

Informe Técnico N° A6796

PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE HUARCAS

Región Ayacucho
Provincia Vilcas Huamán
Distrito Acomarca
Paraje Huarcas



POR:

SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ
JULIO LARA CALDERÓN

FEBRERO
2018

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CONTENIDO

RESUMEN	2
1. ANTECEDENTES:	2
2. UBICACIÓN.	2
3. CARACTERÍSTICAS GENERALES	4
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA QUEBRADA HUAYRAMAHUAYCO.	4
4. MOVIMIENTOS EN MASA	6
4.1 MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS	6
4.2 MOVIMIENTOS EN MASA RECIENTES.	9
4.3 FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) DE LA QUEBRADA HUAYRAMAHUAYCO	10
4.4 ZONAS AFECTADAS Y RECOMENDACIONES GENERALES	14
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	18
ANEXOS	19
ANEXO 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS	19
ANEXO 2: MEDIDAS CORRECTIVAS	24
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

INFORME TÉCNICO

PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR HUARCAS

(Distrito Acobamba, Provincia Vilcas Huaman – Región Ayacucho)

RESUMEN

La zona donde se encuentra asentado el centro poblado Huarcas, se considera geodinámicamente activa, por presentar movimientos en masa antiguos y recientes, como megadeslizamientos que llegaron a obturar a la quebrada Huayramahuayco, que ocasionó cambios bruscos en el relieve y pendiente del terreno.

Geológicamente está asentado sobre un substrato rocoso conformado por limo-arcillitas con intercalaciones de areniscas del Grupo Mitu, rocas de mala calidad. Geomorfológicamente se encuentra sobre una montaña sedimentaria, en sus laderas se encuentran depósitos de movimientos en masa.

En el periodo lluvioso 2016, en la cabecera de quebrada Huarcas, se activaron movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes), desencadenando un flujo de detritos (huaico), que se canalizó por la quebrada y llegó a desembocar al río Pampas. Este evento afectó puentes peatonales y viviendas ubicadas de Huarcas.

Es necesario reubicar las viviendas que se encuentran en el borde la quebrada, y las que se encuentran en el sector Pampa, donde se explayó el huaico.

1. ANTECEDENTES:

Mediante Oficio N°212-2016-GRA/SIREDECI-ST, el Secretario Técnico del Gobierno Regional Ayacucho, se dirigió al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Ingemmet y solicitando el apoyo técnico, para que se elabore un informe técnico científico del Cerro Huayrana (Huarcas).

Atendiendo esta petición, el Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, comisionó a los profesionales Segundo Núñez Juárez y Julio Lara Calderón, para realizar trabajos de campo en la zona en mención. Durante los trabajos de campo, se coordinó con el alcalde de Acomarca; en la inspección estuvieron presentes autoridades y algunos pobladores del lugar.

2. UBICACIÓN.

El centro poblado Huarcas, políticamente pertenece al distrito Accomarca, provincia Vilcas Huamán, departamento Ayacucho. Se ubica entre las siguientes coordenadas (WGS 84). 624582 E, 8471512 N a una altitud de 3300 m.s.n.m.

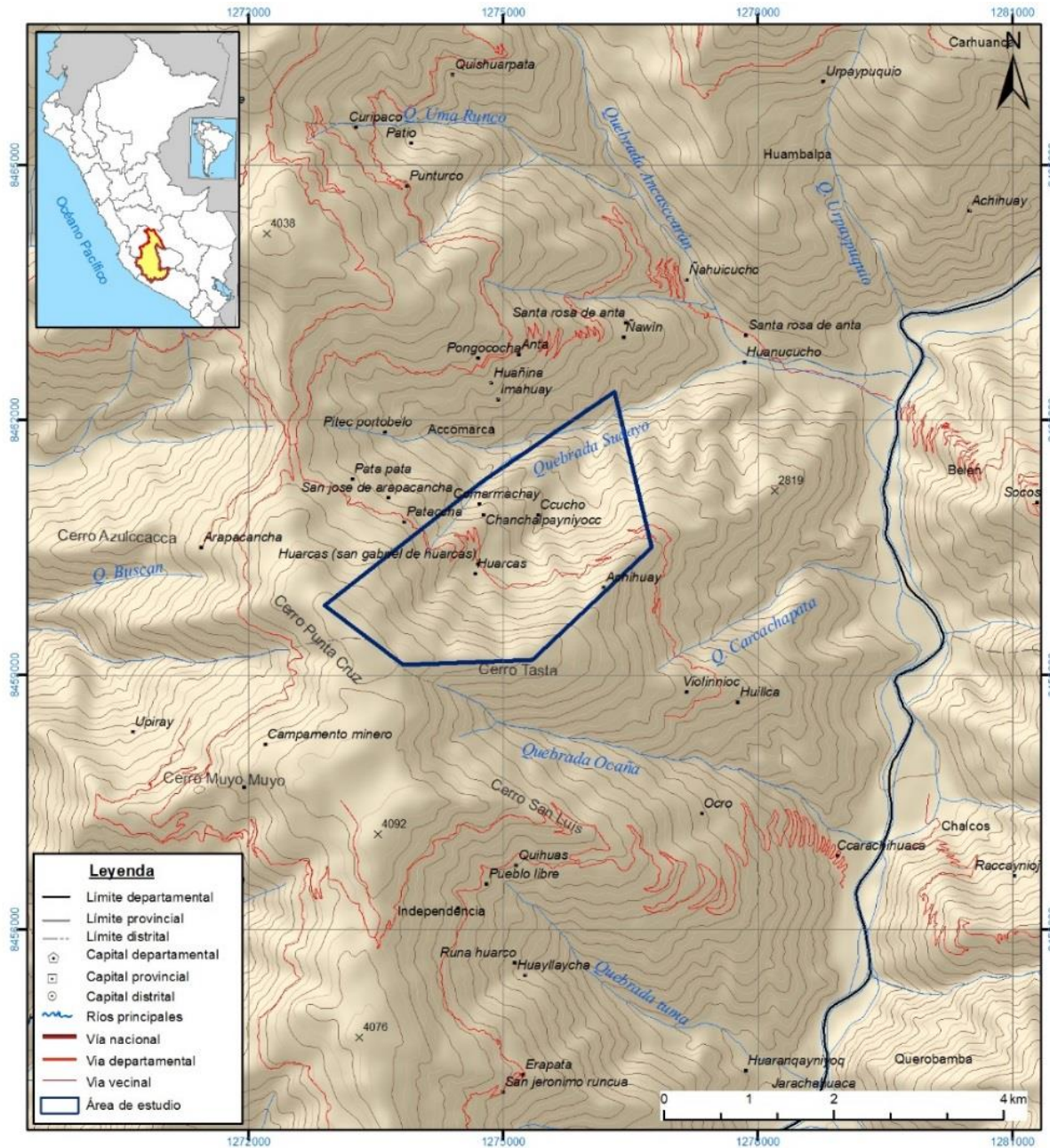


Figura 1. Mapa de ubicación

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES

En el área evaluada afloran limolitas y areniscas del Grupo Mitu (LAGESA-1996), las cuales se caracterizan por estar medianamente a altamente meteorizadas y medianamente a altamente fracturadas, por ello que en los depósitos generados por los movimientos en masa encontramos bloques de roca (hasta de 1 m), originando un suelo con gravas en matriz limo-arcilloso.

Vilchez y Ochoa (2016), en su estudio de riesgo geológico en la región Ayacucho, menciona que geomorfológicamente, el área se encuentra sobre montañas sedimentarias conformadas por areniscas con limolitas; además, diferencian los depósitos de movimientos en masa ubicados en las laderas.

En forma local se presentan superficies más suaves o planicies, donde se encuentra asentada la población; esta geofoma es parte de los depósitos de deslizamientos antiguos proveniente de ambas laderas de la quebrada.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA QUEBRADA HUAYRAMAHUAYCO.

La quebrada Huayramahuayco, desde sus nacientes hasta su desembocadura en el río Pampas, tiene una longitud de 3750 m¹.

El relieve por donde discurre la quebrada Huayramahuayco, fue modificado por los depósitos de movimientos en masa, que llegaron a cubrirlo, generando partes estrechas y extendidas. Se distinguen hasta cinco tramos con diferentes tipos de pendiente, se detallan en el cuadro 1 y en la figura 2.

Cuadro 1: Pendientes

Valor de la pendiente	Observaciones
Mayor a 15°	Comprende las nacientes de la quebrada hasta inmediaciones del poblado de Huarcas.
Zona menor a 5°	Se encuentra asentado el poblado de Huarcas
Entre 5° y 15°	Zona encañonada, por erosión del antiguo depósito de deslizamiento.
Menor a 5°	Comprende la zona denominada como Pampa
Pendiente hasta de 15°	Desde Pampa hasta su desembocadura al río Pampas.

¹ Dato obtenido del Google Earth.

