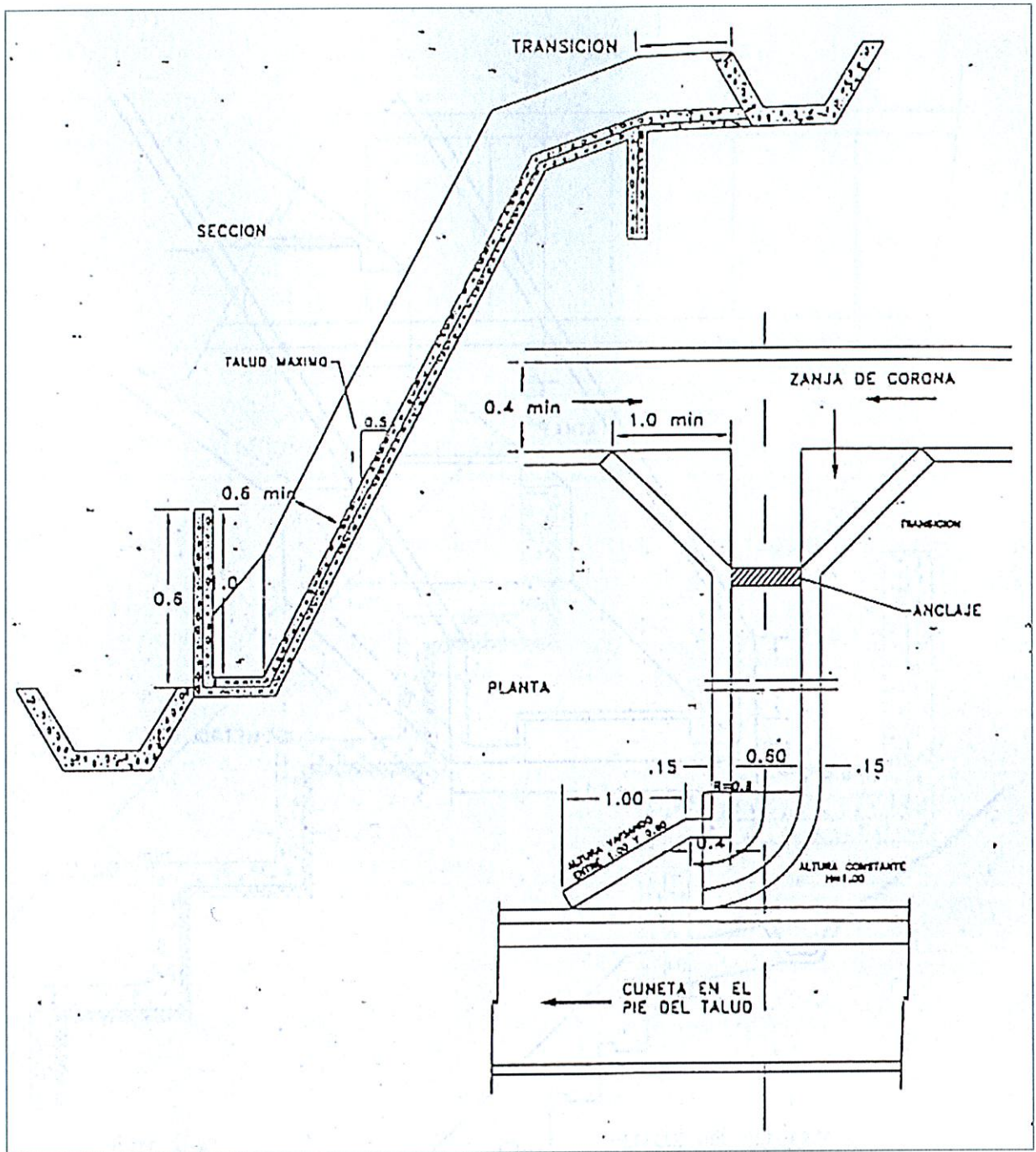


Figura 19: Detalle de un canal rápido de entrega

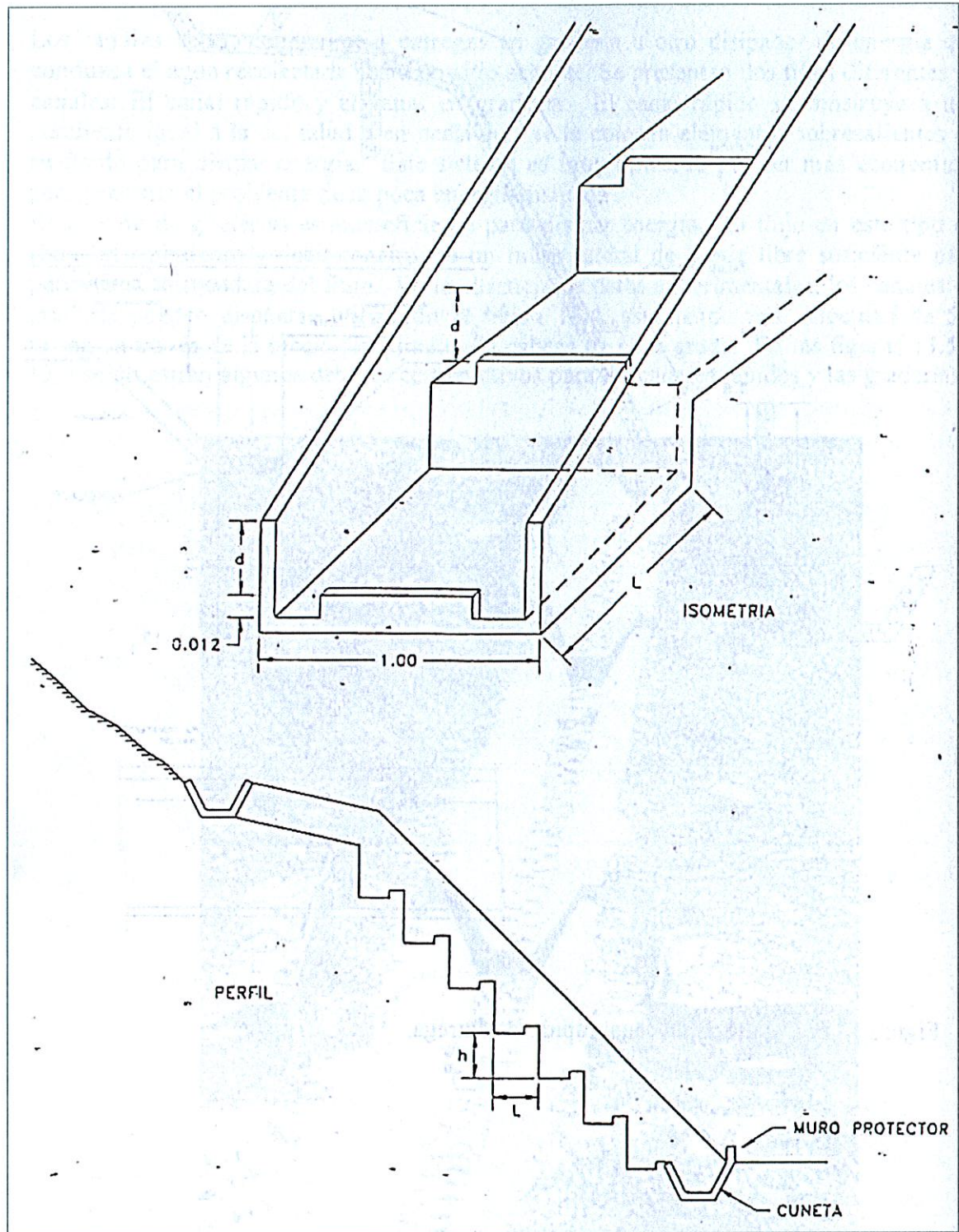


Figura 20: Canal de entrega con gradas de disipación.

5.3. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN:

Es importante trabajar también los taludes y en especial estructuras al pie del deslizamiento y a lo largo de la quebrada Warmiragra. Se recomienda que los muros de contención cuenten con subdrenes. Ver Figura 21, 22. Se recomiendan este tipo de estructuras para el pie de la ladera. En la Foto 22 se muestra un tipo de estructura de contención que se recomienda.

