

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7414

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR EROSIÓN EN CÁRCAVA DE LA QUEBRADA CUSANAHUAYCO EN LA COMUNIDAD DE CCONCHACCOLLO

Departamento Cusco
Provincia Chumbivilcas
Distrito Chamaca



**AGOSTO
2023**

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR EROSIÓN EN CÁRCAVA DE LA QUEBRADA CUSANAHUAYCO EN LA COMUNIDAD DE CCONCHACCOLLO

Distrito Chamaca, provincia Chumbivilcas, departamento Cusco

Elaborado por la Dirección
de Geología Ambiental y
Riesgo Geológico del
INGEMMET

Equipo de investigación:

David Prudencio Mendoza

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos por erosión en cárcava de la quebrada Cusanahuayco en la comunidad de Cconchacollo. Distrito Chamaca, provincia Chumbivilcas, departamento Cusco*. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7414, 28 p.

INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	3
1.3.1. Ubicación.....	3
1.3.2. Accesibilidad	4
1.3.3. Clima	4
2. DEFINICIONES	5
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
3.1. Unidades litoestratigráficas	6
3.1.1. Intrusivo tonalítico	7
3.1.2. Centro volcánico Llallahua - Evento 1	7
3.1.3. Depósito deluvial.....	7
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	8
4.1. Pendientes del terreno	8
4.2. Unidades geomorfológicas	8
4.2.1. Unidad de montañas	9
4.2.2. Unidad de planicie	9
4.2.3. Unidad de piedemonte.....	9
5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS	10
5.1. Peligros geológicos en la quebrada Cusanahuayco de la comunidad de Cconchacollo	10
5.1.1. Factores condicionantes.....	12
5.1.2. Factores detonantes o desencadenantes.....	13
6. CONCLUSIONES	15
7. RECOMENDACIONES	16
8. BIBLIOGRAFÍA	17
ANEXO 1: MAPAS	18

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES	22
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	23

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por erosión en cárcava, realizado en la quebrada Cusanahuayco en la comunidad de Cconchacollo, perteneciente a la jurisdicción distrital de Chamaca, provincia Chumbivilcas y departamento Cusco. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el sector evaluado se tienen afloramientos de tonalitas que se presentan poco a medianamente fracturados y altamente meteorizados; sobre estas se aprecian depósitos deluviales poco consolidados, que es producto del movimiento de los materiales hacia el fondo de la quebrada, conformado por gravas (20%) de formas angulosas y tamaños heterométricos con matriz areno limo arcilloso (80%).

Las unidades geomorfológicas identificadas corresponden a montañas en roca intrusiva y sedimentaria, además, se parecían geoformas de vertiente deluvial.

Uno de los factores que condicionó el origen de la erosión en cárcava, fueron los depósitos deluviales poco consolidados que se encuentran en el fondo de la quebrada. Otro factor son terrenos de pendiente suaves a moderadas (1°- 15°).

Sobre el cauce de la quebrada Cusanahuayco, se identificó un proceso de erosión de la ladera de tipo cárcava; que afectó cultivos de papas, habas y pastos en un área de 4500 m² y podría afectar una construcción de 35 m² que se encuentra a 6 m del avance de la cárcava.

Se concluye que el área de estudio, es considerada de **peligro alto** por procesos de erosión en cárcava, que pueden ser desencadenados en la temporada de lluvias (diciembre a marzo).

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes, las cuales deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes, como realizar zanjas de coronación, un canal principal impermeabilizado para la quebrada y forestación del interior de la cárcava y de los alrededores entre otros.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad distrital de Chamaca, según Oficio N° 167-2022-A-MDCH, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en la quebrada Cusanahuayco de la comunidad Cconchacollo distrito de Chamaca por encontrarse en peligro ante “erosión en cárcava”, con última ocurrencia el 28 de abril del 2022, que afectó cultivos de papas, habas y pastos para consumo del ganado, en un área de 4500 m² y su crecimiento puede afectar una construcción de 35 m² que se encuentra a pocos metros de la cárcava.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al ingeniero David Prudencio Mendoza, realizar dicha evaluación.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad distrital de Chamaca y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa y por otros peligros geológicos que se presenta en la quebrada Cusanahuayco en la comunidad de Cconchacollo.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación necesarias a fin de prevenir o reducir los riesgos presentes o la generación de nuevos.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el distrito de Chamaca, se tienen:

- A) Según el boletín N° 74, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro geológico en la región Cusco” (Vílchez et al., 2020); el estudio realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1: 100 000), donde la comunidad Cconchacollo presenta susceptibilidad alta. Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una

determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) En el Boletín N° 52, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Cusco y Livitaca” hojas: 28-s, 29-s (Mendivil, S, et al., 1994); y la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (32-s), Cailloma (32-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p)”, a escala 1: 100 000 (Quispesivana L. et al., 2003); describen la geología e información relacionada a los cambios más resaltantes sobre la estratigrafía. Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas donde se ubica la Comunidad Cconchacollo.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

La quebrada Cusanahuayco se encuentra a 1 km por camino de herradura de la comunidad Cconchacollo; se ubica a 4 km al sureste del centro poblado de Chamaca (capital de distrito). Políticamente se halla dentro del distrito de Chamaca, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco. (Figura 1), cuyas coordenadas centrales UTM (WGS84 – Zona 19S) son (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	189768	8413761	-14.330791°	-71.875859°
2	190318	8413761	-14.330880°	-71.870766°
3	190318	8413472	-14.333463°	-71.870799°
4	189768	8413467	-14.333446°	-71.875930°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA				
C	190022	8413565	-14.332590°	-71.873529°

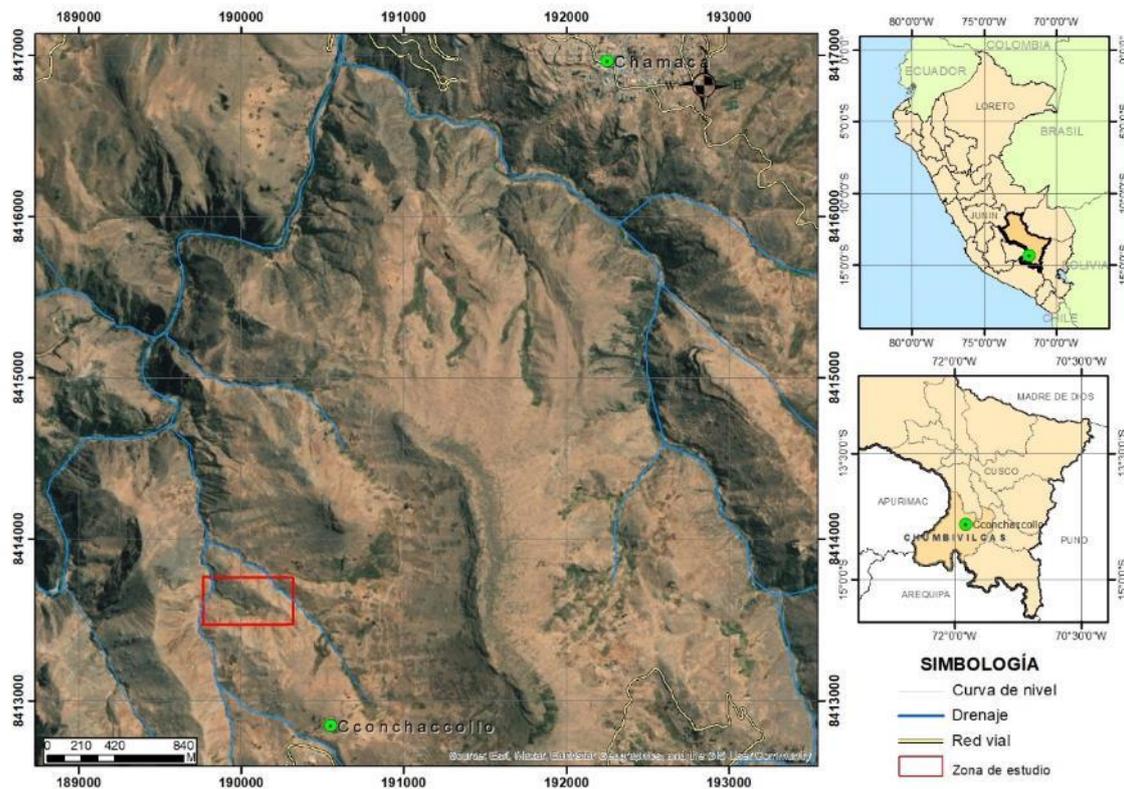


Figura 1. Ubicación del sector Palmeras en la comunidad de Totora Palca.