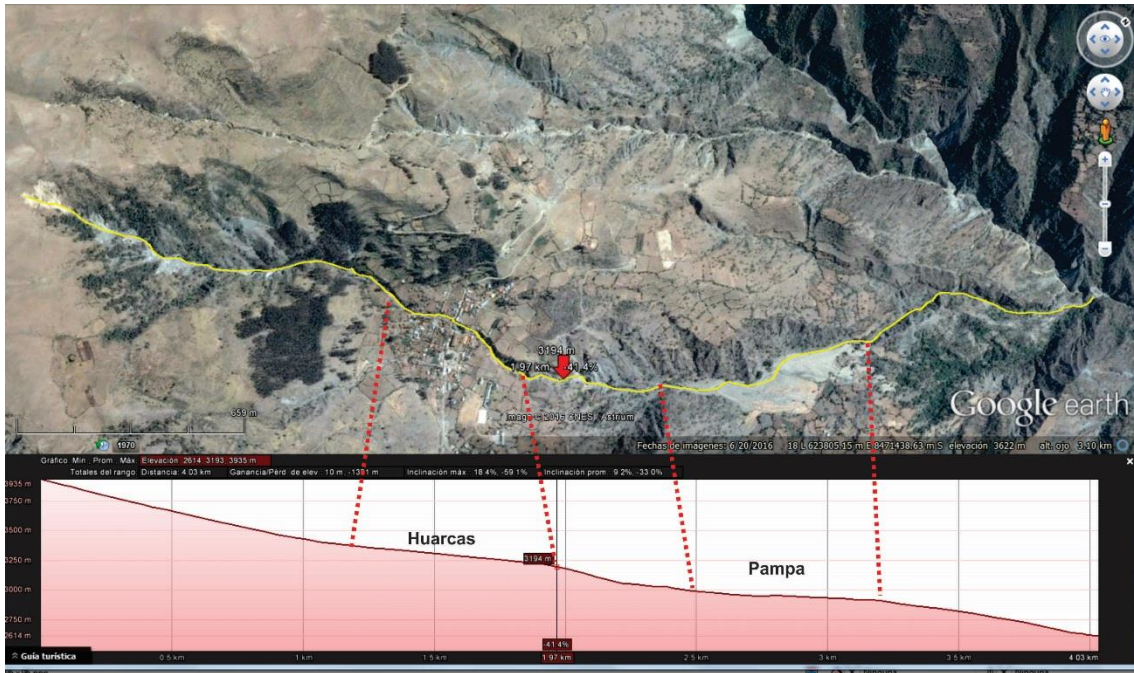


Figura 2. Perfil de la quebrada donde se muestra la variación de cambios de pendiente.

Las laderas adyacentes presentan pendientes tienen valores entre 20° a 30° , varían según la litología, donde se tienen limoarcillitas es más suave, mientras que en las zonas con areniscas son de hasta 30° (fotos 1 y 2).



Foto 1. Parte de la quebrada Huarcas, donde las laderas presentan una pendiente de 20° .

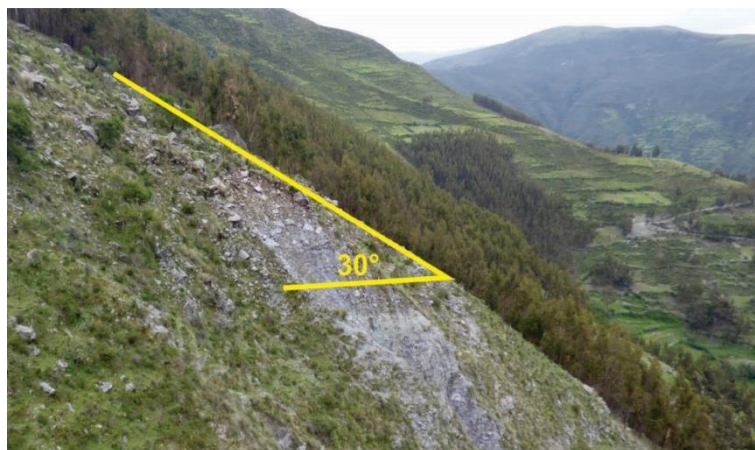


Foto 2. Laderas con substrato de areniscas donde presentan una pendiente de hasta 30° .

4. MOVIMIENTOS EN MASA

Según el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa para la región Ayacucho (Vilchez y Ochoa, 2016), Huarcas se encuentra ubicado en una zona de muy alta a alta susceptibilidad.

Por lo observado en el área, su relieve ha sido modelado por movimientos en masa antiguos y recientes, lo hace considerar geodinámicamente muy activa.

4.1 MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS

Los deslizamientos antiguos ocurridos en el pasado geológico reciente, han generado depósitos que cerraron el cauce de la quebrada Huayramahuayco; sobre uno de estos está asentado el poblado de Huarcas (foto 3 y figura 3).



Foto 3. Sector Huarcas. Se distingue una zona plana, ligeramente convexa de un depósito de movimiento en masa antiguo que típica un deslizamiento.

Estos eventos son mega-deslizamientos de tipo rotacional; con escarpas de longitudes comprendidas entre 1000m y 600m, de formas semicirculares y elongadas. Algunos de los deslizamientos presentan escarpe único. Los saltos de las escarpas principales están erosionados por procesos de cárcavas.

Los depósitos de estos megadeslizamientos cerraron en cauce de la quebrada, se formó una planicie (foto 1, figura 4), que posteriormente fue erosionada. En algunos casos, estas últimas están siendo cubiertas por depósitos de flujos recientes.

Otra de las características de estos deslizamientos antiguos, es que forman lomeríos producto del empuje de la masa deslizada (foto 5).

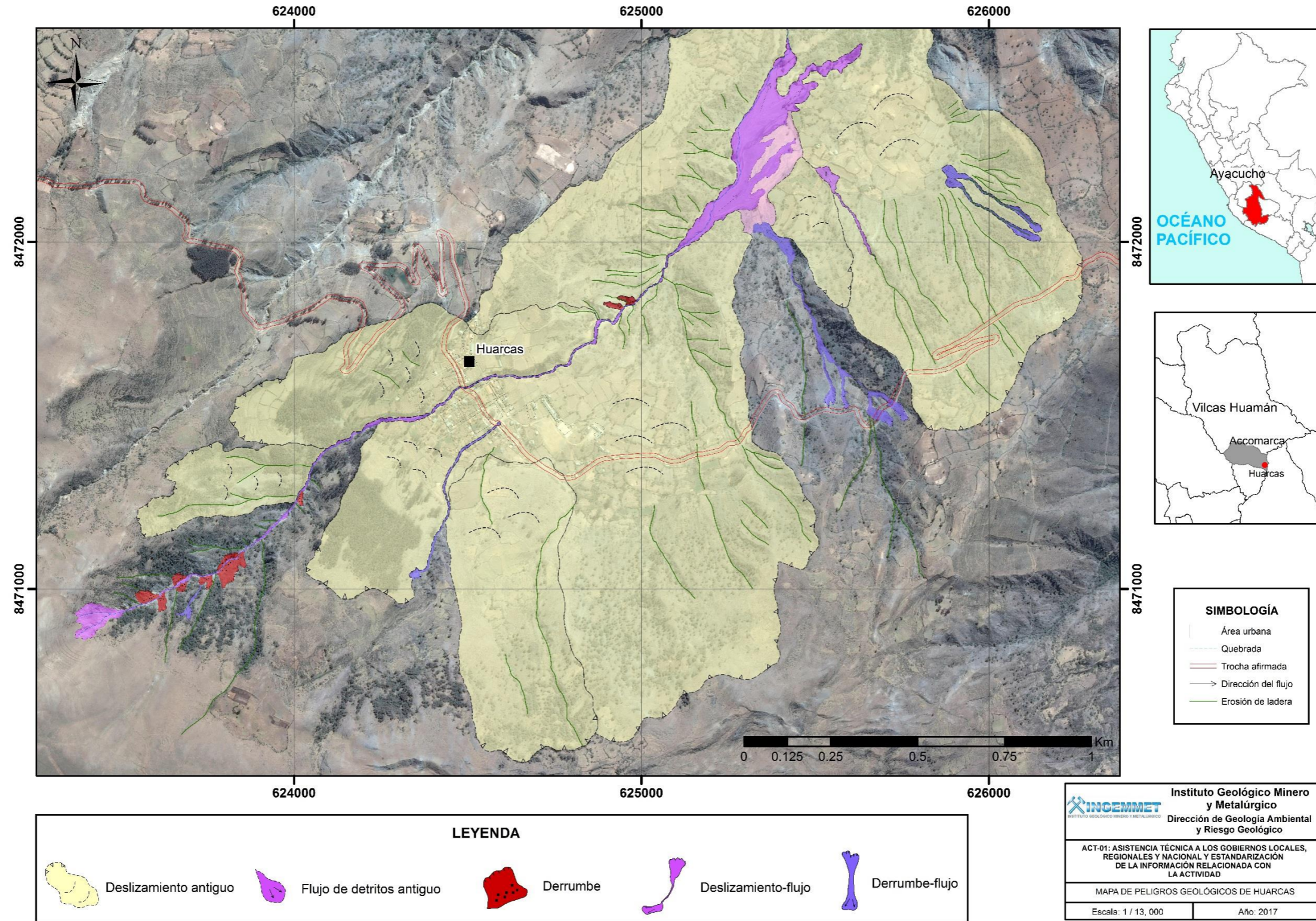


Figura 4

Se aprecia además cicatrices de antiguos deslizamientos, que de una manera u otra han modelado el relieve en Huarcas.