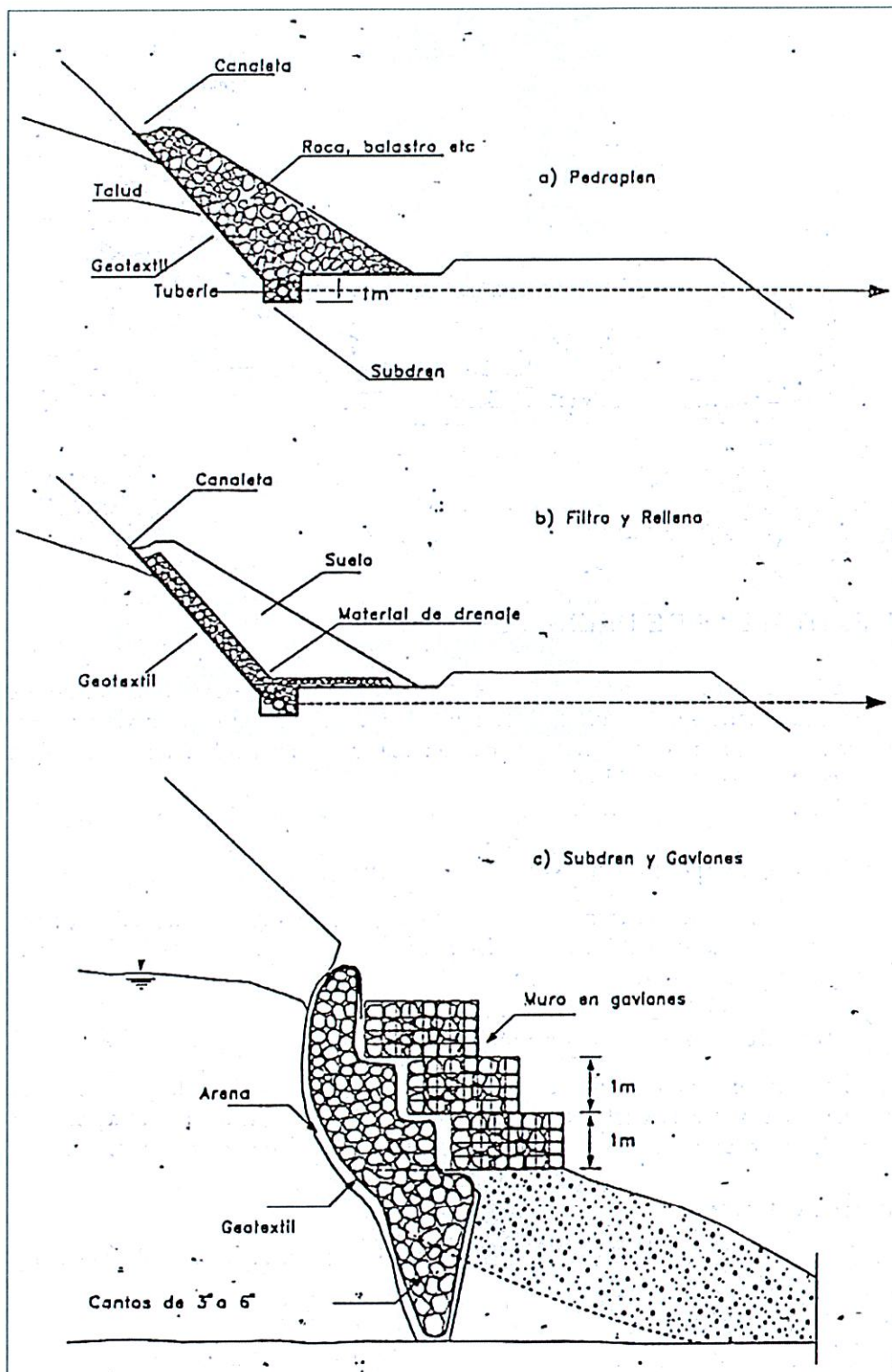


Figura 21: Ejemplos de subdrenes de pantalla

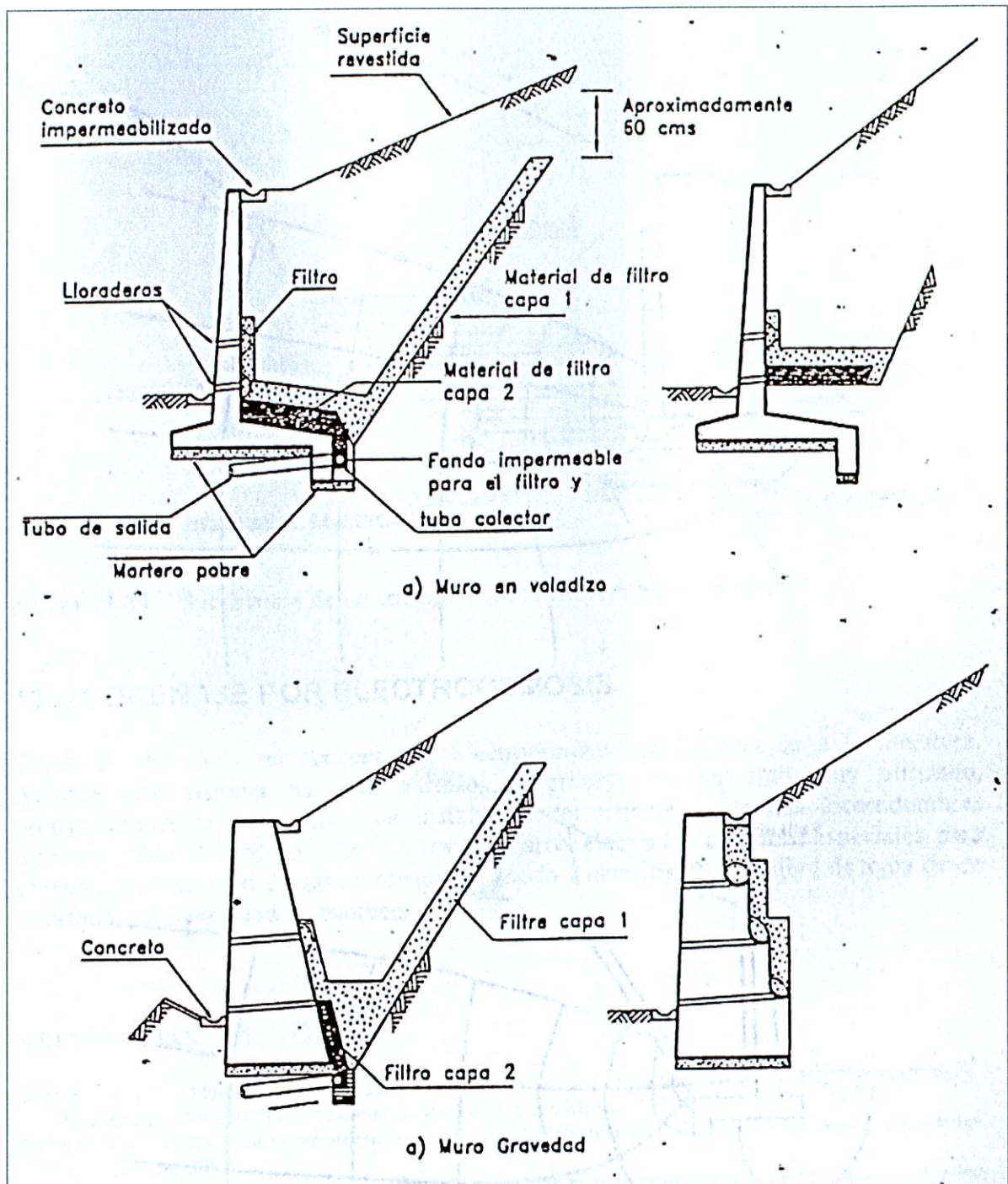


Figura 22: Ejemplos de subdrenajes con muros de contención.

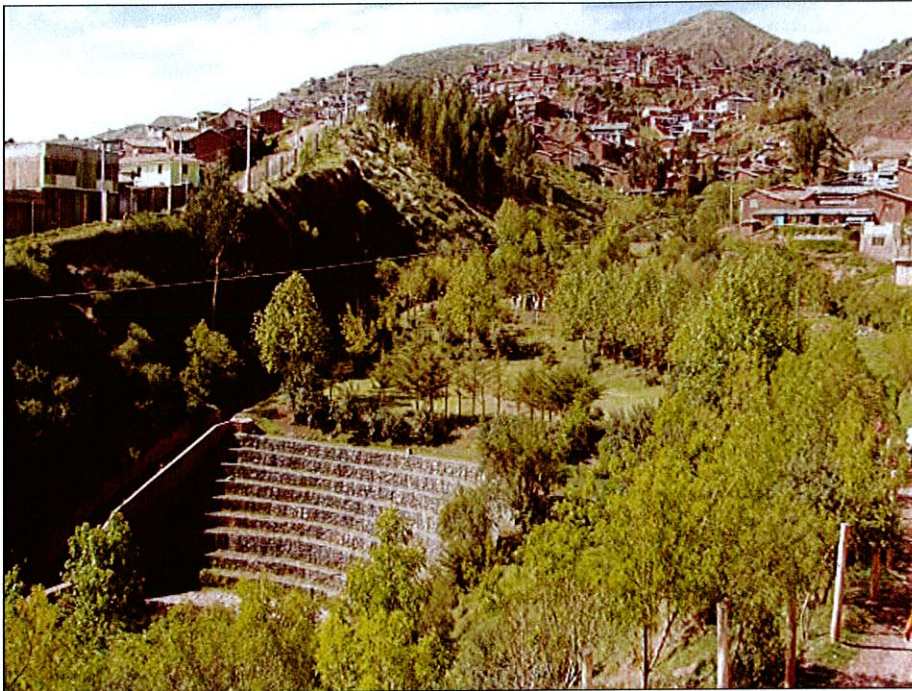