1.3.2. Accesibilidad

Se accede a la zona de estudio por vía terrestre, desplazándose desde la ciudad del Cusco (Ingemmet - OD Cusco), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Santo Tomas	Asfaltada y afirmado	237	6 h 23 min
Santo Tomas – Chamaca	Afirmado	57.4	1 h 51 min
Chamaca – Cconchacollo	Trocha	19.7	46 min

1.3.3. Clima

De acuerdo al mapa climático del SENAMHI (2020), y detallando la información local, se puede observar que, la quebrada Cusanahuayco de la Comunidad Cconchacollo presenta un clima frio, semiseco con otoño e invierno secos.

Presenta una frecuencia de precipitación entre los meses de diciembre a marzo, cuyas lluvias acumuladas anuales son de 700 mm a 900 mm aproximadamente, además, en los meses de junio a setiembre presenta temperaturas máximas que oscilan entre 15°C a 19°C y mínimas entre 1°C a -3°C, con humedad atmosférica relativa de otoño e invierno secos.

Esta clasificación climática es sustentada con información meteorológica recolectada de aproximadamente 20 años a partir de la cual se formulan “Índices Climáticos” de acuerdo a la clasificación climática por el método de Thornthwaite.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico-Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

Agrietamiento: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

Corona: Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

Derrumbe Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando. Se le conoce también como desprendimiento de rocas, suelos y/o derrumbes.

Deslizamientos: Movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla. Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

Erosión de ladera: es un proceso normal, inevitable y universal, que consiste en el desgaste y remodelado del paisaje terrestre original; puede ser laminar, surco o en cárcava; puede ser laminar, surco o en cárcava (Villota, 2005).

Erosión laminar: se refiere a la remoción más o menos uniforme de láminas delgadas de suelo desde superficies inclinadas sin que se formen claramente canales de desagüe (Villota, 2005).

Erosión en surcos: se desarrolla a partir de la erosión laminar, con la cual no tiene un límite definido. La remoción de suelo ocurre en mayor cantidad a lo largo de pequeños canales formados por cursos intermitentes de esorrentía (Villota, 2005).

Erosión en cárcavas: proceso intenso de erosión hídrica causado por escurrimiento superficial concentrado, capaz de remover material de suelo hasta profundidades considerables. La intensidad y la amplitud de la formación de cárcavas guardan una íntima relación con la cantidad de agua de escurrimiento y su velocidad (Villota, 2005).

Escarpa: Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa,

socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

Flujos: 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 deslizamiento o una caída. Los flujos pueden ser canalizados (huaicos) y no canalizados (avalanchas).

Formación geológica: Es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Fractura: Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

Meteorización: Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

Movimientos en masa: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio peruano, los tipos más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

Peligro o amenaza geológica: Es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Susceptibilidad: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la Geología de los cuadrángulos de Cusco y Livitaca” hojas: 28-s, 29-s (Mendivil, S, et al., 1994); y la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (32-s), Cailloma (32-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p)”, a escala 1: 100 000 (Quispesivana L. et al., 2003); donde se aprecian principalmente unidades litoestratigráficas de naturaleza intrusiva. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores corresponden a afloramientos de rocas tonalitas de la unidad Colquemarca, Plutón Colquemarca, además localmente se han identificado depósitos deluviales acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Anexo 1 - Mapa 1).

3.1.1. Intrusivo tonalítico

En ambos márgenes de la quebrada Cusanahuayco se observaron el Plutón Colquamarca, con tonalitas de colores claros, equigranulares de grano medio. Estas se observaron en la margen derecha junto al riachuelo de la quebrada. Los afloramientos se encuentran poco a medianamente fracturados y de moderada a altamente meteorizados.

3.1.2. Centro volcánico Llallahua - Evento 1

En la margen izquierda de la quebrada Cusanahuayco, sobre las tonalitas se aprecian depósitos compuestos por tobas de ceniza con líticos de composición andesítica, de coloración grisácea y por meteorización son de color amarillento. Las rocas se presentan muy fracturadas y altamente meteorizadas, generando suelos que se depositan en la quebrada, los que son de fácil erosión (Figura 2).



Figura 2: se muestra el canal de la quebrada y un fragmento de roca altamente meteorizada, ubicada en la base del canal de la quebrada.

3.1.3. Depósito deluvial

Estos depósitos se ubican en el fondo de las quebradas Cusanahuayco, son depósitos sueltos por la falta de consolidación que presenta.

Proviene del acarreo de materiales depositados en las laderas y trasladados hasta las partes bajas de la quebrada por acción de aguas de escorrentía y gravedad, que son de fácil erosión.

Está constituido por gravas de formas subangulosas y tamaños heterométricos en una concentración de un 20% los cuales están incluidos en una matriz de arcilla, limo y arena en 80%, dejando superficies con pendientes suaves a moderadas (Figura 3) (Anexo 2 – descripción de formaciones superficiales 1).



Figura 3: Depósito deluvial compuesta por gravas en matriz de arcilla limo y arena, que dejó pendientes moderadas.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente, por ser un parámetro importante en la evaluación de peligros geológicos, ya que actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

Para un mejor análisis se realizó el mapa de pendientes en base al levantamiento fotogramétrico, usando dron, obteniéndose el modelo digital del terreno con una resolución 8 cm por pixel y 4 cm por pixel para la ortofoto, información que fue corroborada con un análisis de imágenes satelitales y cartografía in situ (Anexo 1 - Mapa 2).

La margen derecha de la ladera de la quebrada Cusanahuayco presenta terrenos con pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuertes (25° - 45°), en la base de la quebrada tienen pendientes suaves a moderadas (1° a 15°) y es donde se generó el proceso de erosión en cárcava y en la margen derecha de la quebrada las pendientes son de fuertes a escarpadas (15 – 45).

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se realizó la complementación y actualización del mapa geomorfológico regional a escala 1:100 000 elaborado por Vélchez (2020). Además, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual, en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación, diferenciándose montañas, superficies de flujos piroclásticos y piedemonte (Anexo 1 - Mapa 3).

4.2.1. Unidad de montañas

Son geoformas de carácter degradacional y erosional. Se consideran dentro de esta unidad a elevaciones del terreno con alturas mayores a 300 m con respecto al nivel de base local, diferenciándose la siguiente subunidad según el tipo de roca que la conforma y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de montañas en roca intrusiva (RM-ri):

Representado por un relieve modelado en afloramientos rocosos del Plutón Colquamarca, conformada por tonalitas y granodioritas equigranulares de grano medio.

Se aprecia en las zonas altas de la quebrada Cusanahuayco, circundando la zona de estudio, presentando laderas con pendientes del terreno de fuertes a muy fuertes, susceptibles a deslizamientos.

4.2.2. Unidad de planicie

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, pueden originarse por denudación de antiguas llanuras, del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras o También por acumulación de material volcánico piroclástico que cubrió la superficie preexistente.

Subunidad de superficie de flujo piroclástico (Sfp):

Representado en la zona evaluada por el Evento 1 del Centro Volcánico Llallahua, conformada por depósitos volcánicos sedimentario de tovas de ceniza con líticos de composición andesítica.

Se aprecia en el suroeste de zona de estudio, en la margen izquierda de la quebrada Cusanahuayco con flujos piroclásticos muy fracturadas y altamente meteorizadas, presentando laderas con pendientes del terreno moderadas, generando suelos susceptibles a la erosión.

4.2.3. Unidad de piedemonte

Son geoformas de carácter depositacional y agradacional. Se consideran como formas de terrenos que constituyen la transición entre los relieves montañosos accidentados y las zonas planas, predominan los terrenos generados por fuerzas de desplazamiento como depósitos deluviales y depósitos coluvio deluviales.

Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):

Están formadas por las acumulaciones al pie de laderas o acantilados de valles, conformado por materiales de origen coluvial y deluvial, donde no es posible distinguirlo como unidades individuales, su composición litológica es de bloques heterométricos de naturaleza homogénea con arcillas, limos y arenas, proviene de procesos de movimientos en masa de tipo deslizamiento o derrumbes, trasladados por acción de las aguas de escorrentía.

En el área de estudio se presenta al sureste en la quebrada contigua al del estudio, se encuentra en la base de la quebrada con pendientes moderadas; siendo

susceptible a movimientos en masa por la poca compactación que presenta estos depósitos.