Foto 4. Megadeslizamiento antiguo (Escarpa en líneas rojas), que represo a la quebrada Huayramahuayco.

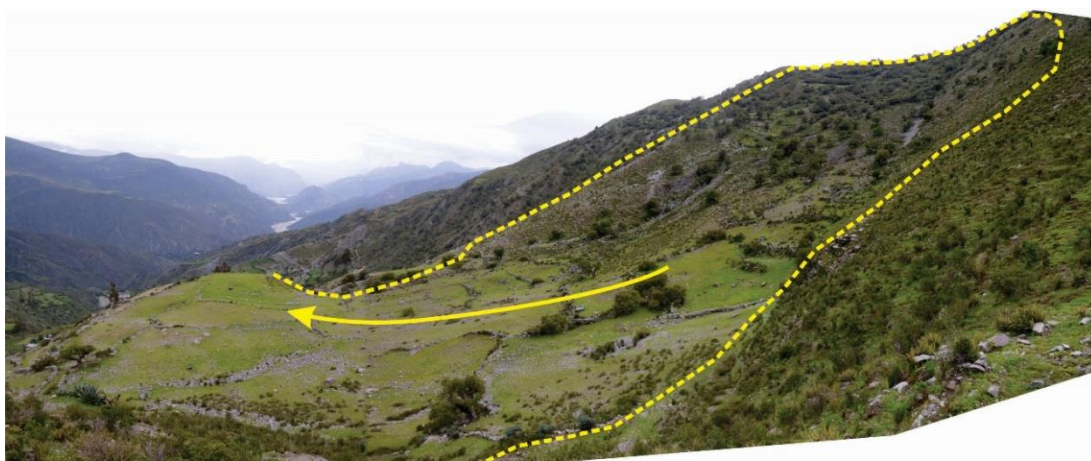


Foto 5. Escarpa y depósito adyacente en forma de lomerío originado por la masa deslizada basculada de manera rotacional.



Figura 5. Se aprecia la cicatriz de un deslizamiento antiguo (Línea amarilla).

4.2 MOVIMIENTOS EN MASA RECIENTES.

En la temporada de lluvias del 2016, a lo largo del cauce de las márgenes de la quebrada Huayramahuayco, se generaron deslizamientos, derrumbes y procesos de erosiones de ladera, eventos que contribuyeron con material suelto al cauce de la quebrada.

- a) Deslizamiento rotacional. Se presentó en la cabecera de la margen izquierda de la quebrada Huayramahuayco, posee un escarpe de 70 m, con salto variable entre 10m a 5m y es de forma semicircular (fotos 6 y 7). El factor detonante del evento fueron las precipitaciones pluviales presentadas en el periodo lluvioso del 2016.

Causas:

- Rocas conformadas por limoarcillitas con areniscas moderadamente meteorizadas, y moderadamente fracturadas, de mala calidad.
- La intercalación de limoarcillitas y areniscas, permite que el agua se infiltre en las areniscas y se retenga en las limoarcillitas, saturando al terreno.
- Incremento del peso de la masa inestable, por la saturación del terreno.
- El buzamiento de los estratos rocosos a favor de la pendiente (N25°E), permite que la masa inestable se genere a favor de la pendiente.
- Pendiente del terreno, mayor del 20°, permite que la zona inestable se deslice pendiente abajo.



Foto 6. Procesos de derrumbes y deslizamientos en las nacientes de la quebrada.



Foto 7. Zona inestable, cabecera de la quebrada, hacia la parte baja se muestra el poblado de Huarcas.

a) Derrumbes

Se reactivaron algunos derrumbes antiguos ubicados en ambas márgenes de la quebrada Huayramahuayco (foto 4; figura 4); generando zonas de arranque comprendidas entre 140m a 70m, con alturas hasta de 70m. Entre las causas tenemos:

- Rocas conformadas por limoarcillitas y areniscas moderadamente meteorizadas, y moderadamente fracturadas, de mala calidad.
- Afloramientos rocosos, con sistemas de fracturamiento a favor de la pendiente.
- El buzamiento de los estratos rocosos a favor de la pendiente (N25°E), permite que la masa inestable se genere a favor de la pendiente.
- Pendiente del terreno, mayor de 20°, permite que la zona inestable se deslice pendiente abajo.

En el cuerpo del deslizamiento antiguo se produjeron derrumbes, se caracterizaron por presentar zonas de arranque variables entre 50 a 70 m, saltos entre 30 a 50 m. Estos se encuentran cercanos al poblado de Huarcas, a una distancia mínima de 160 m.

Según los moradores en 1990, en una de las quebradas S/N, se generó un huaico, por lo observado en campo, se trata de un **derrumbe-flujo**. La zona de arranque del derrumbe, presenta una longitud de 35m y salto de 20m, en la zona de derrumbe se tienen bloques hasta de 1m de formas muy angulosas. Por la pendiente del terreno, el material discurrió cuesta abajo recorriendo unos 450 m, formando un flujo de detritos, los depósitos llegaron hasta las inmediaciones del poblado de Huarcas. En el periodo lluvioso del 2016 solamente se generó un derrumbe.

4.3 FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) DE LA QUEBRADA HUAYRAMAHUAYCO

Este flujo o huaico se inició en las nacientes de la quebrada por la ocurrencia de un deslizamiento y derrumbes, eventos que aportaron material suelto al cauce.

La presencia del agua proveniente de las lluvias, originó que el material suelto de la cabecera de la quebrada se desestabilice (foto 2 y 3) y canalice por el cauce de la quebrada, desplazándose cuesta abajo.

El material se movilizó cuesta abajo y adquirió velocidad; aumentando su poder erosivo; provocó erosión lateral en ambas márgenes, ocasionó reactivaciones de derrumbes, como también generó nuevos derrumbes (foto 3). El nuevo material generado se incorporó a la masa desplazada.

Por los cambios de pendiente que tiene la quebrada, el flujo formado adquirió diferentes velocidades. Gran parte del material se depositó en La Pampa (parte baja de Huarcas) y el resto se canalizó por el cauce de la quebrada hacia el río Pampas.

El huaico está conformado por un depósito de gravas, bloques, englobados en matriz areno-limosa.



Foto 8. Se observa la cabecera de la quebrada y parte de la margen izquierda, se aprecian procesos de derrumbes.

La comparación entre las imágenes satelitales de setiembre del 2013 y junio 2016, se puede apreciar diferencias sustanciales a lo largo de la quebrada:

Sector	Imagen setiembre 2013	Imagen junio 2016
Cabecera de la quebrada (foto 8; figura 6)	Presencia de derrumbes y deslizamientos.	Se aprecia el incremento de derrumbes en la margen izquierda. En la cabecera se amplió el deslizamiento y los derrumbes.
Parte superior-media de la quebrada	Presencia de derrumbes en ambas márgenes	Se reactivaron y se incrementaron los derrumbes.
Parte de la desembocadura de la quebrada (figura 7).	Presencia de una planicie formada por un antiguo flujo de detritos	Sobre este antiguo depósito se aprecia un nuevo flujo de detritos.