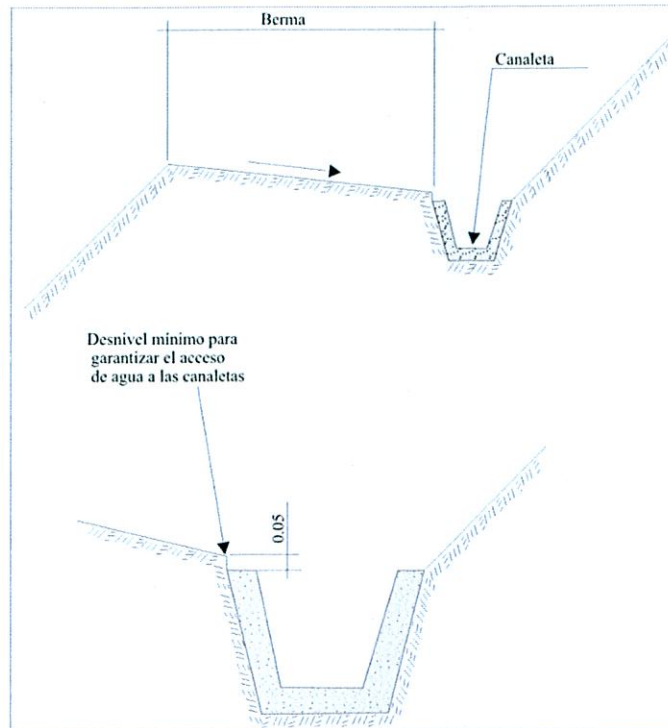
Foto 22: Combinación de muro de contención o contrafuerte en el pie de deslizamiento activo (con gaviones) y canalización de quebrada en la margen derecha (vista aguas arriba).