Subunidad de vertiente deluvial (V-dl):

Están formadas por las acumulaciones en laderas o acantilados de valles, conformado por materiales depositados en la ladera y trasladados por acción de gravedad y lluvias periódicas, su composición litológica es de gravas de naturaleza homogénea en matriz de arcillas, limos y arenas.

Se encuentra en el área de estudio, en la base de la quebrada Cusanahuayco presentando pendientes suaves a moderadas; siendo susceptible a procesos de erosión en cárcava en presencia de aguas infiltradas.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo erosión en cárcavas, deslizamientos y flujo de lodo (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Los movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas.

5.1. Peligros geológicos en la quebrada Cusanahuayco de la comunidad de Cconchacollo

Se identificó un proceso de erosión en ladera (cárcava), este evento comenzó a generarse el año 2018 como se aprecia en imágenes históricas (figura 4), a 6 m de la incisión de la cárcava se encuentra la construcción de una vivienda, que al momento sirve de almacén por la cercanía a este evento. (Anexo 1 - Mapa 4).

De acuerdo a las imágenes históricas, se aprecia las marcas de agua infiltrada y de escorrentía, pero desde el año 2022 la cárcava comienza un crecimiento más rápido, por lo que se supone que el suelo tiene una mayor infiltración y escorrentía. Si sumado a la falta de cobertura vegetal y la pendiente, los suelos tienen mayor susceptibilidad a la erosión de ladera tipo cárcava.

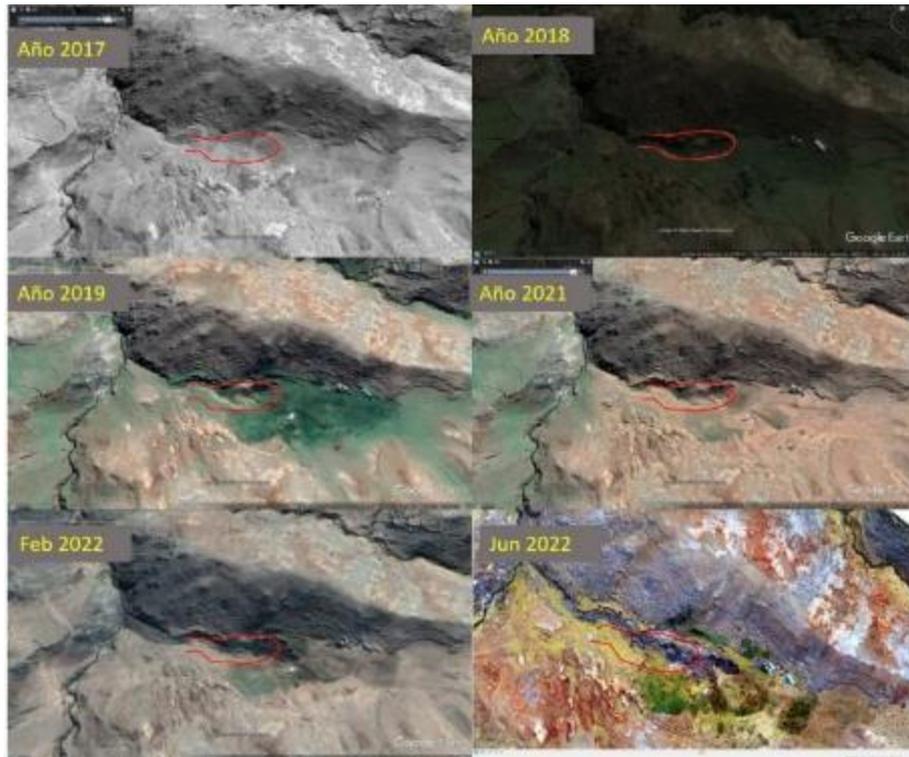


Figura 4: Imágenes históricas desde el año 2017 donde se puede apreciar evidencias de la erosión de laderas tipo cárcava.

La cárcava presenta un avance retrogresivo con dos incisiones, de acuerdo a lo comentado por el poblador de la vivienda afectada, la primera incisión fue en la margen izquierda (febrero 2022), donde avanzó 20 m y profundizó 7 m; la segunda incisión se ubica en la margen derecha (abril del 2022) llegó a avanzar 60 m y profundizó 7 m de la superficie (Figura 5).



Figura 5: Se aprecian las cárcavas generadas el presente año y la vivienda que se encuentran cerca.

Otro evento, se dio en la margen derecha de la quebrada, se aprecian dos escarpas de deslizamientos, la mayor presenta una longitud de 50 m y la menor 30 m, las dos tienen

caídas de 1 m y la distancia de la cabeza al pie de los deslizamientos es de 15 m (Figura 6).



Figura 6: Se aprecia dos deslizamientos ubicados en la margen derecha de la quebrada.

Los materiales generados por las cárcavas fueron transportados al cauce, posteriormente fueron transportados como flujos de lodo, por el canal de la quebrada Cusanahuayco una distancia de 240 m aguas abajo y profundizó el canal hasta en 2 m (Figura 7).



Figura 7: Se aprecia el canal de la quebrada Cusanahuayco, por donde se canalizó el material generado por las cárcavas.

5.1.1. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- El substrato rocoso compuesto por tonalitas poco a medianamente fracturados y de moderada a altamente meteorizados junto a los depósitos del centro volcánico Llallahua compuestos por tobas de ceniza que se presentan muy fracturadas y altamente meteorizadas, los que aportan materiales poco consolidados a la quebrada generando zonas susceptibles a la erosión.
- Los depósitos deluviales poco consolidados acumulados en la base de la quebrada, están compuestos por gravas en un 20%, incluidos en una matriz de arcilla, limo arenosa en 80%, dejando superficies con pendientes del terreno suaves a moderadas, los cuales son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones intensas.

Factor geomorfológico

- El sector donde se producen los eventos de erosión en cárcava se encuentra sobre vertiente deluvial, cuyos depósitos recientes poco consolidados presentan pendientes suaves (1°- 5°) a moderadas (5°- 15°), lo que facilita la infiltración y sobresaturación de las aguas de escorrentía y consiguiente erosión.

Factor hidrológico - hidrogeológico

- La acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben el sector evaluado, infiltran y sobrecargan los depósitos poco consolidados ubicados en la base de la quebrada, lo que genera un aumento de peso e inestabilidad en los depósitos, esto, con el transcurrir del tiempo junto a la gravedad generan erosión en la base de la quebrada y en laderas hacen que se pierda el equilibrio.

5.1.2. Factores detonantes o desencadenantes

- Las lluvias intensas y/o prolongadas dadas entre los meses de octubre a marzo, saturan y sobrecargan la base de las quebradas, provocando el aumento la infiltración la que genera erosión en cárcavas y en taludes desestabilización hasta que cedan cuesta abajo.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi, 2022), en la estación meteorológica Santo Tomás, la más cercana, ubicado a 24 km de la comunidad Cconchacollo; en los meses de marzo y abril del 2022 se registró 198.5 mm de precipitación pluvial acumulada, además, las lluvias solo se dieron hasta el día 11 de abril lo que coincide con la ocurrencia del evento de erosión en cárcava, siendo el factor detonante las lluvias intensas y prolongadas (Figura 8).

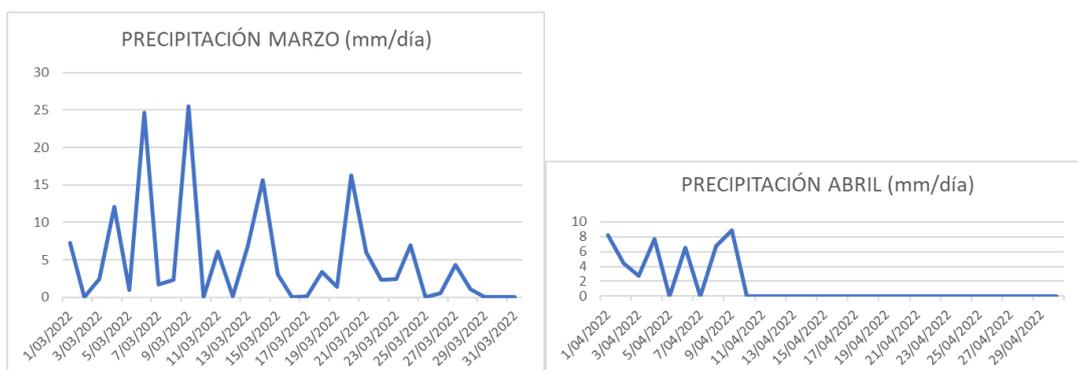


Figura 8. Registro de precipitaciones acumuladas diarias del mes de marzo y abril del año 2022 en la estación meteorológica Santo Tomás, distrito Santo Tomás, provincia Chumbivilcas, departamento Cusco, en coordenadas geográficas: Lat:14°23'55.61"
Lon:72°5'15.86" Altitud 3212 m s.n.m.