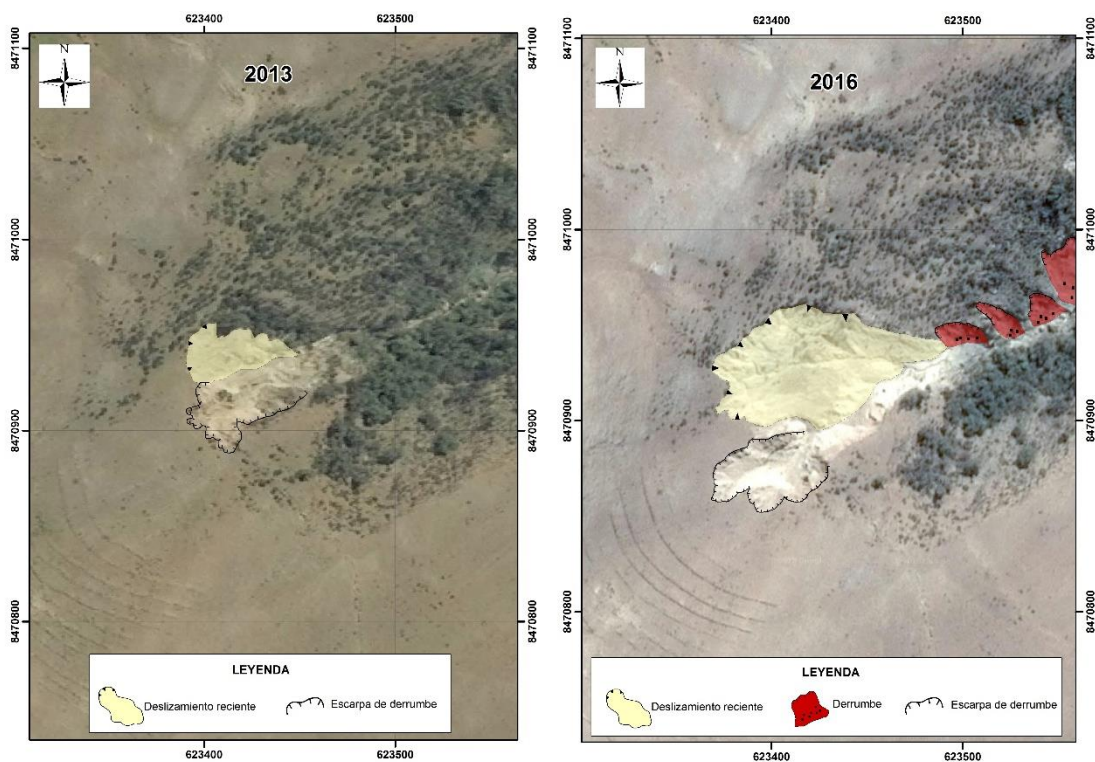


Figura 6. Naciente de la quebrada Huayramahuayco, comparación de las imágenes del 2013 y 2016. En la última se aprecia un incremento de movimientos en masa.

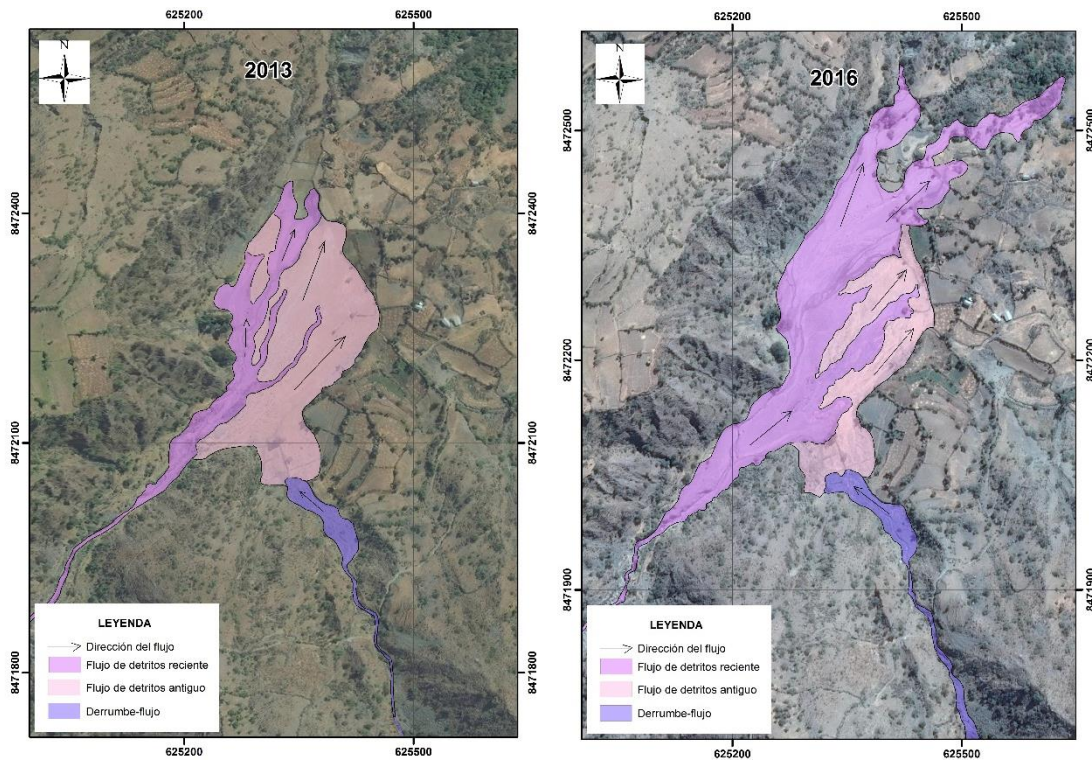


Figura 7. En ambas imágenes se aprecia las diferencias en el emplazamiento de los depósitos de flujos de detritos ocurridos.



Foto 9. Depósito generado por el flujo de detritos (2016), que discurrió por el antiguo depósito del deslizamiento.

4.4 ZONAS AFECTADAS Y RECOMENDACIONES GENERALES

El huaico generado en el periodo lluvioso del 2016 afectó:

- Seis viviendas, terrenos de cultivo, puentes peatonales y carrozables. Las viviendas afectadas se encuentran en el sector Pampa, donde se explayó el flujo.
- Las viviendas que están en el borde de la quebrada, no fueron afectadas, pero ante un evento de mayor dimensión pueden ser afectadas.
- El paso del flujo generado en el 2016, destruyó completamente dos puentes peatonales y afectó otro más (fotos 10 y 11); sobre este último destruyó las barandas de seguridad.
- En el año 1990, se reportó un evento similar que afectó al poblado de Huarcas, el huaico se canalizó por la quebrada S/N, llegando los materiales hasta la zona urbana.
- Es necesario que las viviendas ubicadas en el borde de la quebrada Huayramahuayco, en el borde de la quebrada S/N y del sector Pampa, sean reubicadas (figuras 8 y 9), porque de generarse eventos de mayores dimensiones serían afectadas.
- Como medidas generales, se recomienda realizar un programa de forestación en todo el sector.
- Realizar medidas correctivas en los cauces de las quebradas (ver anexos), según sea el caso.

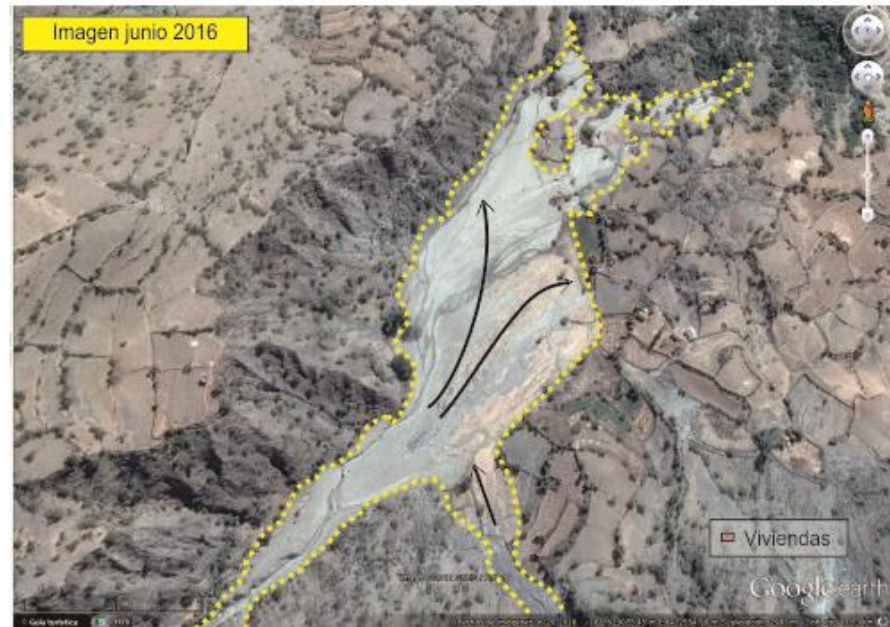


Figura 8. Se muestra las viviendas ubicadas dentro del depósito y en las inmediaciones del depósito reciente que fueron afectadas