CONCLUSIONES

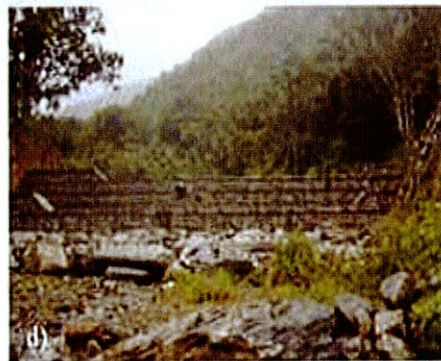
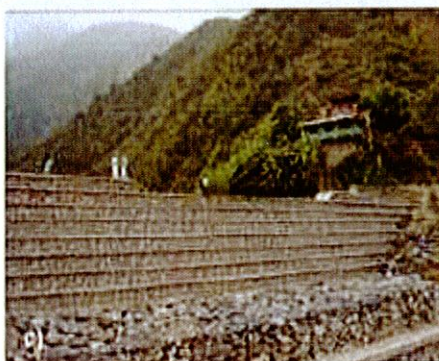
1. Los procesos de inestabilidad de laderas se ubican en el flanco NO del Cerro Tarapata, se trata de movimientos en masa activos de tipo deslizamientos rotacionales, derrumbes y huaycos. Comprometiendo seriamente la trocha carrozable Tomaykichwa – Chinchubamba.
2. La confluencia de factores climáticos (lluvias periódicas y excepcionales), morfología y pendiente de la ladera; heterogeneidad y mala calidad geomecánica de suelos y rocas; deforestación sumada a la vocación agrícola del lugar; contribuyen a la generación de deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos.
3. La remoción de los suelos por la lluvia, así como los deslizamientos y derrumbes en las laderas, pueden producir eventos que represen la quebrada; cuya ruptura posterior puede originar flujos de detritos (huaycos y aluviones) que pondrían en riesgo: campos de cultivos, vías de accesos, y viviendas ubicadas en el cono deyectivo de la quebrada Warmiragra.
4. Los resultados del modelamiento de probable flujo de detritos (huayco), muestran diversas zonas críticas a lo largo de la quebrada Warmiragra. Según el modelo, estas zonas se ubican sobre el cauce de la quebrada (por el poco ancho del cause y el estrangulamiento del mismo por cambios de la dirección de la quebrada); en la parte baja las viviendas y terrenos de cultivo que se ubican en la margen derecha y frente del cono deyectivo de la quebrada.
5. Una vez estudiado el talud, analizados los factores de inestabilidad, definido el mecanismo de falla; así como los niveles de amenaza y riesgo y, se puede concluir que la ladera NO del Cerro Tarapata constituye **peligro inminente** por deslizamientos, con la posibilidad de represar la quebrada, que al romperse este, pueden generar huaycos y/o aluviones que afectarían viviendas y terrenos de cultivos que se ubican en la desembocadura de la quebrada Warmiragra.

RECOMENDACIONES

1. Clausurar la trocha carrozable Tomaykichwa – Chinchubamba, afectada por el deslizamiento en la ladera NO del Cerro Tarapata.
2. Construir diques escalonados, para la retención de sólidos, en la quebrada Warmiragra.
3. Reforestar, con plantas nativas, la ladera NO del Cerro Tarapata.
4. Impermeabilizar y/o entubar, en un tramo de 1.5 km, el canal de irrigación que cruza el deslizamiento antiguo cerca de la corona de este.
5. Construir e implementar una red de drenaje superficial: drenes de coronación y "espina de pescado" en la ladera NO del Cerro Tarapata (área del deslizamiento antiguo y deslizamiento reactivado). Trabajos que disminuirán la saturación del suelo y de esta manera evitar que colapse la ladera.
6. Monitorear el deslizamiento reactivado y sectores del deslizamiento antiguo, para observar el comportamiento y la estabilidad de la ladera.
7. Se deberá construir diques escalonados de madera en las cabeceras de las cárcavas. Ya colmatados estos diques se procederá a repoblar con árboles y/o arbustos como medida de estabilización (Ver anexo).
8. En la quebrada Warmiragra se deberá construir presas escalonadas de retención de sedimentos, estas pueden ser presas abiertas o presas cerradas (Ver anexo). Para su construcción se deberá tomar en cuenta la forma y dimensión de la quebrada. Estas presas pueden ser presas de gaviones o ser presas de cimentación ciclópea. También se puede usar mallas de doble torsión, que viene a ser un sistema complejo de paneles en cable y red metálica de doble torsión para la contención de bloques que sean arrastrados por los flujos (Ver anexo).
9. Con las autoridades (municipales, INDECI, CENEPRED y gobierno regional) y población organizada, implementar el ORDENAMIENTO TERRITORIAL y un SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA. Este debe contemplar: a) Organizar grupos de personas del distrito de Tomaykichwa, Chinchubamba para el monitoreo artesanal (tomar nota y fotografías de la movilidad del deslizamientos, antes y durante el período de lluvia); b) establecer planes de evacuación
10. Demarcar las zonas de seguridad para el caso de huaycos utilizando para este caso la Figura 10 del Capítulo 4.3.
11. Capacitar y concientizar a los habitantes que se ubican en la desembocadura de la quebrada Warmiragra sobre los peligros a los que están expuestos.
12. Todas las recomendaciones técnicas vertidas, tienen que ser diseñadas e implementadas por personal especializado.