- Los sismos pueden inducir o desencadenar derrumbes y deslizamientos. ya que generan energía en los taludes, más aún, en los taludes que deja el evento de erosión en cárcava en la zona evaluada.

6. CONCLUSIONES

- a) En quebrada Cusanahuayco de la comunidad de Cconchacollo, se tienen procesos de erosión en cárcava desde el año 2018, estos eventos tienen avance retrogresivo. En abril del 2022 la erosión fue de mayor intensidad, la que provocó pérdidas de suelos con más velocidad.
- b) La cárcava afectó cultivos de papas, habas y pastos en un área de 4500 m² y podría afectar una construcción de 35 m² que se encuentra a 6 m del avance de la cárcava.
- c) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la quebrada Cusanahuayco de la Comunidad de Cconchacollo se considerada de **peligro alto** por proceso de cárcava.
- d) Los factores condicionantes de este evento son:
 - El substrato rocoso compuesto por tonalitas poco a medianamente fracturados y de moderada a altamente meteorizados junto a los depósitos del centro volcánico Llallahua compuestos por tobas de ceniza muy fracturadas y altamente meteorizadas, las que aportan materiales poco consolidados a la base de la quebrada, generando zonas susceptibles a la erosión.
 - Los depósitos deluviales se encuentran en la base de la quebrada, están compuestos por gravas de formas angulosas en un 20%, incluidos en una matriz de arcilla, limo arenoso en 80%. El terreno presenta pendientes suaves a moderadas, es de fácil erosión y remoción, por estar sobresaturado.
 - La base de la quebrada Cusanahuayco presenta depósitos recientes con pendientes suaves (1°- 5°) a moderadas (5°- 15°), que facilita la generación de procesos de erosión en cárcava.
 - En la base de la quebrada tienen pendientes suaves a moderadas (1° a 15°) donde se generó el proceso de erosión en cárcava.
 - Las aguas de escorrentía han sobrecargado los depósitos, dejándolos sobresaturados, que permite su erosión.
- e) El factor desencadenante fueron las lluvias intensas y/o prolongadas que se presentar en los meses de diciembre a marzo y en algunos casos hasta abril en el sector.

7. RECOMENDACIONES

- a) Realizar zanjas de coronación y espina de pescado, para evitar mayor infiltración y sobrecarga en la quebrada.
- b) Forestar con plantas hidrófilas y nativas dentro de la cárcava para evitar perder más suelos y con arbusto en los alrededores de la cárcava para impermeabilizar y evitar la infiltración rápida de las aguas de escorrentía.
- c) Evitar dar el uso del al suelo como agrícola ya que es un causante de la erosión y la infiltración de aguas de escorrentía.
- d) Evitar el sobrepastoreo en el sector ya que quita la vegetación y aumenta la infiltración en estos sectores.
- e) La construcción que se ve afectada por la cárcava y se encuentra sobre los depósitos deluviales debe ser reubicada a zonas más altas donde se encuentre el macizo rocoso.
- f) Realizar diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la zona como troncos, ramas o rocas. La construcción debe realizarse con un componente poroso para permitir el paso de parte del agua con el fin de reducir las tenciones sobre la estructura.
- g) Realizar un canal impermeabilizado principal en la quebrada para que evacue las aguas de escorrentía y que capte las aguas de los humedales que se generan en la zona para evitar la sobre saturación y la erosión del terreno.
- h) Realizar un estudio geotécnico que permita determinar la estabilidad del terreno, para mejorar la pendiente del talud para evitar derrumbes.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

Benavente, C; Delgado, F; Taípe, E.; Audin, L. & Pari, W.; (2013) – Neotectónica y peligros sísmicos en la región Cusco, INGEMMET. Boletín, serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p., 1 Mapa.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Galdos, J.; Carrasco, S. (2003) Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (32-s), Cailloma (32-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p). Escala 1:100 000. INGEMMET, 48 p.

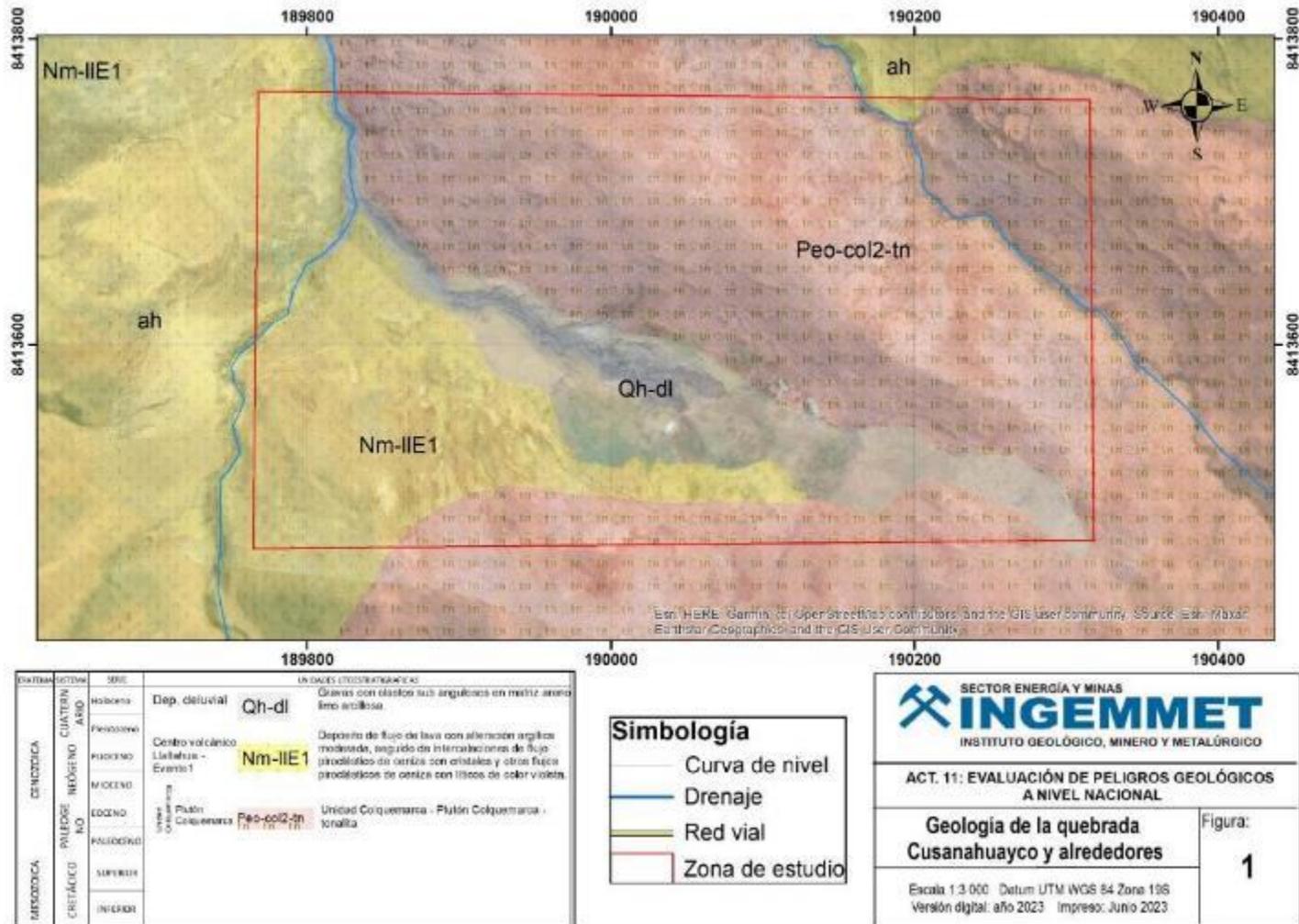
MENDÍVIL, S. & DÁVILA, D. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac., 52, 115 p.