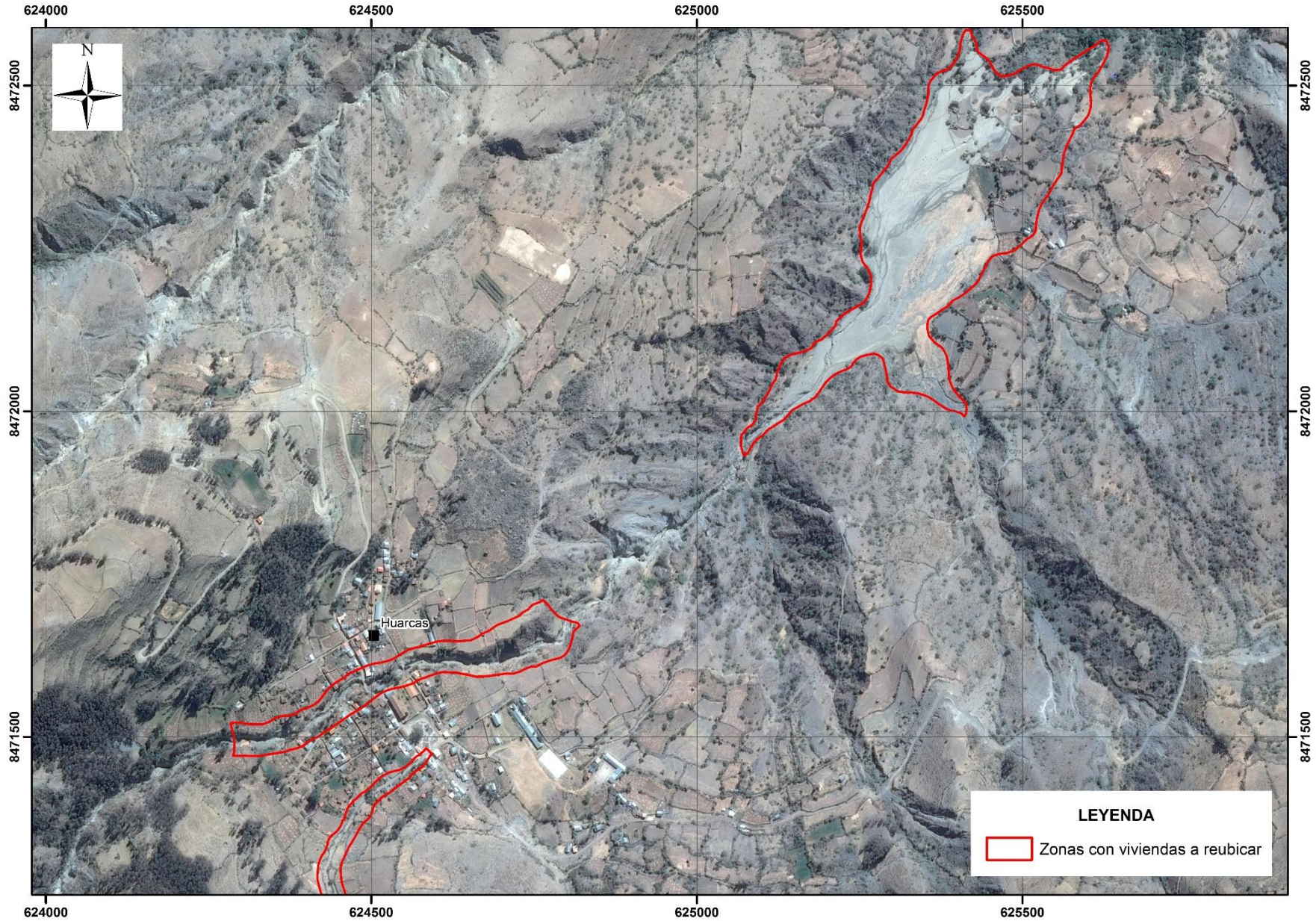


Figura 9. Se muestran las viviendas que tienen que ser reubicadas



Foto 10. Puente peatonal destruido, por la erosión lateral del paso del flujo de detritos.



Foto 11. Puente peatonal afectado, por la erosión lateral por el paso del flujo de detritos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1) El sector Huarcas es geodinámicamente activo, se identificaron movimientos en masa antiguos y recientes, que de una manera u otra modificaron su relieve.
- 2) En el año 2016, se generó procesos de movimientos en masa, se iniciaron desde la cabecera de quebrada Huayramahuayco y a lo largo de la quebrada. El principal evento fue el flujo de detritos, que afectó puentes peatonales, terrenos de cultivo, vías de acceso y viviendas.
- 3) Es necesario realizar una intensa reforestación en todo el sector de Huarcas y alrededores, en forma especial a lo largo de las quebradas.
- 4) Construir un canal de coronación en la parte alta de las nacientes de la quebrada Huayramahuayco.
- 5) Reubicar las viviendas ubicadas en el borde de la quebrada Huayramahuayco, como también las que se encuentran en la zona de influencia de la quebrada S/N (activada en el año 1990).
- 6) La quebrada en donde presenta baja pendiente baja en el cauce, colocar muros disipadores de energía, para atenuar la velocidad de los posibles flujos que se puedan generar en el futuro.

ANEXOS

ANEXO 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

a) Movimiento en masa

Fenómeno de remoción en masa, movimientos de ladera o movimientos de vertiente. Es un movimiento de una masa de roca, de detritos o de tierras ladera abajo (Cruden, 1991).

b) Flujos (*Flow*)

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Se tienen los siguientes tipos según Varnes (1978), Hungr (2005):

- **Flujo de detritos (*Debris flows*):** Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “U”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo (PMA-GCA-2007).

La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hungr, 2005). Figuras 10 y 11.

- **Flujo de lodo (*Mud flow*):** Es un flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (índice de plasticidad mayor al 5 %). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material. También se distingue de los deslizamientos por flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento por flujo ocurre por licuación in situ, sin un incremento significativo del contenido de agua (Hungr *et al.*, 2001).

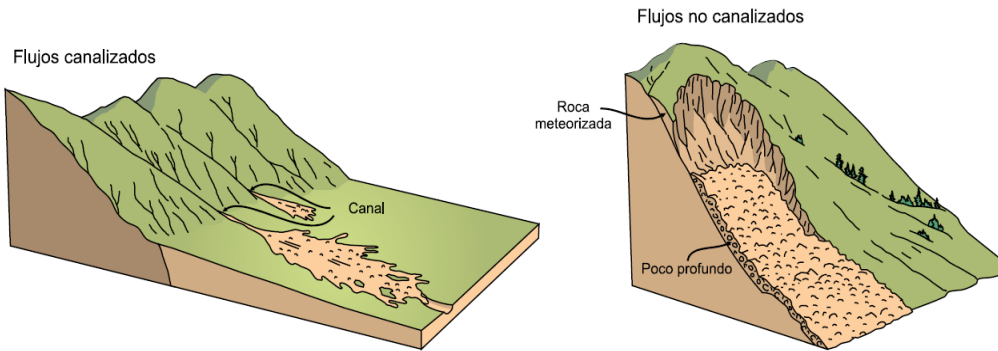


Figura 10. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden y Varnes, 1996).

En este tipo de procesos se muestra una zona de inicio que forma un embudo, una zona de transición o tránsito y una zona de deposición en abanico como se muestra en la Figura 6 (Bateman y otros, 2006).

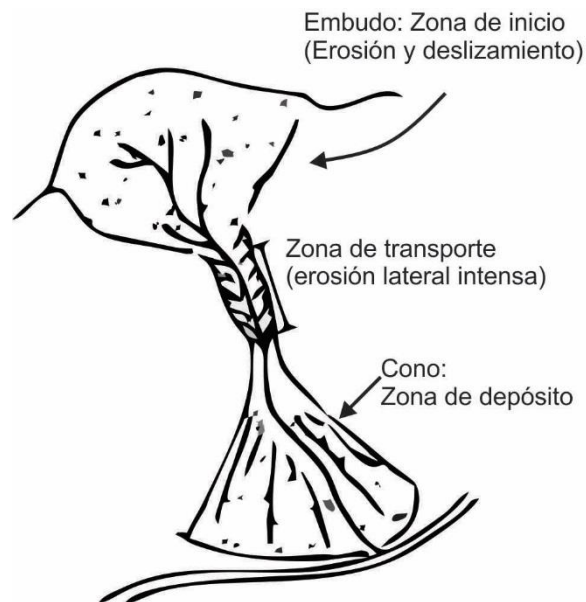


Figura 11. Esquema de generación de un flujo (Modificado de: Bateman et al, 2006)

c) Deslizamientos

Son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca, desplazándose a lo largo de una superficie. Según la clasificación de Varnes (1978), se clasifica a los deslizamientos por la forma de la superficie de deslizamiento por donde se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. En rocas competentes las tasas de movimiento son con frecuencia bajas, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas (PMA: GCA, 2007).

Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava (figuras 7 y 8). Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado, y una contra-pendiente en la superficie de la cabeza del

deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas.

Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s. (PMA: GCA, 2007).

En las figuras 12 y 13, se representa las partes principales de un deslizamiento.

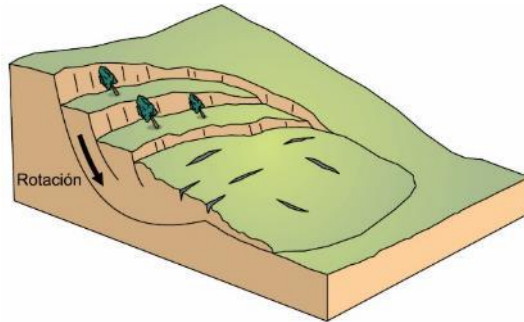


Figura 12. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, (2007).