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



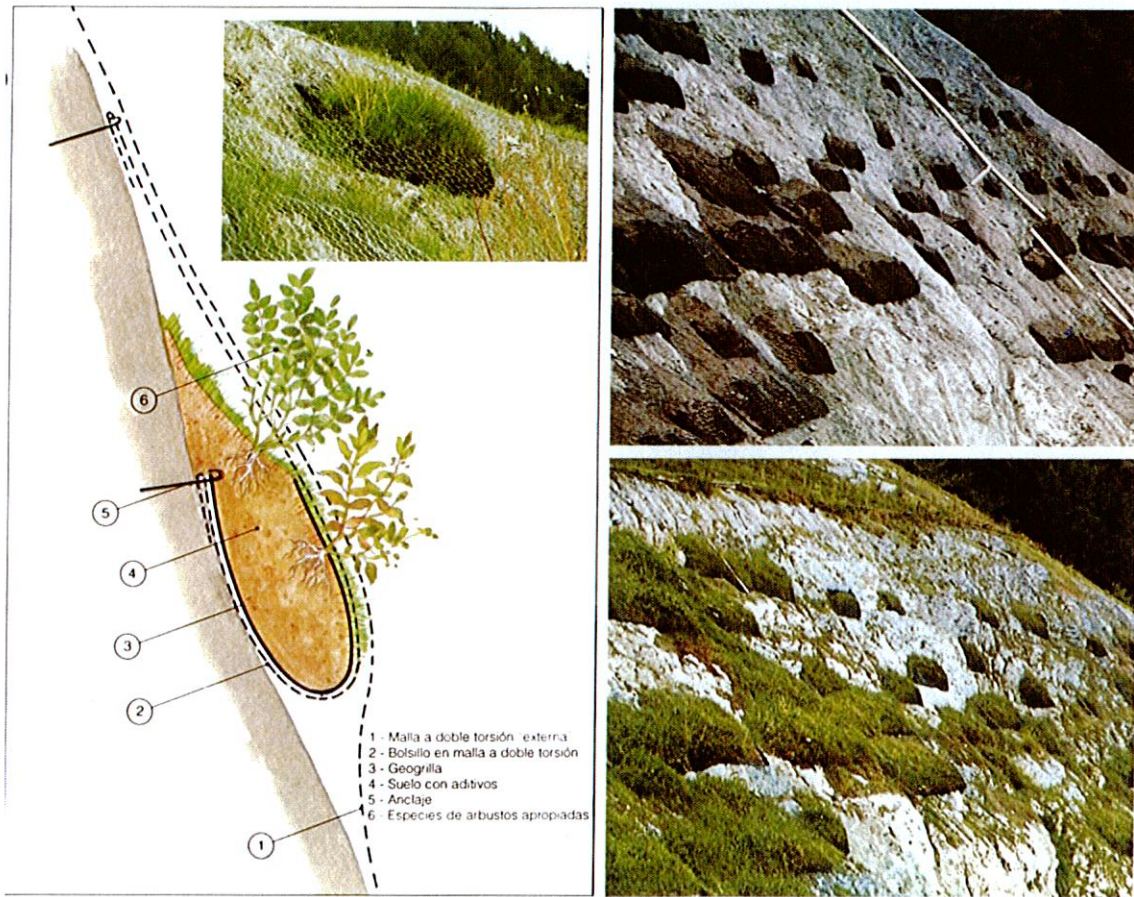
Ejemplos de presas de retención de sedimentos. Las figuras a) y b) son ejemplos de presas abiertas (ranuradas); las figuras c) y d) son ejemplos de presas cerradas.



Modelo de una presa de retención abierta ranurada



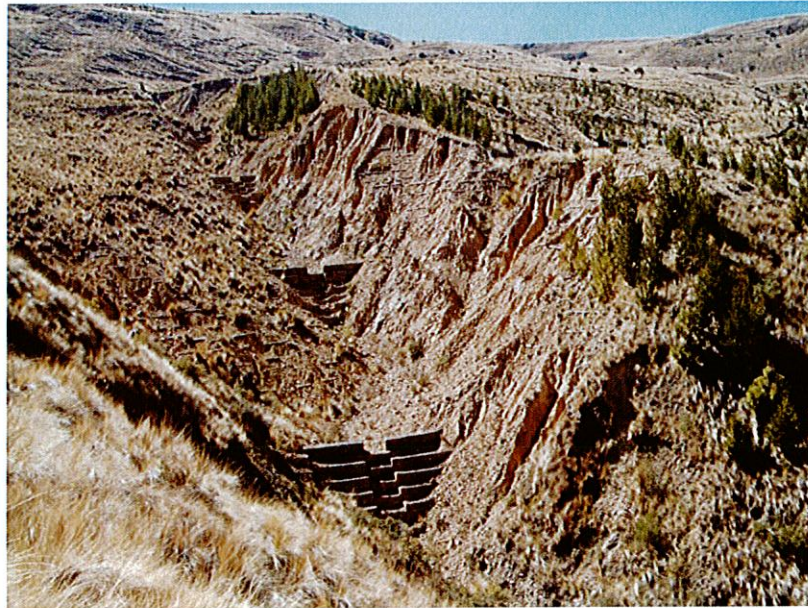
Diques de madera en las cabeceras de cárcavas. Después de ser llenado por sedimentos, se plantara arbustos para estabilizar tanto el talud