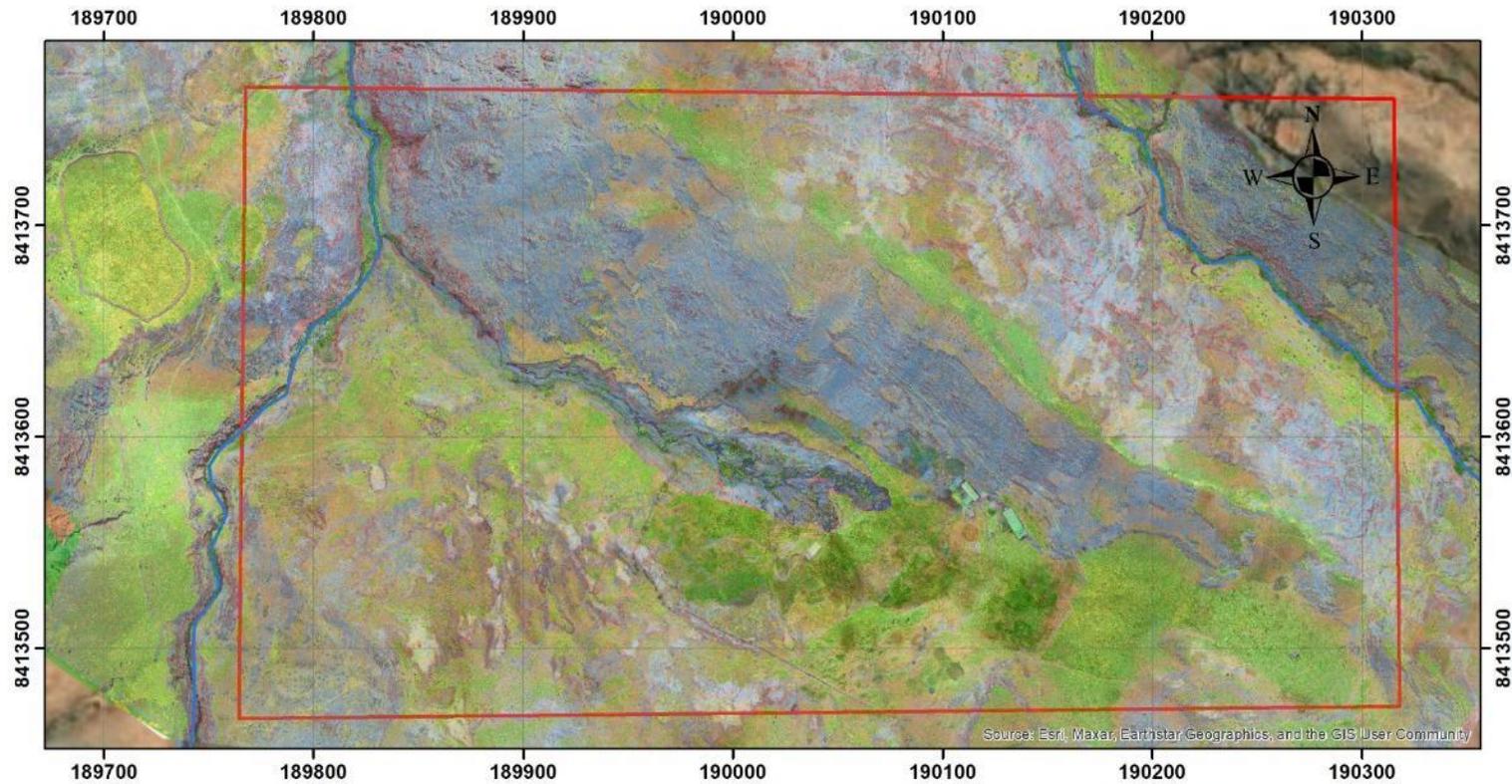
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.

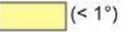
SENAMHI. (1988). Mapa de clasificación climática del Perú. Método de Thornthwaite. Eds. SENAMHI Perú, 50pp.

Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.

ANEXO 1: MAPAS

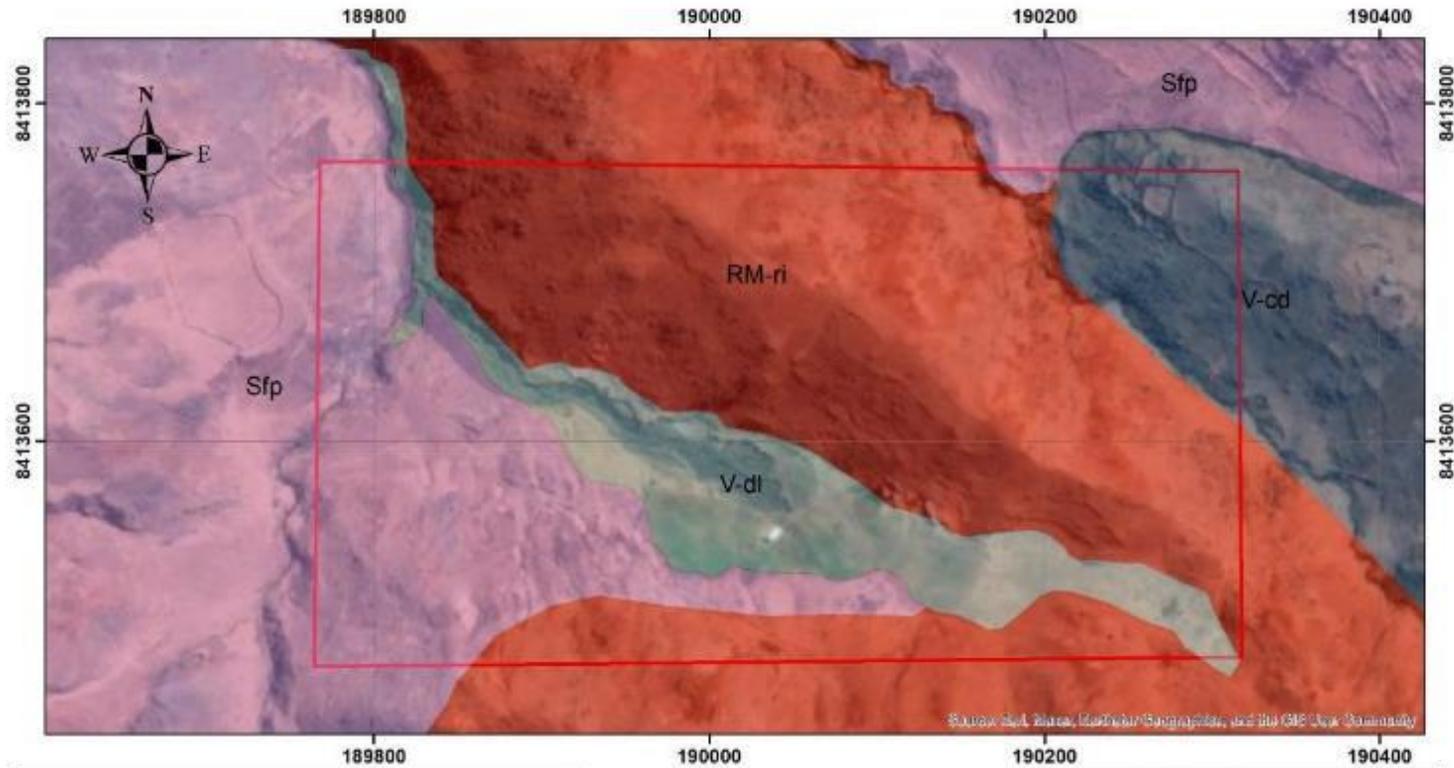




LEYENDA	
	(< 1°) Terreno llano
	(1° - 5°) Terreno inclinado con pendiente suave
	(5° - 15°) Pendiente moderada
	(15° - 25°) Pendiente fuerte
	(25° - 45°) Pendiente muy fuerte o escarpada
	(45° - 90°) Terreno muy escarpado