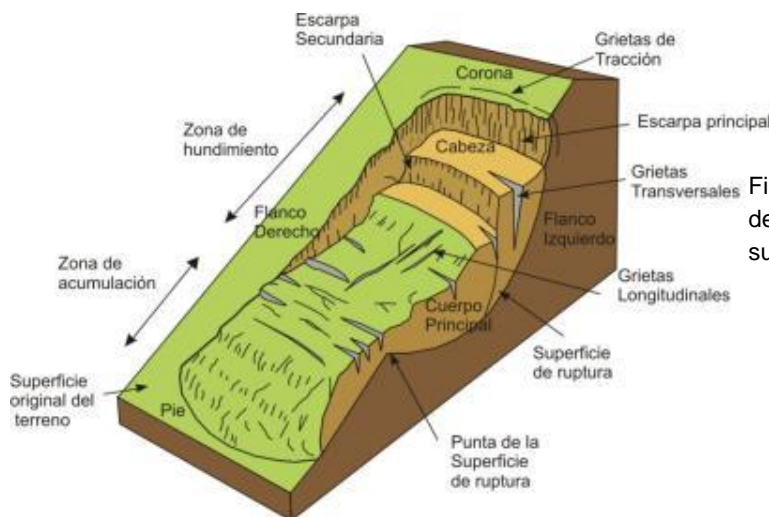


Figura 13. Esquema de un deslizamiento rotacional muestra sus partes principales.

d) CAÍDA (Fall)

La caída 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 un desplazamiento cortante apreciable (figuras 14 y 15). Una vez desprendido el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como, del material involucrado, los tipos caídas identificados fueron la caída de rocas y los derrumbes.

- Caída o desprendimiento de rocas: ocurre en laderas de montañas y colinas de moderada a fuerte pendiente, frentes rocosos escarpados, montañas estructurales asociadas a litologías de diferente naturaleza (sedimentarias, ígneas y metamórficas), sujetas a fuerte fracturamiento, así como, en taludes al efectuarse cortes en laderas para obras civiles (carreteras y canales).
- Derrumbes: son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. Se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de rocas sedimentarias, esquistos y depósitos poco consolidados.

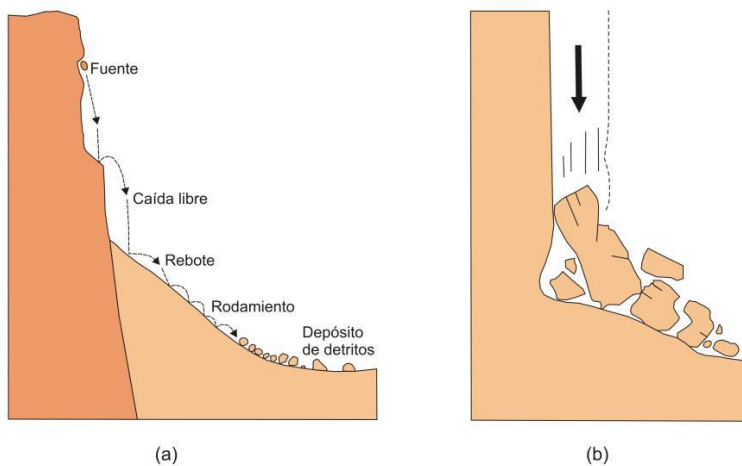


Figura. 14. (a) Esquema de la caída de rocas (b) Corominas y Yagué (1997) denominan a este movimiento como colapso.

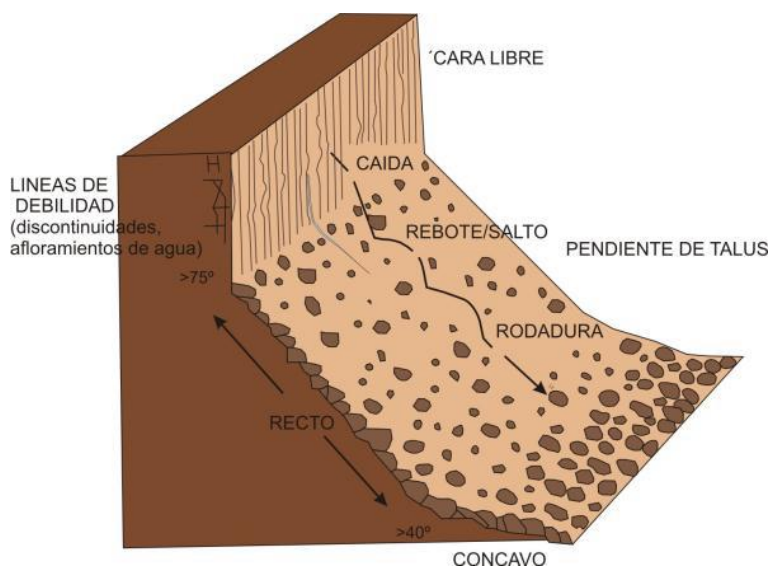


Figura 15. Esquema de un derrumbe

e) Erosión de ladera

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en los terrenos. Comienza con canales muy delgados que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros (figura 16). La erosión está relacionada al proceso de escorrentía o arroyada. Normalmente la arroyada posee una profundidad pequeña, pocas veces superior a un centímetro. A partir de allí y con ayuda de la lluvia las partículas se movilizan en el sentido de la máxima pendiente y producen una excavación que tiende a aumentar con la velocidad de la erosión.

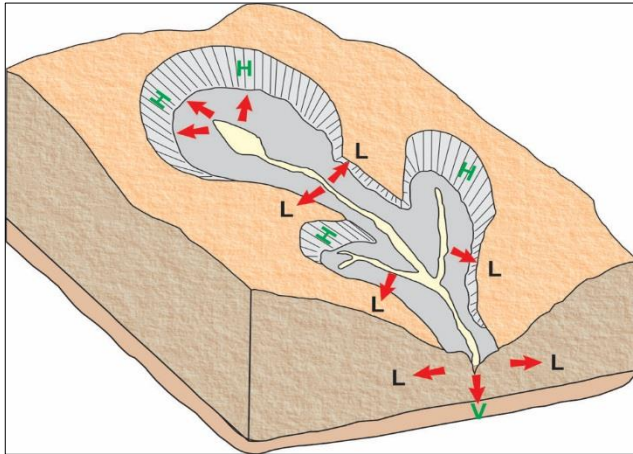


Figura 16. Forma como se manifiesta la erosión de laderas en una ladera de montaña. H: erosión de cabecera, L: erosión lateral y V: erosión vertical (Tomado de: <http://cidta.usal.es>)

f) Buzamiento

Es el ángulo de inclinación conformada por la línea de máxima pendiente de un estrato (Dávila 1999).

Angulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90° (PMA: GCA, 2007). (Fotos 12 y 13).



g) Fotos 12 y 13. Buzamiento de los estratos (líneas amarillas indican la inclinación).

ANEXO 2: MEDIDAS CORRECTIVAS

A) PARA ZONAS DE FLUJOS Y CÁRCAVAS

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de huaicos.

El control físico de zonas con procesos de carcavamiento debe de ir integrado a prácticas de conservación y manejo agrícola de las laderas adyacentes por medio de:

- Regeneración de la cobertura vegetal.
- Empleo de zanjas de infiltración y desviación entre las principales.

Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

- El desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (Figuras 17, 18, 19 y 20).
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de la región.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (Figuras 21 y 22), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pastos mediante el repoblamiento de pastos nativos, empleando sistemas de pastoreo rotativo y sostenible, y finalmente evitar la quema de pajonales.
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de las cuencas.