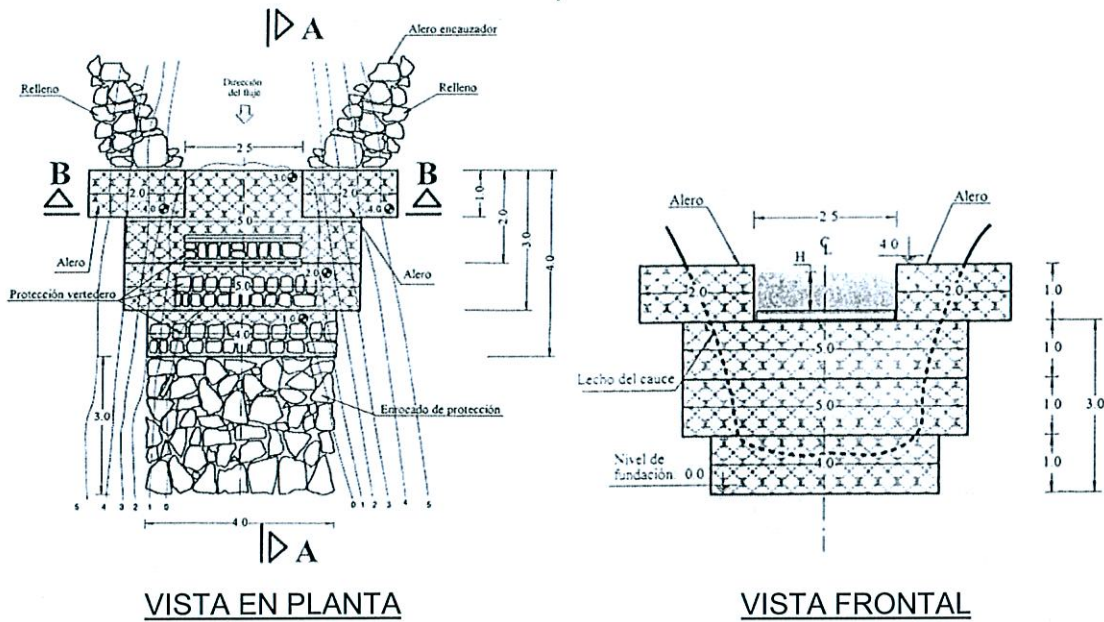
Mallas tejidas de alambre a doble torsión, con bolsillos llenados con suelo y semillas. En la figura se detalla: 1. Malla a doble torsión externa; 2. Bolsillo en malla a doble torsión; 3. Geo-grilla; 4. Suelo con aditivos; 5. Anclaje; 6. Especies de gramíneas y arbustos de la zona.



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

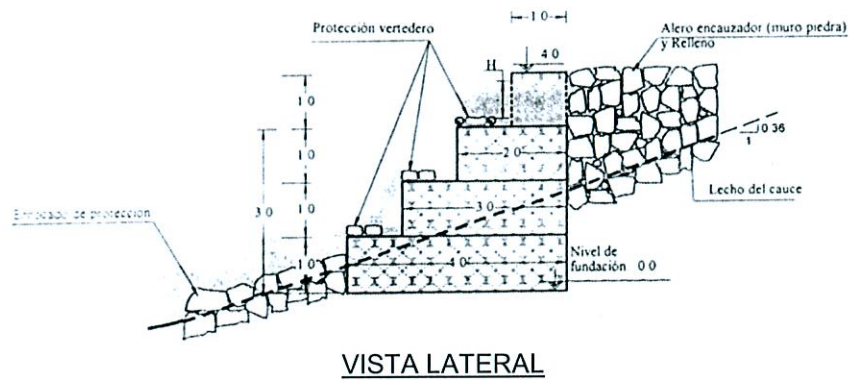


a)



VISTA EN PLANTA

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

b)

Figura a) Se observa la disposición de presas (dique de gaviones) en una cárcava activa. La figura b) se presenta un esquema de la construcción de diques de gaviones.