Simbología	
	Curva de nivel
	Drenaje
	Red vial
	Zona de estudio

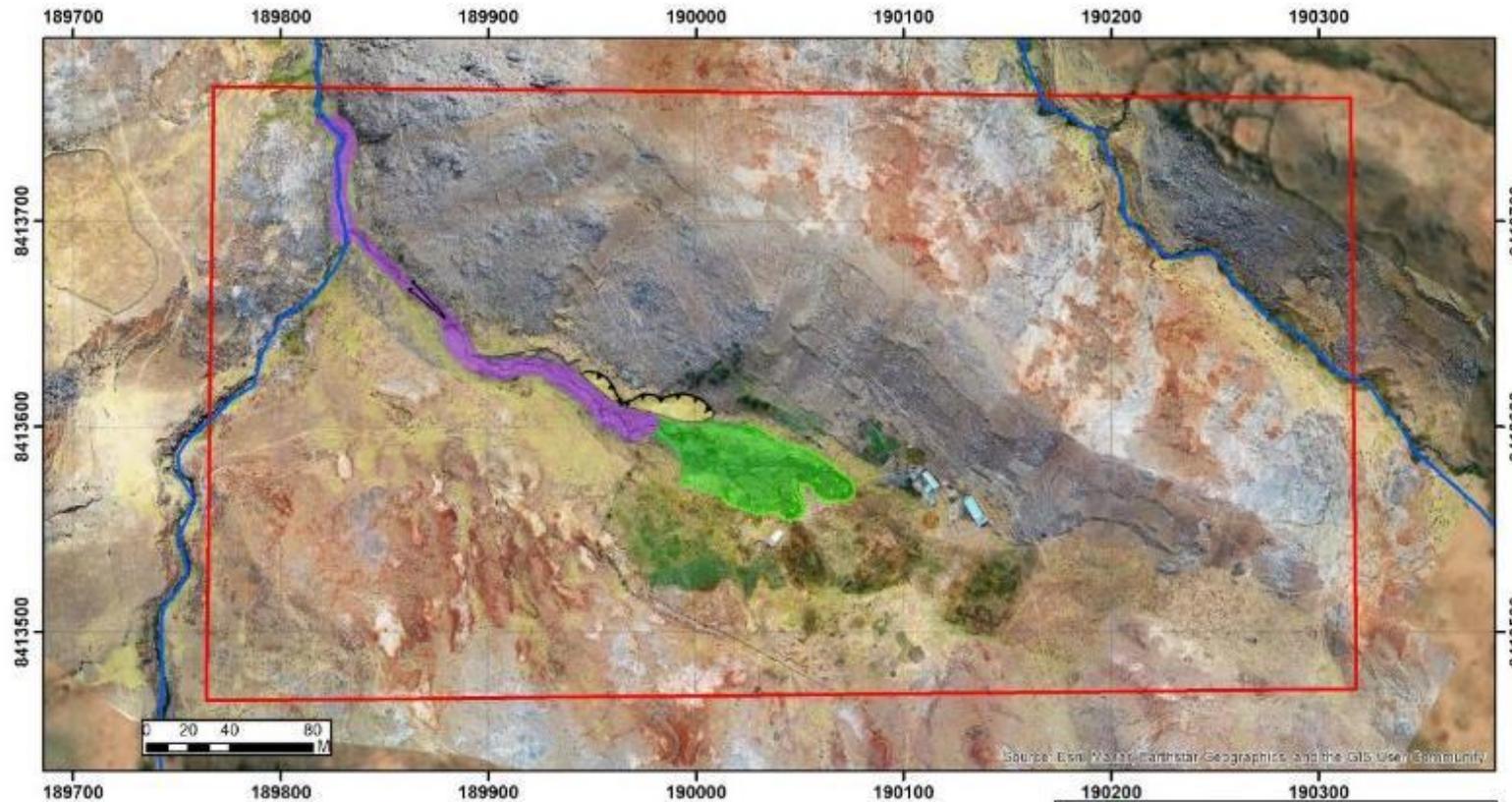
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
Pendientes de la quebrada Cusanahuyaco y alrededores	Figura: 2
Escala 1:2 500 Datum UTM WGS 84 Zona 19S Versión digital: año 2023 Impreso: Junio 2023	



Leyenda	
RM-ri	Montaña en roca intrusiva
Sfp	Superficie de flujo piroclástico
V-cd	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial
V-dl	Vertiente o piedemonte deluvial

Simbología	
	Curva de nivel
	Drenaje
	Red vial
	Zona de estudio

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
Geomorfología de la quebrada Cusanahuayco y alrededores	Figura: 3
Escala 1:3 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18S Versión digital: año 2023 Impreso: Junio 2023	



LEYENDA	
	Deslizamiento activo
	Erosión en cárcava
	Escarpa de desliz. activo
	Erosión

SIMBOLOGÍA	
	Drenaje
	Red vial
	Zona de estudio



<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
Peligros en la quebrada Cusanahuayco y alrededores	Figura: 4
Escala 1:2 500 Datum UTM WGS 84 Zona 18S Versión digital: año 2023 Impreso: Junio 2023	

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

Deposito deluvial en la quebrada Cusanahuayco en coordenada UTM 190022 E; 8413565 N.

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES							
		TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL	<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	
			<input checked="" type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	
			<input type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	
			<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	
			<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial	
			<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral	
			<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar	
GRANULOMETRÍA		FORMA		REDONDES		PLASTICIDAD	
	%						
<input type="checkbox"/>	Bolos	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input type="checkbox"/>	Redondeado	<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad
<input type="checkbox"/>	Cantos	<input type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Subredondeado	<input checked="" type="checkbox"/>	Med. Plástico
<input type="checkbox"/>	20 Gravas	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Anguloso	<input type="checkbox"/>	Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/>	Gránulos	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/>	Subanguloso	<input type="checkbox"/>	No plástico
<input type="checkbox"/>	30 Arenas						
<input type="checkbox"/>	30 Limos						
<input type="checkbox"/>	20 Arcillas						
		ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	%	LITOLOGÍA	
<input checked="" type="checkbox"/>	Masiva	<input type="checkbox"/>	Harinoso	<input checked="" type="checkbox"/>	Materia Orgánica	<input type="checkbox"/>	80 Intrusivos
<input type="checkbox"/>	Estractificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input type="checkbox"/>	Lenticular	<input checked="" type="checkbox"/>	Aspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Matamórficos
						<input type="checkbox"/>	20 Sedimentarios
COMPACIDAD							
SUELOS FINOS				SUELOS GRUESOS			
Limos y Arcillas		Arenas		Gravas			
<input checked="" type="checkbox"/>	Blanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta		
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa	<input type="checkbox"/>	Med. Consolidada		
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa	<input type="checkbox"/>	Consolidada		
				<input type="checkbox"/>	Muy Consolidada		
CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.							
SUELOS GRUESOS				SUELOS FINOS			
<input type="checkbox"/>	GW	<input type="checkbox"/>	GC	<input type="checkbox"/>	ML	<input type="checkbox"/>	CH
<input type="checkbox"/>	GP	<input type="checkbox"/>	SW	<input checked="" type="checkbox"/>	CL	<input type="checkbox"/>	OH
<input type="checkbox"/>	GM	<input type="checkbox"/>	SP	<input type="checkbox"/>	OL	<input type="checkbox"/>	PT
<input type="checkbox"/>	SM	<input type="checkbox"/>	SC	<input type="checkbox"/>	MH		

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Las erosiones en cárcavas son la consecuencia de otros tipos de erosión como la superficial, precedida por erosión en salpicadura, laminar y luego en surcos. Estos eventos generan abundantes materiales sueltos que son llevados y trasladados por los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

Para mitigar y prevenir el avance de la erosión en cárcava, se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

- Control y manejo del avance de cárcavas con la construcción de diques o trinchos transversales elaborados con materiales propios de la zona como troncos, ramas, rocas, etc. (Figuras 9, 10, 11, 12).
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (Figuras 9 y 13) y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas (Figura 14).
- 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 el tamaño 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.