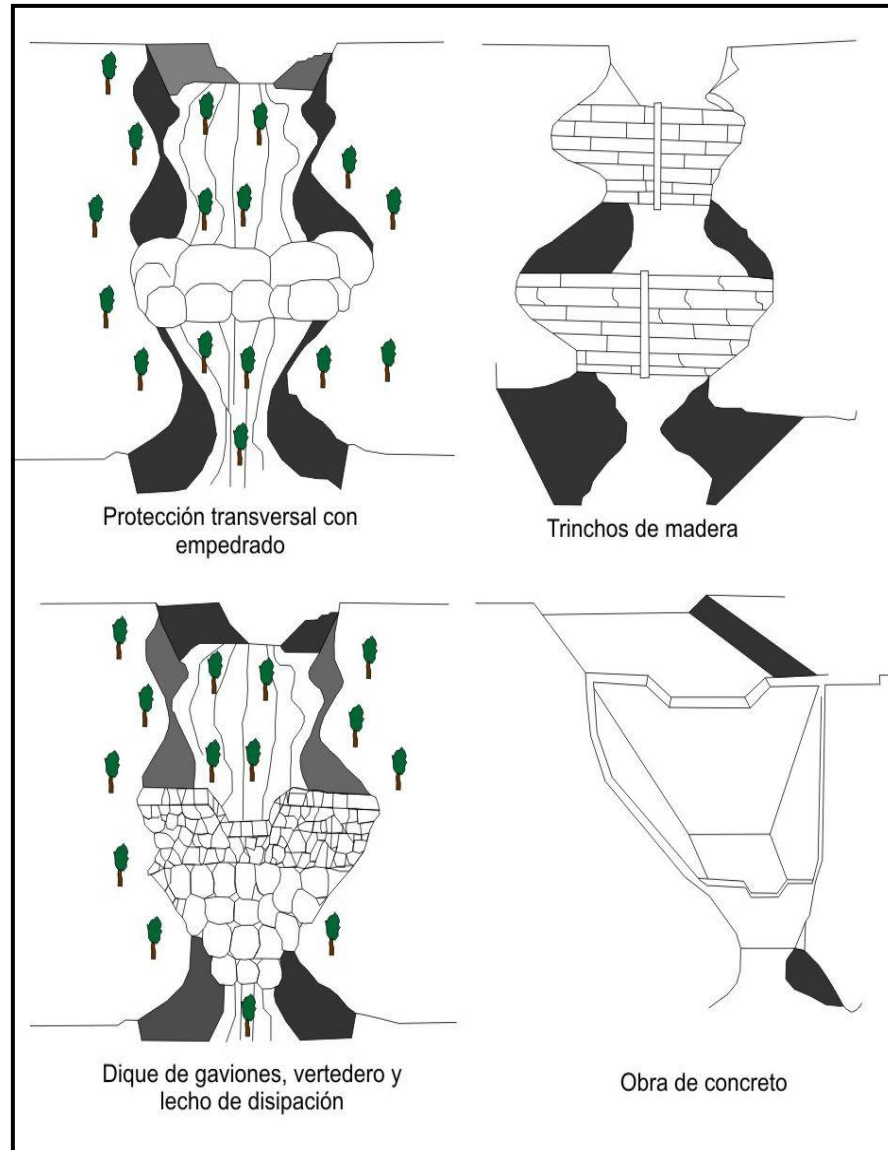


Figura 17. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas

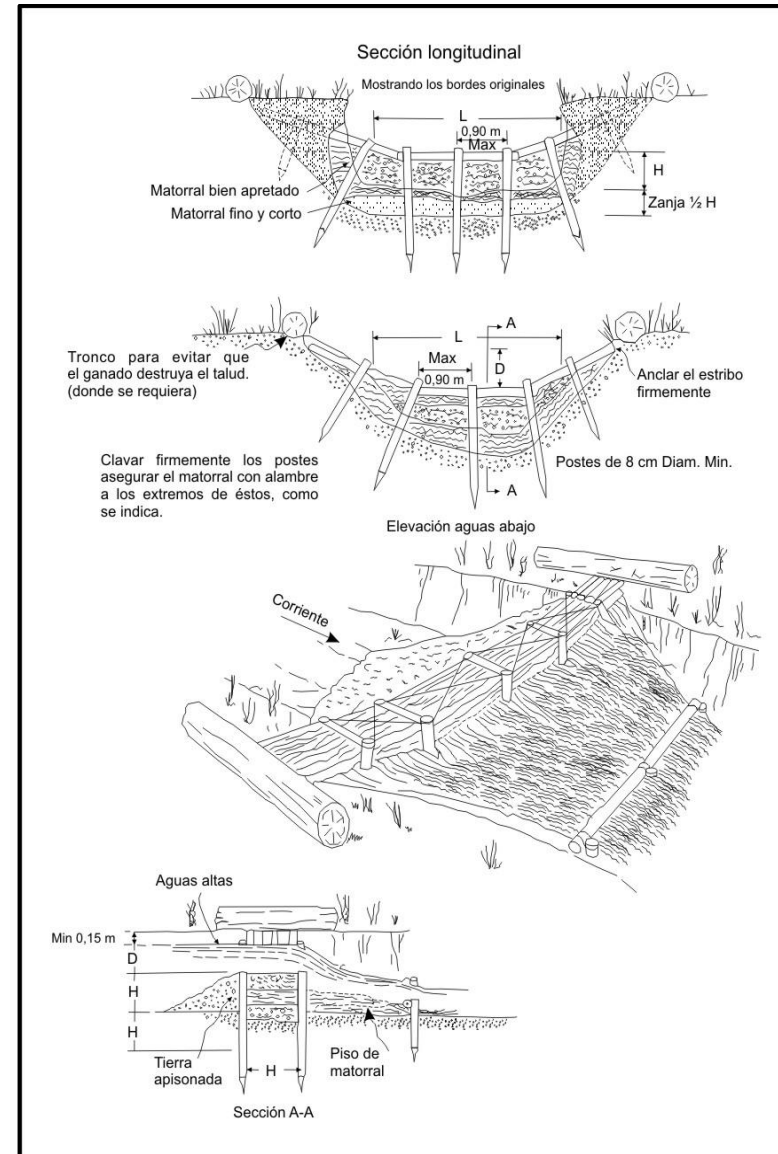


Figura 18. Trincho o presa de matorral tipo doble hilera de postes.

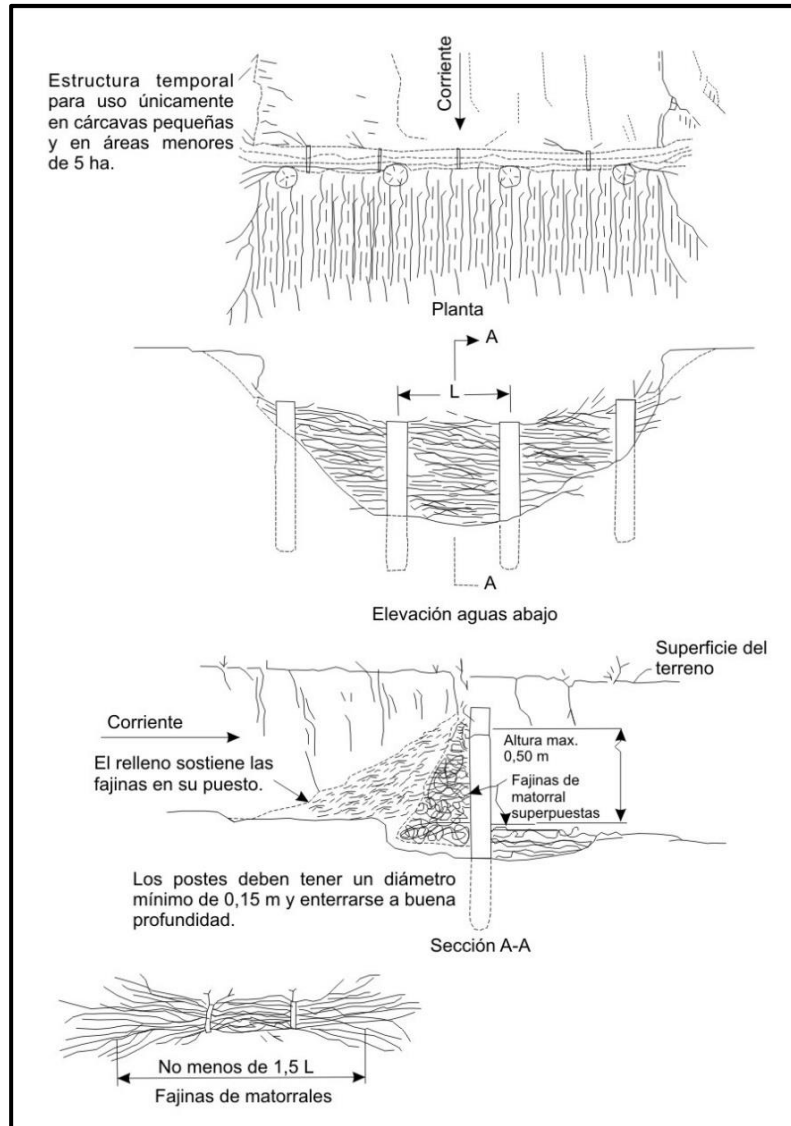


Figura 19. Trincho o presas de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