LISTADO DE FOTOS, FIGURAS Y MAPAS

FOTOS

- Foto 01: Laderas onduladas y superficies cóncavas y convexas típicas en rocas metamórficas alteradas.
- Foto 02: Unidad Pe-cma/mv,e del Complejo Metamórfico Marañón. En a), líneas rojas muestran los planos de diaclasas, además se observa el grado de alteración. En b) basamento rocoso se encuentra intensamente diaclasado y fracturado.
- Foto 03: Depósitos coluviales, producto de antiguos deslizamientos, estos depósitos se observan a lo largo de la quebrada Warmiragra. Las flechas rojas delimitan un antiguo deslizamiento.
- Foto 04: Depósitos coluviales, compuestos por bloques de rocas, gravas, en una matriz limo arcillosa.
- Foto 05: Las flechas rojas demarcan el deslizamiento antiguo.
- Foto 06: Las flechas de colores demarcan los deslizamientos recientes y las líneas verdes los procesos de carcavamiento.
- Foto 07: Las flechas negras demarcan el deslizamiento antiguo y las flechas rojas el deslizamiento nuevo, se observa como la carretera viene siendo afectada.
- Foto 08: Se observa la destrucción de 90 m de la carretera, también se puede ver el desplazamiento de 24 m, siendo ya parte de la masa deslizada.
- Foto 09: Se observa el escarpe de 1m en el primer desarrollo de la trocha Tomaykichwa – Chinchubamba.
- Foto 10: Se observan las grietas en la carretera con aperturas hasta 0.4 m y la flecha roja muestra la dirección del movimiento del terreno.
- Foto 11: Las flechas rojas demarcan el deslizamiento ocurrido en el segundo desarrollo.
- Foto 12: Se observa el desnivel de 1.3m en el segundo desarrollo de la trocha Tomaykichwa – Chinchubamba.
- Foto 13: Se observan en flechas rojas los agrietamientos en el segundo desarrollo de la trocha carrozable Tomaykichwa – Chinchubamba.
- Foto 14: Flanco izquierdo de la corona del deslizamiento, se observa un escarpe de falla de 2.5 m en este sector.
- Foto 15: Deslizamiento producido por el corte de talud para la ampliación de la trocha carrozable.
- Foto 16: Grieta de aproximadamente 150 m de longitud, discurre paralela a la trocha. La flecha roja indica la dirección del movimiento del terreno.
- Foto 17: La flecha roja muestra el trazo normal de la carretera Tomaykichwa-Chinchubamba; la flecha negra muestra la plataforma deslizada 24 m. La flecha punteada muestra la dirección de movimiento del deslizamiento.
- Foto 18: Las flechas rojas demarcan el deslizamiento de Chinchubamba, se observa como viene afectando el trazo de la carretera.
- Foto 19: Se observa como la grieta (N10°) viene cortando casi perpendicular la trocha Tomaykichwa-Chinchubamba.
- Foto 20: Se puede observar el tipo de obstrucción la quebrada Warmiragra, represando la misma. Estas se producen debido a las últimas reactivaciones del antiguo deslizamiento.
- Foto 21: Se observa el material deslizado, compuesto de bloques de rocas, cantos y gravas envueltos en una matriz limosa, que viene bloqueando la quebrada Warmiragra.
- Foto 22: 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).

FIGURAS

- Figura 01: Se observan los flujos antiguos que se encuentran en la base del deslizamiento del cerro Tarapata, en la actualidad no afectan a la quebrada Warmiragra.
- Figura 02: Se pueden observar los flujos de detritos antiguos que descendieron por la quebrada Warmiragra, afectando en parte al río Huallaga.
- Figura 03: Intensa actividad geodinámica en la quebrada Warmiragra, con la presencia de antiguos deslizamientos, cárcavas (erosión de laderas) y huaycos.
- Figura 04: a) Topografía de la quebrada Warmiragra sin grilla; b) Grillas definidas de 10 x 10 m para la simulación del flujo.
- Figura 05: Los cuadros rojos demarcan las zonas donde se ubicaron las estructuras de salida (*outflow*) y el círculo de color verde muestra donde se ubica la celda del hidrograma de entrada (*inflow*).
- Figura 06: Ventana del FLO 2D, que muestra la evolución de la simulación del flujo en la quebrada Warmiragra.
- Figura 07: Mapa de elevación máxima del flujo.
- Figura 08: Mapa de velocidad de flujo: a) en polígonos, b) en vectores.
- Figura 09: Mapa de peligros por flujo.
- Figura 10. Zonificación de peligros por flujo de detritos.
- Figura 11: Modelo que muestra el proceso de monitoreo en campo, teniendo un punto fijo y el punto móvil en la zona de deslizamiento.
- Figura 12: Sistema GPS Modo Diferencial
- Figura 13: Prueba de infiltración sobre el terreno.
- Figura 14: En la figura a) se muestra el equipo y en b) se muestra la disposición de extensómetros.
- Figura 15: Detalle de una canaleta de drenaje superficial (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 16: Detalle una canaleta de drenaje superficial (Zanjas de coronación).
- Figura 17: Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud.
- Figura 18: Esquema de planta de canales colectores espina de pescado con canales en gradería
- Figura 19: Detalle de un canal rápido de entrega
- Figura 20: Canal de entrega con gradas de disipación.
- Figura 21: Ejemplos de subdrenes de pantalla
- Figura 22: Ejemplos de subdrenajes con muros de contención.

MAPAS

- Mapa 01: Ubicación.
- Mapa 02: Pendientes.
- Mapa 03: Geología.