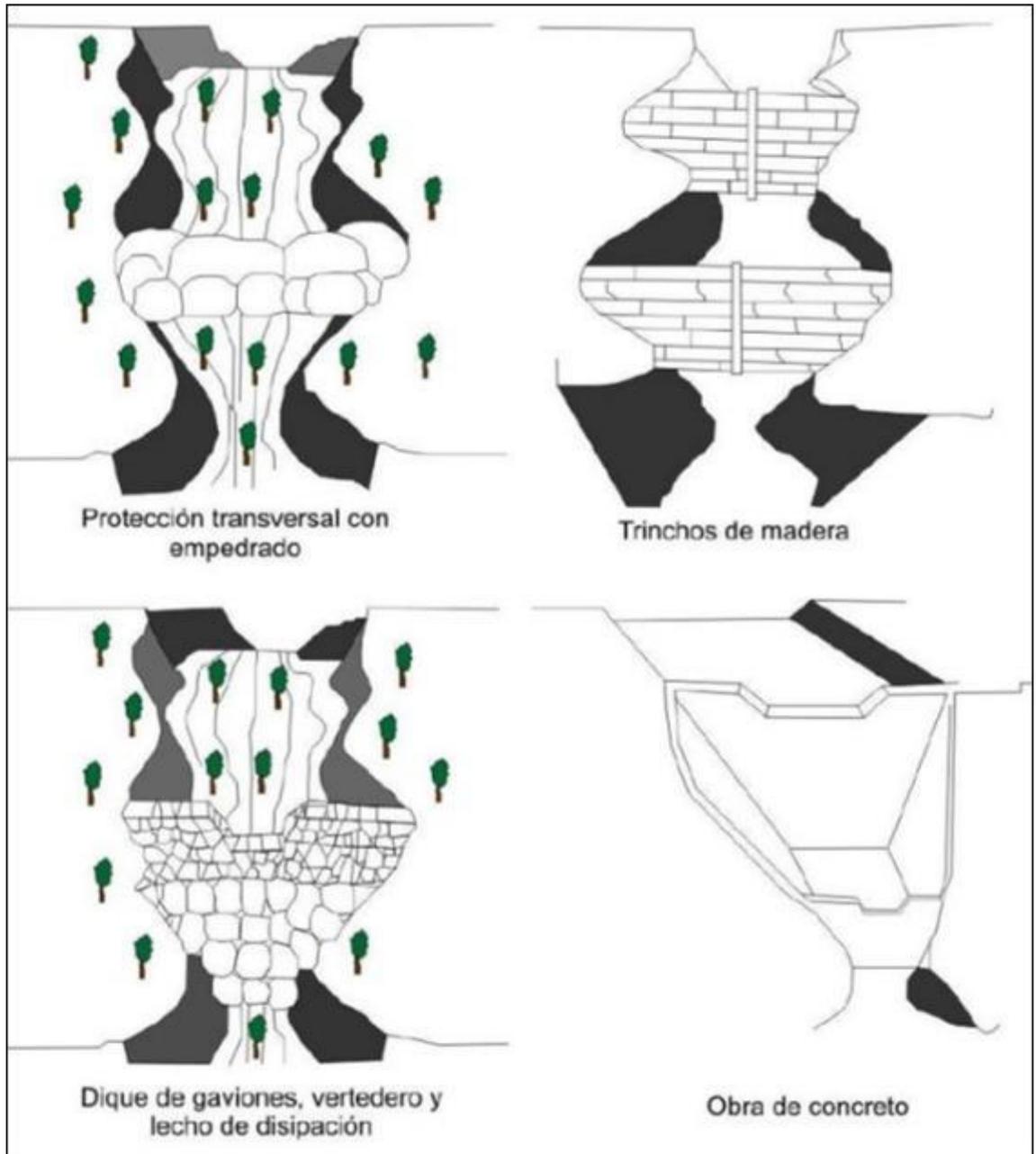


Figura 9. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcava.