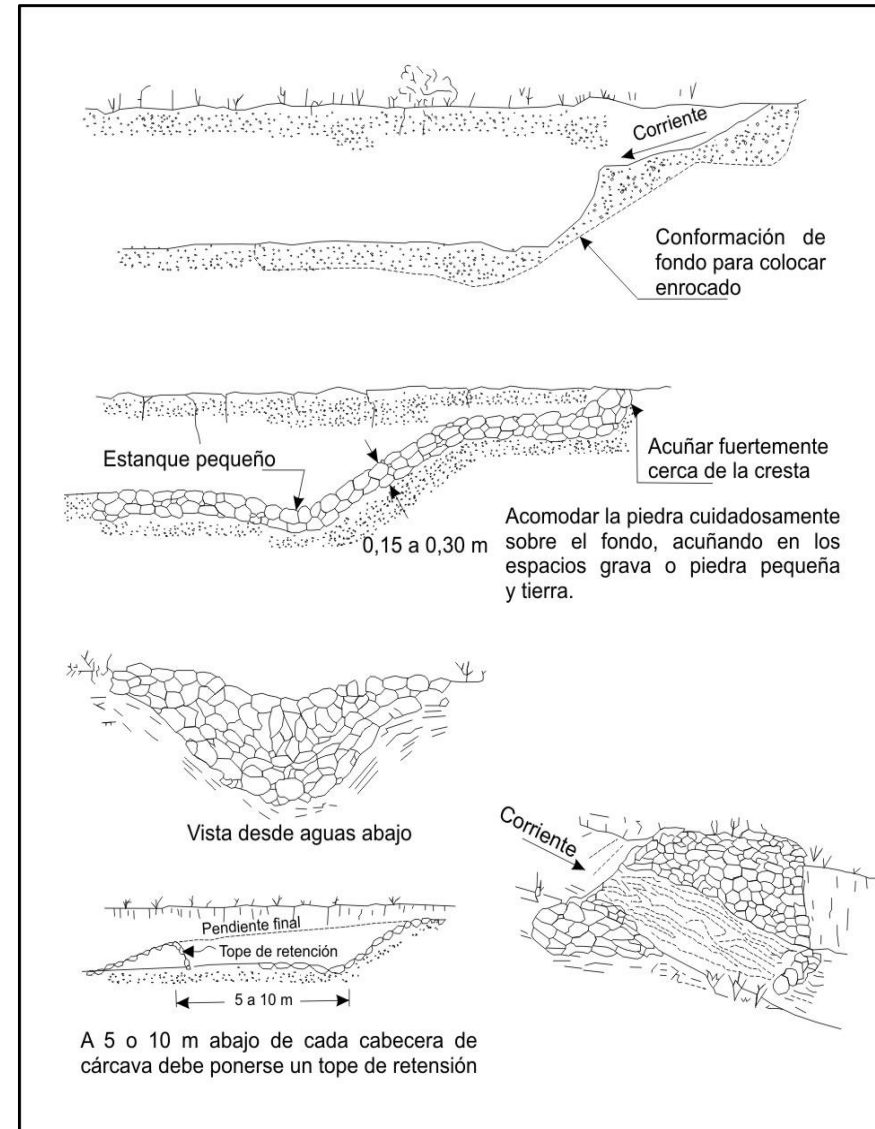


Figura 20. Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama et al., 1964).

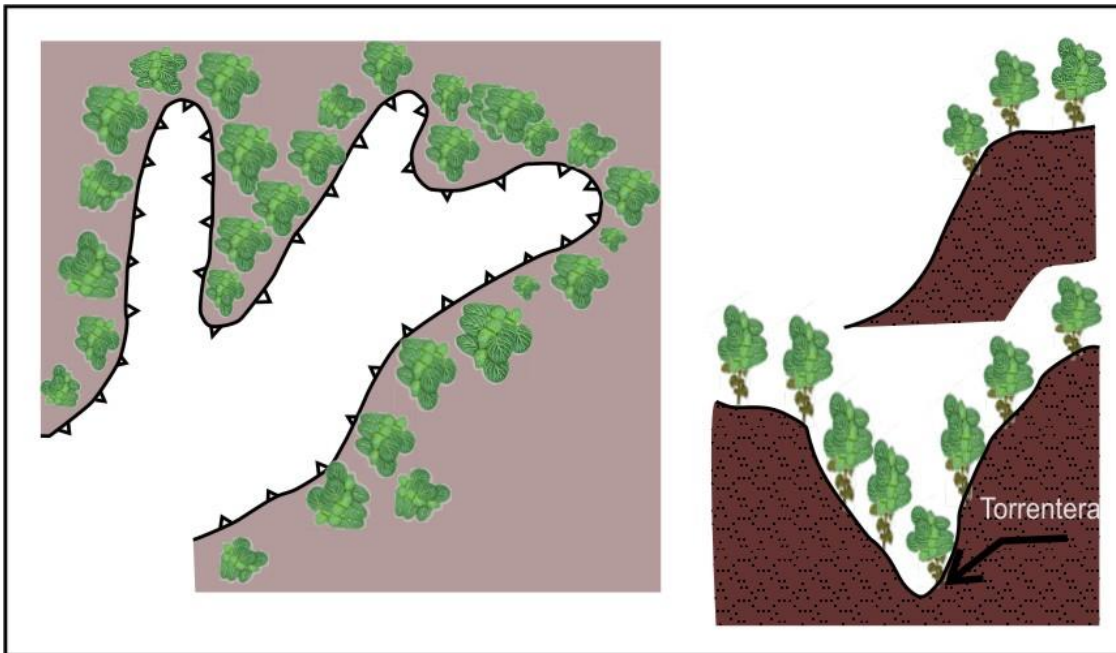


Figura 21. Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

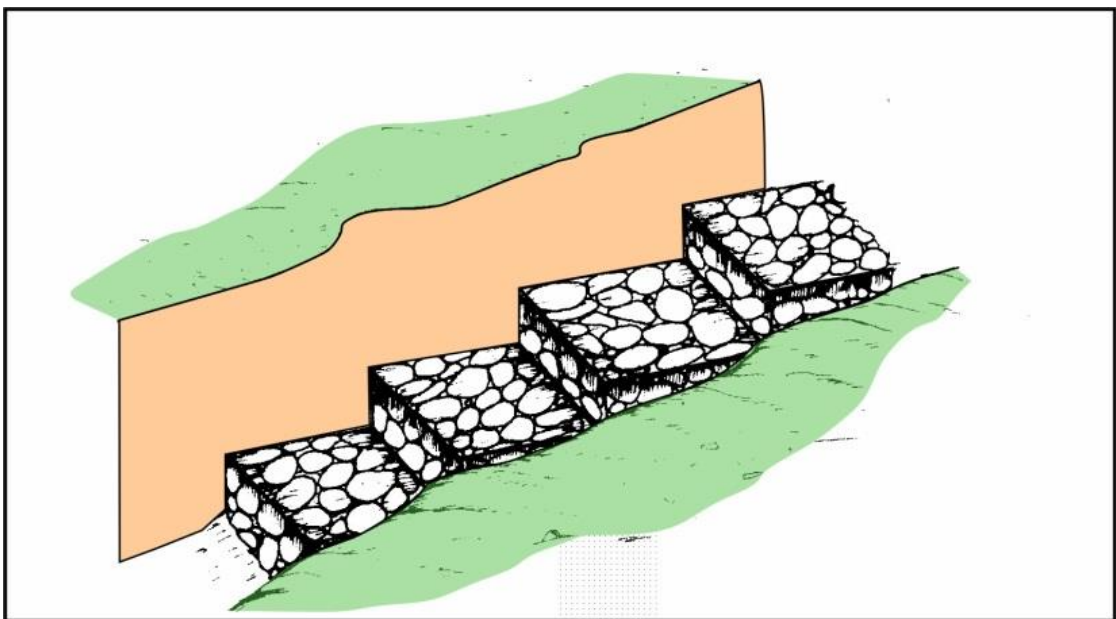


Figura 22. Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Bateman, A., Medina, M, Steiner, F, Velasco, D. (2006). “Estudio Experimental sobre flujos granulares hiper-concentrados”. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela. pp. 1-10.
- 2) Corominas, J. y Yague A., (1997), Terminología de los movimientos de laderas, en Memorias, 4o Simposio Nacional Sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada: España, p. 1051–1072.
- 3) Cruden, D.M. and Varnes, D.J., Landslides Types and Processes in Turner, A.K and Schuster, R.L. (eds.), 1996, Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 672 p.
- 4) Dávila, J (1999). **Diccionario Geológico**. INGEMMET. Tercera Edición. Lima Perú.
- 5) Cruden, D., & Varnes, D. (1996). **Landslide Types and Processes**. En: “Landslides. Investigation and Mitigation”, Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.
- 6) Cruden, D., 1991, **A Simple definition of a landslide**: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27–29.
- 7) Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N. (2001), Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p. 22–238.
- 8) Hungr, O., 2005, Classification and terminology, en Jakob, M., y Hungr, O., ed., Debris flow hazard and related phenomena: Chichester, Springer-Praxis, p. 9–23.
- 9) LAGESA CFGS (1996). Geología de los cuadrángulos Huancapi (28-ñ), Chincheros (28-o), Querobamba (29-o) y Chaviña (30-o). INGEMMET. Serie A: Carta Geológica Nacional, Boletín N° 70. 185 p.
- 10) PMA: GCA. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). **Movimientos en masa en la región Andina: Una Guía para la evaluación de Amenazas**. Canadá. Publicación Geológica Multinacional N° 4, 404 p.
- 11) Varnes, D.J. (1978) - **Slope movement types and processes**. En: Schuster, R.L.& Krizek, R.J., eds., Landslides, analysis, and control. Washington, DC: National Research Council, Transportation Research Special Report 176, p. 11-33.
- 12) Vilchez, M. Ochoa (2016). Riesgo Geológico en la Región Ayacucho. INGEMMET. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Inedito.