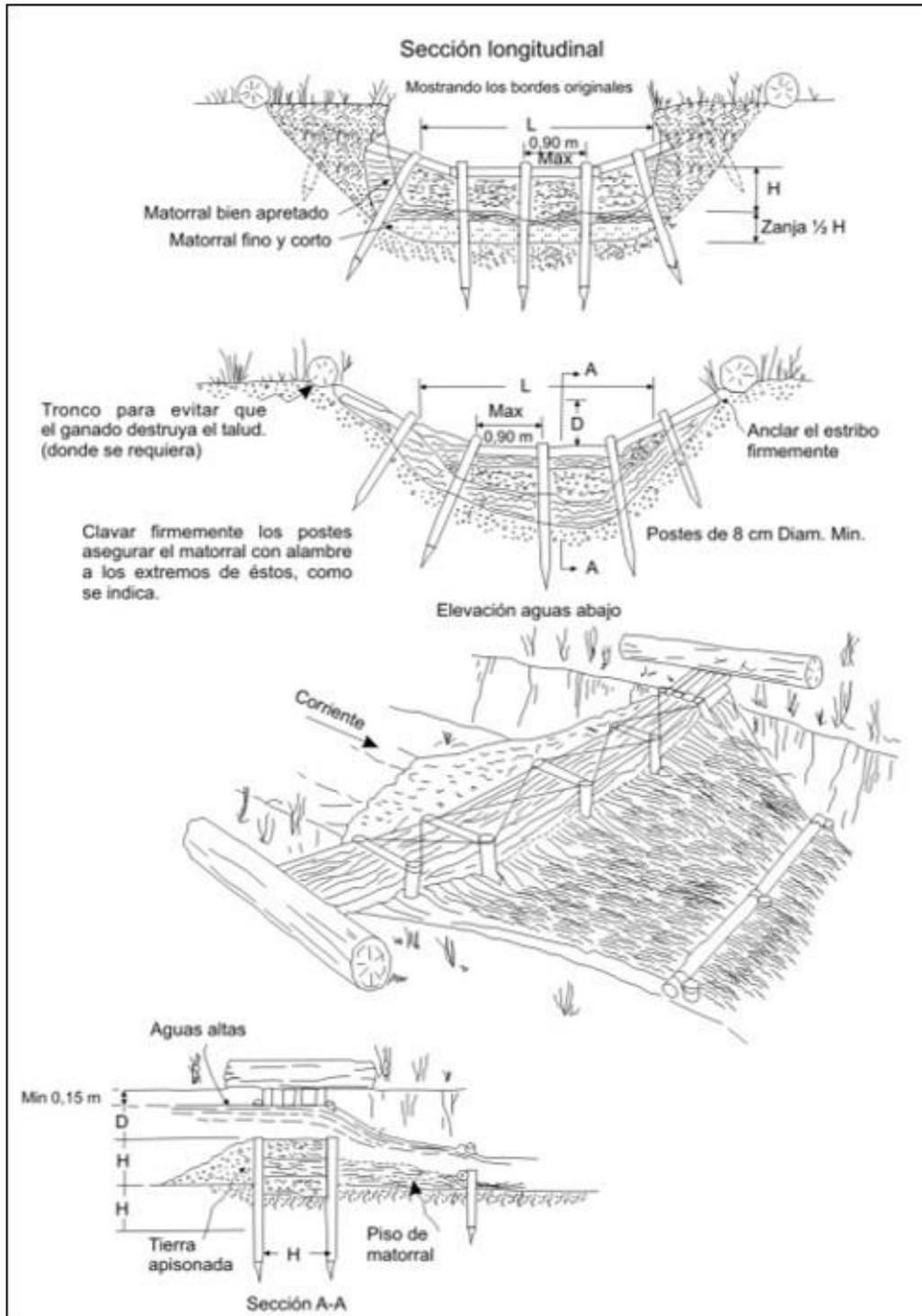


Figura 10. Trinchos de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

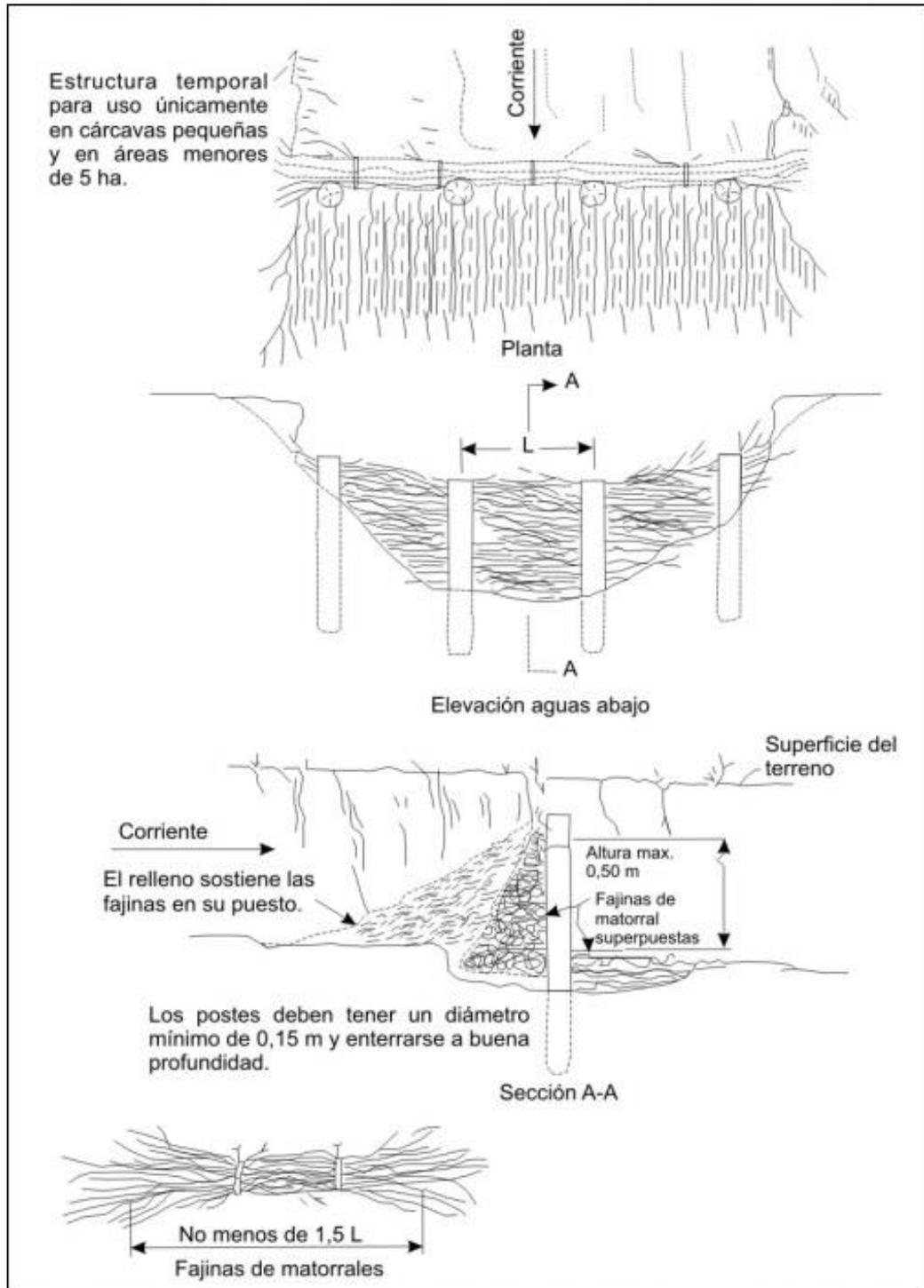


Figura 11. Trinchos de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

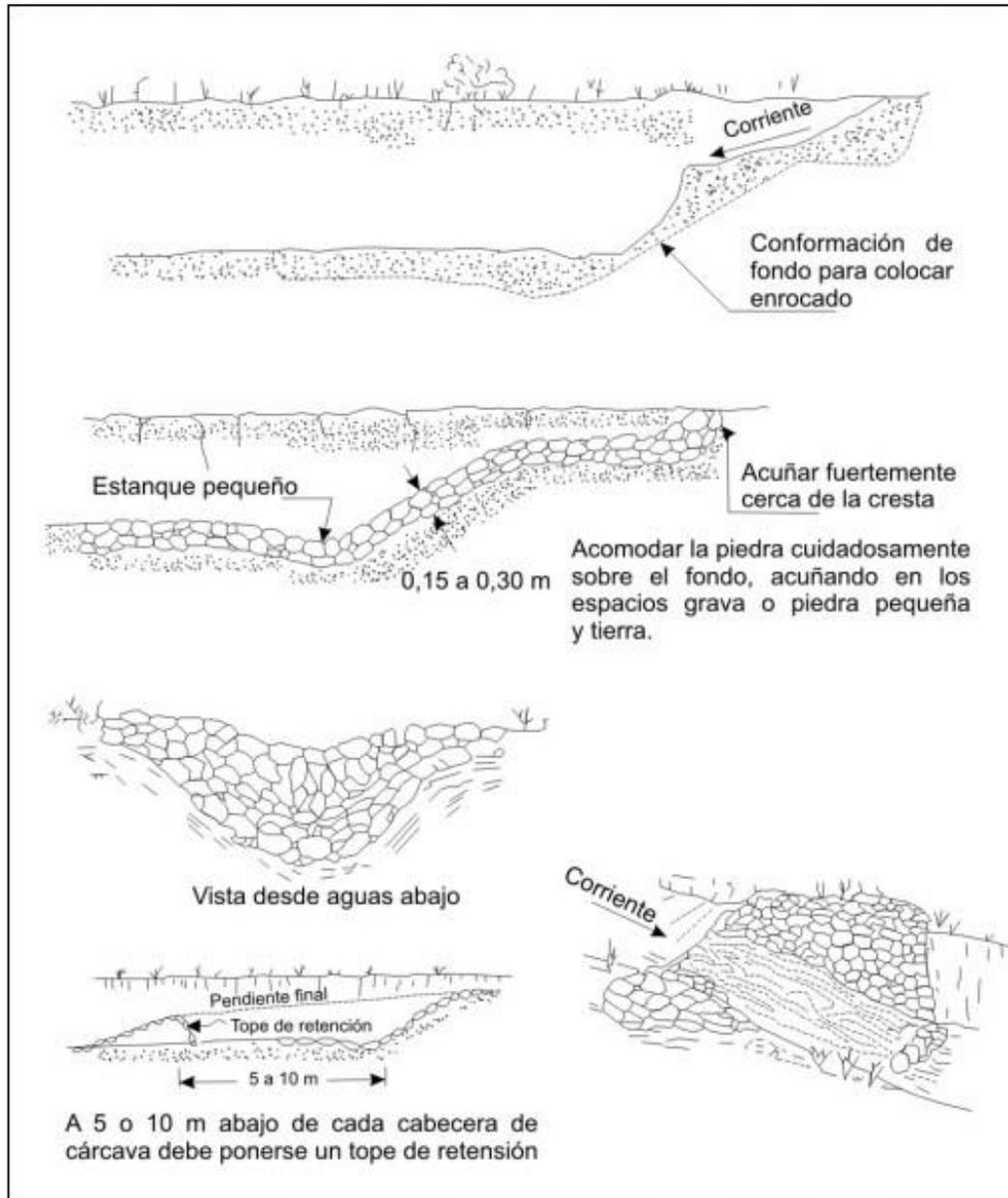


Figura 12. Trinchos de piedra para cabecera de cárcava (adaptado de Valderrama et al., 1964).

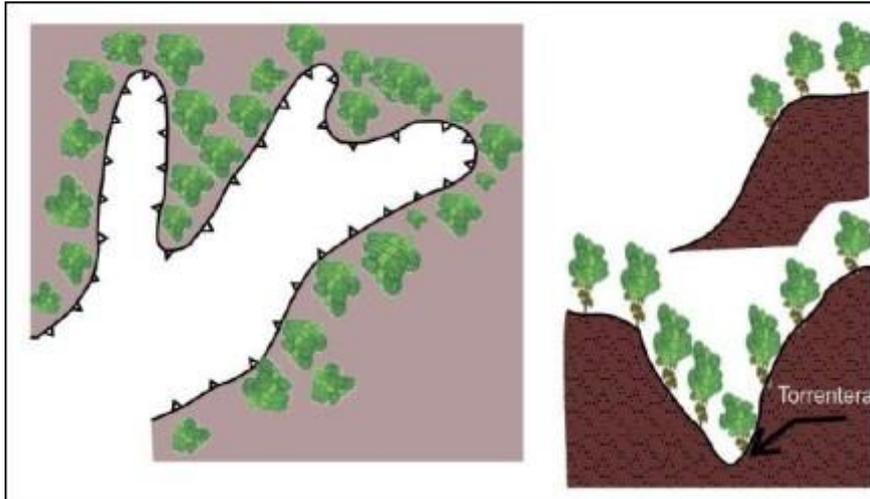


Figura 13. Vista de planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

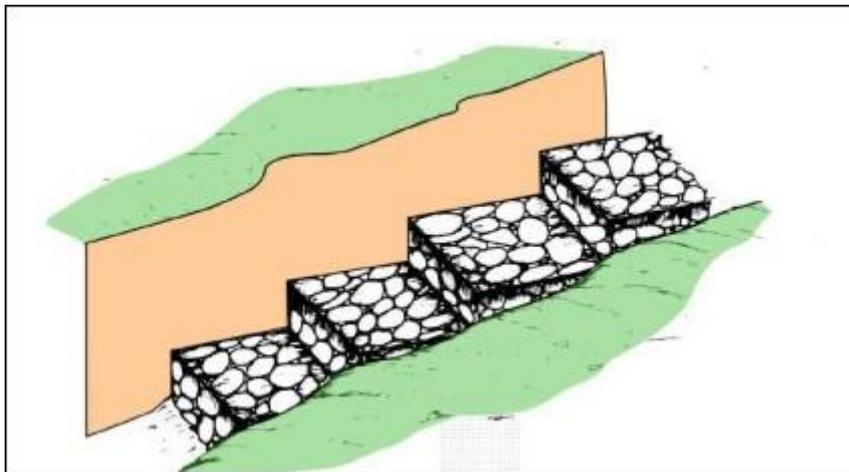


Figura 14. Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado.